



FER

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET
ELEKTROTEHNIKE
I RAČUNARSTVA

Branko Hanžek
Zvonko Benčić



Vatroslav Lopašić

Klasik hrvatske fizike

KIKLOS
ZAGREB

Branko Hanžek
Zvonko Benčić

VATROSLAV LOPAŠIĆ
Klasik hrvatske fizike

KIKLOS
Zagreb

Urednik:

prof. dr. sc. Zvonko Benčić

Recenzenti:

prof. dr. sc. Višnja Henč-Bartolić

akad. prof. dr. sc. Žarko Dadić

Lektor:

dr. Alemko Gluhak

Grafička priprema:

Damir Pildek

Nakladnik:

KIKLOS – KRUG KNJIGE d.o.o.

ISBN 978-953-56937-0-3

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice
u Zagrebu pod brojem 786937

Tiskano u Hrvatskoj, 2011.

SADRŽAJ

Riječ dekana Fakulteta elektrotehnike i računarstva

Riječ predstojnice Zavoda za primijenjenu fiziku

Predgovor

1. Životopis te nastavna, stručna i znanstvena djelatnost	1
Obiteljska utemeljenost	1
Znanstvena i didaktička utemeljenost	6
Životopisne zabilješke	8
Manje poznato u rijetko objavljivanim bilješkama o Lopašiću	22
Visokoškolska predavanja	24
Suradnja s Hrvatskom akademijom znanosti i umjetnosti	26
Predavanja pod okriljem Fizikalnog zavoda u sklopu kolegija <i>Fizikalni kolokvij</i>	28
Predavanja pod okriljem Matematičko-fizičke sekcije Hrvatskog prirodoslovnog društva i Društva matematičara i fizičara NR Hrvatske	43
Pripremni ispiti i diplomske radnje	44
Magisteriji na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu	44
Doktorati znanosti	45
Promocije <i>sub auspiciis Regis</i> na modernom Sveučilištu u Zagrebu	46
2. Doktorski rad »Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom«	49
Disertacija (<i>Vatroslav Lopašić</i>)	50
Istraživanja fizikalnih pojava u Fizikalnom zavodu (<i>Danijel Uvanović</i>)	92
3. Članci u fizici¹ (<i>Branko Hanžek</i>)	97
Ultraschallinterferometer mit Veränderlicher Frequenz	97, 107
Kako sam izveo Seibtove pokuse	98, 125
Kristali koji zvuče	99, 132
Ulazni i oscilatorski krug modernog supera	100, 139
Maleni katodni oscilograf	101, 144

¹ Prvi broj stranice označuje stranicu sažetka, a drugi broj stranicu reprintsa.

Die Gewinnung einiger Antigene mittels Ultraschall	103, 152
Jedan pokus s fizikalnim njihalom	103, 161
The Electromagnetic Catenary	104, 184
A note on the Wire Loop Method for Locating the Median Plane in the Cyclotron	
Magnet	104, 189
Međunarodna temperaturna skala	105, 193
4. Članci izvan fizike (matematičke zagonetke, hrvatski jezik i teologija)	199
Interesi izvan fizike (<i>Darko Žubrinić</i>)	199
Zagonetke za <i>Matematičko-fizički list</i>	203
Matematički zadatak u <i>Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom</i>	214
Križaljke u časopisu <i>The Listener</i>	214
Uvreda jeziku i domovini	215
Kakav rječnik za živi hrvatski jezik	220
Bilješke uz pjesme Branka Benzije	223
Od smrti ne strt, ljudi umiru – misli ostaju	231
Otkrivenje (Apokalipsa): »EJIL in Revelation of John«	235
5. Predavanja i pokusi	245
O nastavi fizike profesora Lopašića (<i>Višnja Heni-Bartolić</i>)	245
Zbirka – Tošoteka – pokusi (<i>Miroslav Sedlaček</i>)	250
Bivši studenti Građevinskog odsjeka Tehničkog fakulteta o nastavi profesora Lopašića (<i>Krešimir T. Herman, Svetko Milin</i>)	259
6. Nastava i udžbenici	261
Pionirska uloga profesora Lopašića (<i>Vladimir Knapp</i>)	261
Udžbenici profesora Lopašića (<i>Dubravko Horvat</i>)	268
Rukopis zadataka iz fizike	271
7. Suradnik Ujevićeve Hrvatske enciklopedije (<i>Zvonimir Jakobović</i>)	273
Članci prof. Lopašića objavljeni u V. svesku <i>Ujevićeve Hrvatske enciklopedije</i>	278
8. Intervju <i>Glasu Koncila</i>	299
Pismo dr. Ivana Rogića prof. Lopašiću povodom intervjua	303

9. Korespondencija	307
Pismo kardinala Alojzija Stepinca prof. Lopašiću	307
Zadnje pismo uredništva časopisa <i>The Listener</i> prof. Lopašiću i njegov odgovor	310
Posveta prof. Božičevića u svojem udžbeniku Temelji automatike prof. Lopašiću	312
Pismo prof. Lopašića prof. Petkoviću	313
Pismo prof. Lopašića dr. Mariu Essertu	314
Pismo prof. Lopašića prof. Šolcu	315
Rodendanska čestitka akad.Vojislavu Begi	316
Božićna čestitka članova Akademije tehničkih znanosti Hrvatske prof. Lopašiću	318
10. Publicistički napisi i predavanja o profesoru Lopašiću	321
Šezdeseta obljetnica profesora Vatroslava Lopašića (<i>Vladimir Muljević</i>)	321
Naši pokojnici – Vatroslav Lopašić (<i>Zdravko Mriić</i>)	322
U spomen velikom čovjeku: Vatroslav Lopašić (<i>Branko Hanžek</i>)	323
Prof. dr. sc. Vatroslav Lopašić (<i>Dubravko Pevec</i>)	327
Uspomene na prof. dr. Vatroslava Lopašića (<i>Darko Žubrinić</i>)	331
Prof. dr. Vatroslav Lopašić – hrvatski fizičar (<i>Vladimir Muljević</i>)	331
Uspomene na profesora Lopašića (<i>Branko Hanžek</i>)	333
Nastava prof. Lopašića (<i>Vilnja Henl-Bartolić</i>)	337
Lopašić u Einsteinovoj godini fizike (<i>Tomislav Petković</i>)	338
Život posvećen fizici (<i>Tomislav Petković</i>)	340
Vatroslav Lopašić – nastavno i znanstveno djelo (<i>Tomislav Petković</i>)	341
Prof. dr. Vatroslav Lopašić (hrvatski fizičar) – Život i djelo (<i>Ivo Soljačić</i>)	344
Spomen-ploča Vatroslavu Lopašiću na FER-u (<i>Branko Hanžek</i>)	345
Otkrivanje spomen-ploče profesoru Lopašiću (<i>Darko Žubrinić</i>)	347
Znamenita predavanja profesora Vatroslava Lopašića i dalje žive (<i>Branko Hanžek</i>)	350
11. Uspomene i sjećanja na profesora Lopašića	351
Počeci zapaženih pokusa (<i>Ljubica Trajbar-Benčić</i>)	351
Bila sam studentica, demonstratorica i asistentica profesora Lopašića (<i>Zvezdana Gregorina</i>)	352
Vrhunski učitelj i svjetonazorski uzor (<i>Juraj Božilević</i>)	362
Briga za čovjeka, kritičnost i matematičko znanje (<i>Leo Budin</i>)	364
Pripadnik narodne milicije na predavanju (<i>Vladimir Naglič</i>)	367
Pregoreni osigurač (<i>Zvonko Benčić</i>)	370
Prvi sat tehničke fizike (<i>Tomislav Pichler</i>)	370

Pokusi i poseban humor (<i>Ernest Mihalek</i>)	372
Harmonija odnosa studenata i njihovog profesora (<i>Krešimir Herman, Svetko Milin</i> i drugi članovi AMCA-FA)	374
Pokusi – ishodište fizikalnih zakona (<i>Pavlo Rebić</i>)	376
Zakon održanja veličine gibanja (<i>Darko Žubrinčić</i>)	377
Pripreme pokusa za predavanja (<i>Željko Plavčić</i>)	378
Hvala lijepa (<i>Durdica Veselić</i>)	381
Poznavanje od djetinstva (<i>Zoran Krivačić</i>)	381
Nezaboravno druženje – od fakultetskih dana do službe u veleposlanstvu (<i>Aleksandar Šolc</i>)	382
Od Tehničkog fakulteta do povezanosti s Institutom Ruder Bošković (<i>Nenad Trinajstić</i>)	383
Mit o fizici za tehničare (<i>Ivan Ilić</i>)	385
Sjajan predavač elektronike na PMF-u (<i>Ksenofont Ilaković</i>)	387
Stvaratelj i prigovaratelj (<i>Vesna Koi</i>)	388
Uživanje u prirodi u Sloveniji (<i>Mladen Stupnišek</i>)	389
Predavanja, sakramenti i teološko pitanje (<i>Ivan-Pál Sztrilich</i>)	391
Duhovnost i vjera u Isusa (<i>Zdravko Mršić</i>)	394
Od studentskih dana do blizine stanovanja (<i>Ivo Sofjačić</i>)	395
Žlvjet će u nama dok nas ima (<i>Dragutin Šubat</i>)	397
Topim se k'o svijeća (<i>Mario Esserl</i>)	398
Poštovanje, prijateljstvo i recenzija (<i>Zijad Haznadar</i>)	401
Teček Slavko (<i>Josip Ivanić</i>)	402
Teček Slavko, Stepinac i Krašić (<i>Josip Ivanić s obitelji iz Krašića</i>)	405
Nećakinje o tečku Slavku, gospodinu u godinama (<i>Marija Ivanić,</i> <i>Katica Puzek, Ana Tužkar, Anica Zadro, Tereza Vlašić i Štefica Vlašić</i>)	407
Nezaboravni suprug (<i>Terezija-Rezika, supruga</i>)	410
12. Objavljeni radovi profesora Lopašića	413
Udžbenici	
Članci	
Natuknice u Hrvatskoj enciklopediji (V. svezak)	
Zadaci iz matematike u rubrici »Nagradni natječaj« u <i>Matematičko-fizičkom listu</i>	
Zadatak u <i>Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom</i>	
Matematičke križaljke u časopisu <i>The Listener</i>	

Prilog CD

1. Obitelj Lopašić

- Lopašići – dva i pol stoljeća jedne karlovačke obitelji
- Lopašići u knjizi »Znameniti i zaslužni Hrvati (925–1925)«
- Spomen ploča novinaru Dušanu Lopašiću
- Otkriće spomenika Radoslavu Lopašiću u Karlovcu
 - Članak u *Karlovačkom glasniku*
 - Članak u *Obzoru*
- Uspomene na prof. dr. Vatroslava Lopašića (*Darko Žubrinčić*)
- Osobni dokumenti profesora Lopašića

2. Radovi profesora Lopašića

- Disertacija Vatroslava Lopašića (*Antonio Petšić*)
- Predavanja profesora Lopašića iz *Fizikalne elektronike* na PMF-u (III. godina, sažete bilješke profesora Ksenofonta Ilakovca akad. god. 1949./50.)
- Metronom prikazivan na predavanjima profesora Lopašića iz kolegija *Fizika I*
 - Metronom – mehanička zaporna ura (*Višnja Heni-Bartolić*)
 - Osma Beethovenova simfonija (*Berliner Philharmoniker, Herbert von Karajan*)
- Rušenje dimnjaka – slike sa predavanja profesora Lopašića
- Zadaci iz fizike profesora Lopašića (nepotpuni rukopis)

3. Emisije, simpoziji i predavanja o profesoru Lopašiću

- HRT *tv kalendar* o profesoru Lopašiću
- Sjećanje na uglednog hrvatskog fizičara Vatroslava Lopašića, HR emisija *Ogledi i rasprave*, 3 program (*Juraj Božičević i Tomislav Petković*)
- Simpoziji i predavanja o profesoru Lopašiću
 - Vatroslav Lopašić – klasik hrvatske fizike (*Tomislav Petković*)
 - Vatroslav Lopašić – hrvatski fizičar (*Darko Žubrinčić*)
 - Prof. dr. Vatroslav Lopašić (*Tribina HKDPD-a*)
 - Prof. dr. Vatroslav Lopašić – hrvatski fizičar (*Darko Žubrinčić*, internetski tekstovi)
 - Znamenita predavanja profesora Lopašića i dalje žive (*Branko Hanženk*)

4. Ostalo u vezi s profesorom Lopašićem

- Stanko Hondl i pisanje naziva mjernih jedinica (*Alemko Gluhak*)
- Pjesme Branka Benzije

RIJEČ DEKANA FAKULTETA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

O monografiji posvećenoj životu, djelu i naslijeđu u fizici
profesora Vatroslava Lopašića (1911.–2003.),
na slavu stoljeća njegova rođenja



Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER), danas, na hrvatskoj i europskoj teritoriji prepoznaje se kao dobro ustrojena obrazovno-znanstvena ustanova u pogledu dvaju modernih znanstvenih polja: *elektrotehnike*, koja datira od osnutka Tehničkog fakulteta 1919. godine a posebice od osnutka Elektrotehničkog fakulteta (ETF-a) 1956. godine, te mlađega polja, *računarstva*. Fizika, matematika i elektrotehnika postavljene su na ETF-u od njegova osnutka kao temeljne znanosti, da studentima pokazuju putove razumijevanja i traganja za zakonima u znanosti i tehnici, za točnošću i elegancijom ljudskog mišljenja, do moralnih prosudbi u učenju i istraživanju.

FER na tragu duge vlastite tradicije objavljuje ili podupire znanstvene monografije posvećene najuglednijim dugogodišnjim profesorima, o njihovim zaslugama i odgovornosti u razvoju nastave i znanosti, a čija su nam naslijeđa važna u sadašnjem trenutku i za buduće vrijeme. FER je hrvatskoj znanosti, tehnici i kulturi već podario lijepe i akribične monografije o Josipu Lončaru (rodonačelniku elektrotehnike), Danilu Blanušiću (rodonačelniku matematike) i Hrvoju Požaru (rodonačelniku energetike). Niz se nastavlja monografijom o profesor Vatroslavu Lopašiću – rodonačelniku fizike. Život i djelo, nastavni i znanstveni radovi profesora Lopašića, od njegovih *poznatih predavanja fizike zasnovanih na pokusima i induktivnoj metodi izvođenja zakona fizike* za studente tehničkih fakulteta sve do jezičnih, moralnih, teoloških, leksikografskih i umjetničkih uvjerenja, sabrani su, prvi put, u kapitalnoj monografiji *Vatroslav Lopašić (1911.–2003.) klasik hrvatske fizike*.

Monografija posvećena stvaralačkoj figuri profesora Lopašića nije kronološko nabrajanje biografskih podataka, faza i dostignuća u njegovu životnome hodu. Tu monografiju u dvanaest poglavlja s prilogima na CD-u odlikuje pokušaj sinteze brojnih priloga sabranih – od *A* do Ω – iz pera zapisa ili uspomena brojnih Lopašićevih učenika i suradnika, do povijesne građe o njegovu radu i ulozi na ETF-u i FER-u.

Sretna je koinkidencija da stota obljetnica rođenja profesora Lopašića pada u godinu 2011., kada svijet slavi stogodišnjicu rođenja epohalnih otkrića u fizici: otkriće atomske jezgre i početak subatomske fizike (E. Rutherford, Manchester 1911.), otkriće niskotemperaturne supravodljivosti (K. Onnes, Leiden 1911.). Priključujemo i tristotu obljetnicu rođenja Rudera J. Boškovića (1711.–1787.) koju u 2011. godini obilježavamo u Hrvatskoj i svijetu. Životom,

vjerom i djelom Rudera Boškovića, jednoga od najvećih sintetičara i ujedinitelja prirodnih zakona u povijesti fizike, napose se plodno bavio profesor Lopašić kao i njegov prethodnik i njegov učitelj Stanko Hondl. Sve te obljetnice uvažavaju nastavnici te bivši i sadašnji studenti FER-a.

Temeljne znanosti na FER-u danas su *imperativ* razvoja i inženjerskih metoda u horizontu suvremenih tehnologija. Nove su tehnologije najdjelotvornija komponenta u spoznajnoj, ekonomskoj i društvenoj transformaciji globalnog svijeta u XXI. stoljeću. Zato su programi i ciljevi usmjereni prema razvoju novih tehnologija i novih materijala naprednih karakteristika, razvoju pretvorbe Sunčeve energije, novih energetske izvora i ekološki prihvatljivih sustava te još bržem razvoju informacijsko-komunikacijskih sustava (ICT) koji već imaju prepoznatljiv zamah na FER-u. Uloge fizike, matematičkih metoda i računalstva važne su u nastavnim procesima (u školama) učenja za razvitak suvremene tehnike i tehnologije, kao i za izazove postuliranog društva znanja.

Na tom tragu, FER-ovi planovi idu na uvođenje *dvaju naprednih kolegija* u preddiplomski studij FER-a koji bi ujedinili elektromagnetizam i fiziku materijala te koji bi se uskladili sa sadržajima postojećih kolegija iz fizike, osnova elektrotehnike i radiokomunikacija. Tomu bi se dodala još *dvu napredna kolegija* iz diskretne matematike kao podloga modelima koji se zasnivaju na diskretnim matematičkim metodama. Što se tiče podizanja kvalitete nastave na FER-u, uviđam da je sve manje laboratorijskog rada i vježbi u nastavi, a sve više simulacija i zanemarivanja fizikalne dimenzije tehnike. Valja obnoviti fizikalnu dimenziju tehnike i sinkrono pojačavati fizikalnu dimenziju FER-a.

Monografija o profesoru Vatroslavu Lopašiću izlazi na slavu i spomen stote obljetnice njegova rođenja. Kao dekan FER-a, te u ime njegovih zaposlenika i studenata, želim da Lopašićeva filozofija fizike: eksperimenti i nastava *žive* u povijesti, filozofiji i didaktici znanosti i tehnologije *zauvijek* – Lopašić *in aeternum*!

U Zagrebu, 14. studenoga 2011.

Dekan
Fakulteta elektrotehnike i računarstva:

Prof. dr. sc. *Nedjeljko Perić*

RIJEČ PREDSTOJNICE ZAVODA ZA PRIMIJENJENU FIZIKU



U svojoj dugoj sveučilišnoj karijeri (od 1934. do 1982.) profesor Vatroslav Lopašić je od 1950. do 1967. godine bio predstojnik Zavoda za fiziku. U razdoblju kada je tadašnji Elektrotehnički fakultet (ETF) tek gradio svoj ugled i postepeno zauzimao nezamjenjivo mjesto koje današnji Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) ima, kao predstojnik i ugledni profesor fizike, bio je jedan od stupova Fakulteta. Svojim znanstveno-nastavnim radom uvelike je pridonio koncepciji nastavnih planova ETF-a koji su se temeljili na potrebi jakog temeljnog djela studija zasnovanog na matematici, fizici i osnovama elektrotehnike. Njegova izvanredna veoma zanimljiva i nadasve posječena predavanja iz fizike omogućavala su studentima tehnike razumjevanje struke i bržu prilagodbu novim tehnologijama. Iza svakog njegovog predavanja stajao je veliki uloženi trud, mjeseci i godine rada.

Šezdesetih godina literatura za visokoškolsku nastavu fizike bila je vrlo oskudna. U tim prilikama profesor Lopašić je dao veliki doprinos nastavi fizike pišući brojna skripta i udžbenike.

Profesor Lopašić je nastavu fizike temeljio na eksperimentalnoj metodi s brojnim demonstracijskim pokusima koji su se izvodili na predavanjima. Za razliku od drugih profesora koji su pokuse izvodili da bi provjerili teoriju, on je teoriju stavljao u službu pokusa. Danas nastavnici Zavoda na predavanjima, uz suvremena nastavna pomagala, koriste i eksperimentalne metode koje je uveo profesor Lopašić. Studenti tehničkih fakulteta u Fizičkom praktikumu samostalno izvode vježbe izrađene prema njegovim zamislima u radionici Zavoda. Uz stalni razvoj novih tehnologija (informatičkih i komunikacijskih tehnologija te nanotehnologije) potreba za takvim obrazovanjem posebno je istaknuta.

Profesor Lopašić je najveći dio svog pedagoškog rada posvetio obrazovanju studenata ETF-a koje se temelji na poznavanju fizikalnih zakonitosti. Nastavnim programom FER-a uz kolegije opće fizike, a u duhu prof. Lopašića, studenti stječu znanja iz različitih drugih područja fizike koja su temelj za cjeloživotno obrazovanje (nuklearna fizika, fizika materijala, fizika lasera, kvantna računalna, fizika plazme, nanoznanost).

Predstojnica
Zavoda za primijenjenu fiziku FER-a:

Prof. dr. sc. *Laborija Bistričić*

PREDGOVOR

Bilo je krajnje vrijeme da se zabilježe sjećanja i prikupe dokumenti o profesoru Vatroslavu Lopašiću. Jer sjećanja blijede, a dokumenti nestaju. Opisi događaja sve se više razlikuju, a osobnih dokumenata već danas ima samo nekoliko. I sve je manje ljudi koji su osobno poznavali prof. Lopašića.

Zapisivanje povijesti (tj. sastavljanje *Spomenice*) nalikuje modeliranju. Od mnoštva sačuvanih raspršenih sjećanja i dokumenata pisac izlučuje konačan broj njih; neka patetizira, neka lakonizira, neka doslovno memorira, neka zaboravlja, a neka su jednostavno nestala. Zato zapisana povijest opisuje prošle događaje samo u odabranim crtama. Austrijski filozof i fizičar Rudolf Burger (r. 1938.) piše: «Povijest» je moguća samo kad najveći dio prošlosti ostaje u tami.« Tako je i u tehničkim znanostima: model ima samo neka svojstva izvornika, a ima i svojstva koja izvornik nema.

Današnje doba nije sklonu pamćenju. Živimo u doba zaboravljanja prošlosti. Društvo nam je smješteno u doba neoliberalizma, a odgoj i obrazovanje u doba tzv. *bolonjskog procesa*. I jedno i drugo temelji se na zaboravljanju etike i estetike. Zar se projekt *Cvjetni trg* u Zagrebu i projekt *Skijalište na Sljemenu* pokraj Zagreba ne temelji na zaboravljanju etike i estetike? Zar se hrvatska interpretacija *bolonjskog procesa* ne temelji na zaboravu etičkih i estetičkih načela odgoja i obrazovanja?

Povjesničar Eric John Hobsbawm (r. 1917.) u svojoj knjizi *Doba ekstrema* napisao je ovoc

»Uništavanje prošlosti, ili bolje rečeno, društvenih mehanizama koji povezuju nečije suvremeno iskustvo s onim ranijih generacija, jedno je od najkarakterističnijih i najsablasnijih fenomena kasnog dvadesetog stoljeća. Većina mladih pred kraj ovog stoljeća odrasta u nekoj vrsti permanentne sadašnjosti, bez ikakve organske veze sa zajedničkom prošlošću vremena u kojem žive.«

Didaktički nezaborav profesora Lopašića jest u neprekinutosti poimanja opće svršishodnosti nastave i u zasnivanju nastave na pokusima. Smatrao se nasljednikom profesorâ Vinka Dvořáka (1848.–1922.) i Stanka Hondla (1873.–1971.).

Vinko Dvořák, osnivač katedre i Kabineta za fiziku (1875.), dekan Mudroslovnog fakulteta (1881./82. i 1891./92.) i rektor Sveučilišta u Zagrebu (1893./94.), u svojem nastupnom govoru za rektora (izrečen 19. listopada 1893.) kaže¹:

»Neki profesori su mislili, da se ima elektrotehnička obuka tako voditi, da bi se slušaoci već na tehničkoj visokoj školi naobrazili za gotove fabričke elektrotehničare, tako da bi bili odmah na svršetku nauka i bez daljnje prakse osposobljeni, da rade u kojem elektrotehničkom zavodu samostalno kano upravljajući inženjuri². Opet drugi su mislili, da bi imala elektrotehnička obuka na visokoj školi postići samo

¹ Zapisan u knjižici »Govori izrečeni dne 19. listopada 1893. kod instalacije rektora za školsku godinu 1893./94. u Kr. Hrv. Sveučilištu Franje Josipa I., Zagreb, troškom Kr. Sveučilišta, 1893.

² *Zeitschrift des elektrotechnischen Vereins in Wien*, 1883., str. 169

onaj stupanj naobrazbe, koji bi bio dovoljan, da budu učenici poslije kratke prakse za samostalan rad osposobljeni. Na sreću stoji ovim mnijenjem nasuprot složan sud najkompetentnijih praktičnih stručnjaka, i možemo se sa potpunim uvjerenjem priključiti izreci muža, kojega moramo smatrati kano najmjerodavniji auktoritet među nje-mačkim elektrotehničari. Isti se je izjavio u razgovoru ovako: 'Jednom riečju, mladi ljudi imadu na visokih tehničkih škola iz elektrotehnike ono učiti, što si ne mogu više kod nas u tvornici naknadno pribaviti; treba kad k nama dolaze, da znadu mjeriti, da znadu računati i da su im načela jasna. *Dalje ne spada više na zadaću visokih škola, niti se može tako, kako mi trebamo, postići.*'»

Stanko Hondl, zaslužan za izgradnju zgrade Prirodoslovno-matematičkog fakulteta na Marulićevu trgu 19 u Zagrebu, predstojnik Fizikalnog kabineta (od 1911.), dekan Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (1919./20. i 1932./33.) i rektor Sveučilišta u Zagrebu (1936.–1938.), u predgovoru srednjoškolskom udžbeniku *Fizika* (1943.), piše:

«Neki učenici misle, da bi se fizika mogla učiti samo kvalitativno bez matematičkih formula. To je mišljenje sasvim krivo. Ima doduše, fizikalnih činjenica – pa i vrlo zanimljivih, koje se mogu opisati, a da se ne spomene nijedan broj; no poprieko vrijedi, da je puko kvalitativno prikazivanje fizikalnih pojava nedostavno i nepregledno. Da se olakša shvaćanje matematičkih česti fizike, valja spomenuti, da je kod prvog učenja uobče lakše, a i važnije upoznati sadržaj fizikalne formule, nego li njezin izvod; prema tome se u ovoj knjizi radi kratkoće mnoga izvođenja izostavljena.

Kod krupnijih fizikalnih mjerenja pogriješka mjerenja znade iznositi na pr. 1%, to će reći pogriješka je dosegla 0'01 vrijednosti mjerene veličine. Riedko kada mjerimo tako točno da pogriješka ne premašuje 0'01%. Prema točnosti, kojom poznajemo brojeve, što izražavaju fizikalne veličine, treba udesiti i točnost računanja s tim brojevima.

Poteškoće, na koje danas nailazimo učeći fiziku, dobrim su dielom one iste, s kojima se i znanost u svom razvoju najviše borila; poradi toga, motreći povijesni razvoj, jasno uočujemo te poteškoće, pa ih i lakše svladavamo. Učenjem poviesti fizike unapređuje se i razvoj suvremene znanosti.»

Vatroslav Lopašić (1911.–2003.), osnivač i predstojnik Zavoda za fiziku (1950.–1967.) i dekan Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (1959./60.) i ondašnja docentica dr. Višnja Henč-Bartolić, u predgovoru četvrtom dijelu skripata *Predavanja iz fizike* (1986.) pišu:

«Ostvarenje ovakovih predavanja nije djelo jednog čovjeka. U prvom redu koristi se iskustvo i znanje onih kod kojih smo učili, a to su naši profesori. Više njih bismo mogli nabrojiti, no jednoga barem da spomenemo u štovanju i zahvalnosti, a to je prof. dr. Stanko Hondl (1873.–1971.) koji je iskreno i skromno tražio Istinu ne robujući predrasudama. Daljnja je osnova za sastavljanje predavanja literatura, knjige i rasprave, na raznim jezicima. To je kao neki ogromni rezervoar iz kojeg se prema potrebi crpe. Onda nastavnik mora odlučiti, da prema određenom programu ostvari za slušatelje primjerena predavanja na način koji odgovara nastavnikovoj osobnosti. Tu dolazi do izražaja nastavnikova kreativnost kojom on daje pečat svojem ostvarenju,

tako da unatoč činjenice što predaje ono što je primio, uz ovo daje i nešto svojega. U tome je životna snaga predavanja i razlog zašto se održavaju, premda danas stoje na raspolaganju tolika sredstva za podučavanje pomoću strojeva. Naša osnovna misao pri ostvarenju predavanja bila je, da ta predavanja trebaju pokazati rast fizikalnih predodžbi od sabiranja iskustva putem matematske obrade, pa opet natrag na iskustvo i t.d. Svrha je toga ne samo da se slušatelju preda znanje, nego da se u njemu potakne kreativno mišljenje koje vodi prema djelu, t.j. prema želji da se eksperimentira sa svrhom proširenja znanja. Prema tome na predavanjima treba pokazati nedovršenost traženja, koja mladima budi svijest da i za njih ima posla.»

U ovoj *Spomenici* iznesena su sjećanja, dokumenti i komentari pojedinaca. Čitatelju je prepušteno da sam donosi zaključke. Takva je bila i metoda profesora Lopašića: pokazao je pokus i prepuštao studentima da sami donose zaključke.

Zahvaljujemo recenzentima knjige akademiku Žarku Dadiću na recenziji i sugestijama te profesorici Višnji Henč-Bartolić na recenziji i vrlo savjesnom pregledu rukopisa. Posebno zahvaljujemo profesorici Henč-Bartolić na pomoći pri prikupljanju dokumentacije. Zahvaljujemo dr. Alemku Gluhaku, ne samo na lekturi, već i na dopunama i pomoći da tekst bude pregledniji i čitkiji. Zahvaljujemo gospodinu Damiru Pildeku na dizajnu i prijelomu knjige.

Zahvaljujemo gospođi Tereziji Lopašić na tome što nam je stavila na raspolaganje svu dokumentaciju koju je imala o suprugu prof. Lopašiću, dala dodatna objašnjenja te na pregledu rukopisa.

Bit ćemo zahvalni svakomu tko će nam javiti da ima kakav dokument ili kakvu sliku o prof. Lopašiću ili u vezi s prof. Lopašićem. Bit ćemo posebno zahvalni na bilješkama s predavanja iz *Fizike III* na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

*Zvonko Benčić
Branko Hanzek*

U Zagrebu i Cresu, rujna 2011.

1. ŽIVOTOPIS TE NASTAVNA, STRUČNA I ZNAJSTVENA DJELATNOST

OBITELJSKA UTEMELJENOST

Porodica Lopašić barem je dva i pol stoljeća boravila u Karlovcu. Porijeklo vuče iz Jajca, imala je *narodno plemstvo*, a poslije je dobila i svoj grb, međutim, nije uspjela dobiti plemićki naslov.

Prvi koji je u Karlovcu ostavio traga jest Mihajlo Lopašić (1735.–1795.). On je u Karlovac došao oko 1755. godine, kada je grad bio pod vojnom upravom. Kako je Karlovac postajao sve više trgovački, a sve manje vojni grad, došle su do izražaja Mihajlove trgovačke sposobnosti. Stekao je kapital (1777.) koji je njegovu sinu Mirku (Imbru) (1780.–1838.) omogućio najbolje školovanje.

Mirko je završio filozofski i pravni studij u Beču i Pešti, a u Karlovcu je bio najprije notar, pa gradski kapetan, pa policijski komesar, pa savjetnik magistrata i na kraju gradski sudac (gradonačelnik). Bio je veoma obrazovan, vrlo šarmantan i dobar govornik (govorio je njemački, mađarski i latinski). Važan je po tome što je bio preteča hrvatskog narodnog preporoda i što se izborio za provedbu odluke o Karlovcu kao slobodnom i kraljevskom gradu.

Mirko je imao devet sinova, iz dva braka, kojima se može svrstati u drugi i treći naraštaj

Lopašića. Prvi brak Mirkov bio je 1809., kada se oženio Franjicom Erdeljz (Erdeljac). U tom braku rođeni su Mirko, David, Gaudenz (poginuo 1848. u bitci kod Novare), Ladislav (umro 1889. u 74. godini života – imao je sina Emanuela, koji je umro kao student prava, a kćeri su mu se poudale u porodicu Kosović, Cesar i Polić), Dragutin i potpuno nepoznat Oktavijan. Nama je zanimljiva Ladislavova kći Danica (udana za Ljudevita Polića) (1844.–1880.). Danica je imala kćer Miru i sinove Marijana i Ladislava (1874.–1927.). Ladislav je bio sveučilišni profesor prava, dopisni član JAZU i, što je naročito važno, nositelj carskoga odličja *sob auspiciis Regis*.

Nakon što je Mirko 1818. ostao udovac, oženio se Magdalenom pl. Dobrilović. Imali su sinove Liberata (Slobodina) (1824.–1885.), Radoslava (1835.–1893.) čuvenog povjesničara koji sa ženom Anelom d'Alberti nije imao potomstva, Stjepka Ljuboja ili Stefana (1828.–1879.), bilježnika u Karlovcu i pjesnika prema obiteljskom genealoškom stablu. Od devet sinova ističu se Slobodin, Radoslav i Stjepko Ljuboje, Vatroslavov djed.

Od te trojice Radoslav je postao vrlo slavan, bio je sjajan povjesničar, on je najpoznat-



Sl. 1.1.: Grb obitelji Lopašić

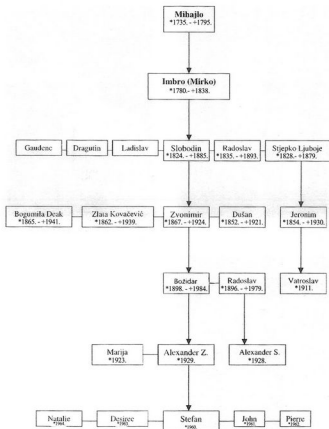
tiji u hrvatskoj javnosti od svih Lopašića. U Radoslavu je u Karlovcu podignut spomenik, a ima i svoju ulicu u Zagrebu. Slobodan Lopašić bio je političar; imao je potomke. Ženio se dva puta.

Prvi je put to bilo s Magdalenom Miščin, imao je sina Dušana (1852.–1921.), novinara i književnika. Kao udovac oženio se Slobodin po drugi put 1862. za Dragojlu (Karinu) Waldherr (1838.–1925.), učiteljicu. Taj je brak dao troje djece: sina Zvonimira (1867.–1924.) i kćeri Bogumilu (1865.–1941.) i Zlatu (1862.–1939.). Bogumila je udajom promijenila prezime u Deak, a Zlata u Kovačević. Zvonimir se oženio Melanijom r. Weis; imali su dva sina Radoslava

(1896.–1979.), sveučilišnog profesora, i Božidara (1898.–1984.) časnika (potpukovnik).

Sin Stjepka Ljuboja, Jeronim Lopašić (1864.–1930.), Vatroslavov otac, četvrti je naraštaj obitelji. Ostao je rano bez majke, pa ga je odgajao slavni stric Radoslav. Postao je kraljevski kotarski sudac. Oženio se 1894. godine Fanikom Polaček (1872.–1956.). Dvoje im je djece umrlo u djetinstvu, poslije se rodio sin Stjepan, koji je umro kao mladić, a 1911. rodio im se sin Vatroslav.

Vatroslav Lopašić je peti naraštaj obitelji, a u obiteljskom rukopisnom genealoškom stablu označen je s dr. Slavko, sveučilišni profesor.



Sl. 1.2.: Rodoslovno stablo obitelji Lopatić



*Sl. 1.3.: Slavkov otac Jeronim
(1864.–1930.)*



*Sl. 1.4.: Slavkova majka Fanika Polaček
(1872.–1956.)*



*Sl. 1.5.: Slavkov djed Stjepan (1828.–1879.), rad
Vjekoslava Karasa¹*

¹ Hrvatski slikar (1821.–1858.) rođen u Karlovcu.



Sl. 1.6.: Spomenik Radoslavu Lopatiću (1835.–1893.), stricu Vatroslavova oca, u Karlovcu, rad Ivana Rendića²



Sl. 1.7.: Slavko s bratićem Alexandrom Zvonimirovom (r. 1929.). U pozadini je slika Slavkovog djeda Stjepana.

² Hrvatski slikar (1849–1932) rođen u Imotskom.

ZNANSTVENA I DIDAKTIČKA UTEMELJENOST

Generacijsku neprekinutost znanstvene misli čini niz od šest fizičara. To su Ernst Mach (1838–1916, poznat još kao fiziolog, psiholog i filozof), Vinko Dvořák (1848–1922), Peter Salcher (1848.–1928.), Andrija Mohorovičić (1857.–1936.), Stanko Hondl (1873.–1971.) i Vatroslav Lopašić (1911.–2003.). Mach je bio učitelj Dvořáku, Salcheru i Mohorovičiću. Dvořák učenik bio je Hondl, a njegov učenik Lopašić. Zanimljivo je da su se svi bavili valovima, bilo zvučnima bilo svjetlosnima.

Mach je najveći dio radnog života bio profesor eksperimentalne fizike na sveučilištu u Pragu (dvadeset osam godina). Pamti se po istraživanju udarnih valova i po Machovu broju. Kao filozof znanosti uvelike je utjecao na logički pozitivizam u znanosti, a kritikom postavki Newtonove mehanike bio je prethodnik Einsteinove specijalne teorije relativnosti.

Dvořák je bio Machov student i doktorand te njegov asistent u Pragu. Istraživao je fiziologiju ljudskog vida, interferenciju svjetlosti, stvaranje figura i strujanje zraka u Kundtovoj rezonantnoj cijevi (što je poslije teorijski objasnio lord Rayleigh, pa se to naziva Dvořák-Rayleighovo strujanje), učinak zvuka na male pločice (Dvořákov učinak), silu na Helmholtzove rezonatore (konstruirao rezonatorsko kolo koje se okretalo potaknuto zvukom, Dvořákov zvučno kolo). Uz svoja redovita predavanja iz fizike, sam je izrađivao mnoga učila za demonstraciju u nastavi kao i mnoge uređaje namijenjene znanstveno-istraživačkom radu. Nakon što je postavljen za profesora fizike na novoustrojenu zagrebačkom sveučilištu 1875. godine, Dvořák je osnovao katedru i kabinet za fiziku (onda na Mudroslovnom fakultetu) i nastavio svoj istraživački rad na prijašnjim i novim temama. Bio je također dekan Mudroslovnog fakulteta (1881./82.

i 1891./92.) i rektor zagrebačkog sveučilišta (1893./94.). Valja naglasiti da je Dvořák bio idejni začetnik didaktičke fizike.

Salcher je bio Machov suradnik. Kao profesor Mornaričke akademije u Rijeci zajedno s njime objavljivao je radove iz tematike nadzvučnih brzina. Nabavio je posebne puške čija su zrna imala nadzvučne brzine kako bi ultrabrzom fotografijom snimao kretanje takvih zrna. Na taj način pomogao je Machu, koji u Pragu nije imao uređaje (oružje) čija bi ispaljena zrna imala brzinu veću od brzine zvuka. Salcher je prvi u Hrvatskoj svojim sugrađanima Riječanima dana 20. veljače 1896. demonstrirao rad rendgenske cijevi, a tom prilikom načinio je prvi rendgenogram (rendgenogram ruku barunice Josephine Mollinary Vranyczany).

Mohorovičić je bio Machov student u Pragu. Predavao je na Nautičkoj školi u Bakru (1882.–1881.), a 1882. postao je upravitelj Meteorološkog opservatorija na Griču u Zagrebu. Svjetsku slavu stekao je analizom pokupskog potresa od 8. listopada 1909. Na osnovu te analize prvi je u svijetu utvrdio plohu diskontinuiteta brzina potresnih valova. Ta je ploha nazvana Mohorovičićevim diskontinuitetom. Postojanje te plohe potvrđeno je na čitavoj Zemlji. To Mohorovičićovo otkriće najvažnija je znanstvena spoznaja objavljena u jednom hrvatskom časopisu, a valja istaknuti da je cijelu svoju karijeru Mohorovičić napravio u Hrvatskoj.

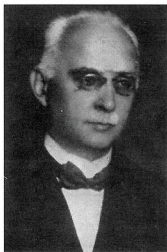
Hondl je bio Dvořáka učenik i nasljednik. Poticao je svoje učenike na spoznaje kroz istraživanje, naročito eksperimentalno, demonstrirajući to na svojim predavanjima. Imao je dobru znanstvenu intuiciju i promicao je obrazovanje. Najzaslužniji je što je sagradena i opremljena velika zgrada Fizikalnog

zavoda Sveučilišta u Zagrebu na Marulićevu trgu 19, koja je bila čvrst oslonac razvitku hrvatske fizike. Bio je dekan Mudroslovnog fakulteta (1919./20. i 1932./33.), rektor Sveučilišta (1935./36.–1936./37.) te potpredsjednik Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti (1933.–1942.).

Lopašić je bio Hondlov suvremenik i učenik. Lopašić je Hondla u svojem udžbeniku *Predavanja iz fizike (elektromagnetsko polje)* okarakterizirao kao vrsnog predavača i znanstvenog radnika koji je obavio pionirski rad na području fizike, odgojivši stotine nastavnika. Lopašić ističe da je posebnu pozornost Hondl pokazivao demonstracijskim pokusima za svoja predavanja. Hondlov odnos prema znanju

koje je stjecao vlastitim znanstvenim istraživanjima bio je drugačiji od odnosa koji je imao Dvořák. Dvořák je htio da javno mnijenje ne bude nametljivo s obzirom na znanost ili, drugačije rečeno, da bude što manja zavisnost znanosti od javnog mnijenja, osobito kada je javno mnijenje tražilo od znanosti samo praktičnu korist. Nasuprot tomu Hondl je htio što veću povezanost znanosti i javnosti, osobito kada je konačno sagradio novu zgradu Fizikalnog zavoda i tako dao pouzdane temelje za razvoj eksperimentalnih znanstvenih istraživanja.

Primjer prof. Lopašića pokazuje koliko je važna *generacijska neprekinutost obitelji i generacijska neprekinutost znanstvene misli*.



Sl. 1.8.: Stanko Hondl (1873.–1971.)



Sl. 1.9.: Vinko Dvořák (1848.–1922.)

ŽIVOTOPISNE ZABILJEŠKE

Vatroslav Lopašić rođen je 9. prosinca 1911. u Pakracu u činovničkoj plemenoj i za Hrvatsku vrlo zaslužnoj obitelji. Prema dokumentu iz Pakraca u kojemu je napisano kada je rođen i tko su mu bili roditelji,

istaknuto je da je Vatroslav Lopašić rođen 9. prosinca 1911., a u rimokatoličkoj crkvi kršten 20. prosinca. Otac mu je bio dr. Jeronim, kraljevski kotarski sudac, a majka mu je bila Franjica r. Polaček.

REPUBLIKA HRVATSKA

ŽUPANIJA POKOČNO-SLAVONSKA Uprava pristojbe grada po
URED ZA UPISU UPRAVE POŠTARSTVA
MU PAKRACU

RODNI LIST

U matrici rođenih matičnog područja Pakrac
za godinu 1911. izvešten je pod rednim brojem 396. dan 20.12.1911.

upis činjenice rođenja: 1911 12 09 11 50 01 5

PODACI O DJETETU	Ime	VATROSLAV		Spol	muški
	Prezime	LOPAŠIĆ			
	Dan, mjesec, godina i sat rođenja	9. (deveti) prosinca 1911.			
	Mjesto rođenja	Pakrac			
PODACI O RODITELJIMA	Narodnost	----	Detaljnije: ----		
	Ime	OČAC	MAJKA		
	Prezime (za majku i djevojačko prezime)	Lopašić	Lopašić r. Polaček		
	Narodnost	----	----		
Primjedbe i napomene upis: Zaključio brak dana 04.06.1902. u Zagrebu, nedvojezičan s Ivišić Terenzijom i pri tome održao svoje prezime.					

Broj lista: 225-02/97-02/5818
2177-06/2-04-97-02

Pakrac, 02.10.1977.

Matičar:
B. Hanžek
B. Hanžek

B. Hanžek

Sl. 1.10.: Rodni list Vatroslava Lopašića

Бр. <i>16</i> УЧЕНИК — УЧЕНИК		ПОСРЕДНИК — ПОСРЕДНИК (име, презиме) — (име и презиме)		СТАРИЈАШ — СТАРИЈАШ СТАРИЈАШ		ДОМАЋИН — ДОМАЋИН ДОМАЋИН — ДОМАЋИН	
Име и презиме: Име и презиме:		Име и презиме: Име и презиме:		Име и презиме: Име и презиме:		Име и презиме: Име и презиме:	
Место рођења: Место рођења:		Место рођења: Место рођења:		Место рођења: Место рођења:		Место рођења: Место рођења:	
Националност и народност: Националност и народност:		Националност и народност: Националност и народност:		Националност и народност: Националност и народност:		Националност и народност: Националност и народност:	
Вероисповест: Вероисповест:		Вероисповест: Вероисповест:		Вероисповест: Вероисповест:		Вероисповест: Вероисповест:	
УСПЕХ НА ПОЈЕДИНИХ ПРЕДМЕТА — УСПЕХ ИЗ ПОЈЕДИНИХ ПРЕДМЕТА							
ПРЕДМЕТ — ПРЕДМЕТ	ПРОСЈЕЧНА — ПРОСЈЕЧНА			Оцена из оствареног просјека	Оцена из оствареног просјека	Оцена из оствареног просјека	Оцена из оствареног просјека
	I	II	III				
Математика — Математика							
Српски јазик — Српски јазик							
Немачки јазик — Немачки јазик							
Француски јазик — Француски јазик							
Руска јазик — Руска јазик							
Албански јазик — Албански јазик							
Грчки јазик — Грчки јазик							
Језици — Језици							
Историја — Историја							
Географија — Географија							
Физика — Физика							
Хемија — Хемија							
Биологија — Биологија							
Психологија — Психологија							
Филозофија — Филозофија							
Математика — Математика							
Српски јазик — Српски јазик							
Немачки јазик — Немачки јазик							
Француски јазик — Француски јазик							
Руска јазик — Руска јазик							
Албански јазик — Албански јазик							
Грчки јазик — Грчки јазик							
Језици — Језици							
Историја — Историја							
Географија — Географија							
Физика — Физика							
Хемија — Хемија							
Биологија — Биологија							
Психологија — Психологија							
Филозофија — Филозофија							
Математика — Математика							
Српски јазик — Српски јазик							
Немачки јазик — Немачки јазик							
Француски јазик — Француски јазик							
Руска јазик — Руска јазик							
Албански јазик — Албански јазик							
Грчки јазик — Грчки јазик							
Језици — Језици							
Историја — Историја							
Географија — Географија							
Физика — Физика							
Хемија — Хемија							
Биологија — Биологија							
Психологија — Психологија							
Филозофија — Филозофија							
Математика — Математика							
Српски јазик — Српски јазик							
Немачки јазик — Немачки јазик							
Француски јазик — Француски јазик							
Руска јазик — Руска јазик							
Албански јазик — Албански јазик				</			

Osnovnu školu polazio je u Srijemskoj Mitrovici, a realnu gimnaziju (klasičnog smjera) u Zagrebu, gdje je i maturirao 1930. godine

s odličnim uspjehom. U nacionalu je upisano da je završio Državnu III. realnu gimnaziju u Zagrebu, svjedočanstvo zrelosti br. 12.



Sl. 1.13.: Slavko uči

Sl. 1.14.: Slavko u planini



Sl. 1.15.: Slavko u prirodi s prijateljima

UNIVERZITET KRALJEVINE JUGOSLAVIJE U ZAGREBU

D I P L O M A

Filosofskog fakultete

Gospodin LUPASIĆ VATROSLAV
rođen 9. decembra 1911 godine u Pakracu u Kraljevini Jugoslaviji
polažio je diplomski ispit iz I prve /Grupa sa Teorijom matematike/
crne kanta.

Kandidat je dobio ove ocjene :

Is prveg stružnog predmeta /raslo A/ Teorijska matematika

na simeantu ispitu : zadovoljava

na završnom ispitu : zadovoljava o odlikom

Iz drugog stručnog predmeta /predio E/ Racionalna mehanika i Teorija fizika

na pismenem ispitu : zadovoljstvo s odlikom

na znanost i umjetnost : zadovoljstvo i zadovoljstvo

Iskrenost predmeta /raslo C/ Viskite

na završnom ispitu : zadovoljava s daljicom

Tako je kandidat ispunio sve propise Zakona o Univerzitetima i Uredbe Filozofskog fakulteta.

Univerzitet Kraljevine Jugoslavije u Zagrebu izdaje mu ova diploma
i priznaje mu fakultetsku spremu i sva prava koja su na osnovu toga
za njega priznata.

U Zagrebu, 4 jula 1934 godine.

D. 5. 420 .

Dekan Filozofski fakulteta :

Prorektor Univerzity.

Dr. V. H. Hays, Jr., U.S. Nat.

Dr. A. Razala, V.R.

M.F.

Secleno e originalow :

Ů Zazru ba. 13. 11. 1946.

—continued from previous page—



*Sl. 1.17.: Prijepis diplome Vatroslava Lopašića koji je izdao
Filozofski fakultet u Zagrebu*

REKTORATU UNIVERZITETA KRALJEVIJE JUGOSLAVIJE

u/

S A G R E B U

Pozdrav sam glason potvrde dokamtu: Filozofskog
 fakulteta prepiše strage ispšte, ispostu sam vrjeto, koji se traje za
 postignuću štati eoktora filozofije
 Dalje toga molim, da mi se sročiti čin i ara promocije
 na štati eoktora filozofije
 U Zagrebu, dne 28. V 1938

Molitelj: Vatroslav Lopasić Vatroslav Lopasić
 ispostu je avim zakonitih vrjetih
 na za postignuću štati eoktora
filozofije
 U Zagrebu, dne 28. svibnja 1938
 Lisentacija i
 Ultrazvučni
 interferometar s
 kompozitnom frekvencijom.
 D. Alim
 o. g. dokam



Sl. 1.18.: Molba Vatroslava Lopasića za određivanje vremena i datuma promocije za doktora filozofije

Promocija molitelja obaviti će se
 dne 31. svibnja 1938
 u 12 sati o pođne u
 Univerzitetskoj sali.

© čemu se obavješćuje g.g.

1/čkan Vatroslav
 fakulteta dr. Vesna Rudolf

2/profesor Stanković
Stanković

Koji dolazi po redu kao promotor i
 napokon

3/kanoidat Vatroslav
Lopasić

U Zagrebu, dne 28. svibnja 1938

Broj: 5924 1938

REKTORATU UNIVERZITETA KR.

JUGOSLAVIJE

u/

ZAGREBU

Ime i prezime Vatroslav
Lopasić

rodno mjesto Batrac

zemlja Jugoslavija

Vjera ohi

Koliko godina star 26

zvanje zvanje asistent prve

Vatroslavog fakulteta

moli promociju na čast doktora

Filozofije



Lopasić
 Rektor

Sl. 1.19.: Odluka o vremenu i datumu promocije Vatroslava Lopasića za doktora filozofije

Q. R. F. F. F. Q. S.

NOS RECTOR
ET
UNIVERSITAS LITTERARUM
REGNI IUGOSLAVIAE ZAGREBENSIS

Laudabile imprimis maiorum nostrorum institutum est, ut, qui honestis studiis aeque artibus diu sese dederunt, antequam ad vitae communis usum atque ad praxin sese conferant, ante omnia rigoroſa subeant examina, ut debitum traditionis et scientiae suae testimonium legitimo acquirant modo.

Cum itaque ornatissimus doctissimusque Dominus

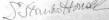
VATROSLAV LOPAŠIĆ

natus in Pakrac in regno Iugoslaviae diligentem assiduamque studiis philosophicis operam navasset, atque, ut lex praescribit, tradita dissertatione quae „Ulrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom” inscripta est a Nobis petisset, ut ipsum titulo academico doctrinae suae convenienti ornaremus: Nos, cum honestissimae acq̄issimaeque ipsius petitioni hac in re desse non possemus, dissertationem eius accurate perquiravimus atque postquam eam approbavimus, ipsum ex materiis philosophicis lege praescriptis accurate et cum rigore examinavimus. In quibus omnibus cum praeclaram eruditionem suam atque philosophiae peritiam abunde Nobis probasset, libenter comulimus petenti honorem, qui virtuti et honestis studiis debetur. Quapropter auctoritate rite in Nos collata eundem Dominum VATROSLAV LOPAŠIĆ hodie Doctorem philosophiae pronuntiavimus ac declaravimus dedimusque ac damus ei potestatem omnia exercendi, quae Philosophiae Doctores exercere solent, tribuimus et insuper privilegia omnia ac prerogativas, quaecumque vero Philosophiae Doctori legibus vel consuetudine tribuuntur. In quorum omnium fidem Diploma hoc publicum ab omnibus, quibus competit, subscriptum et maiore Universitatis sigillo munitum ei tradendum curavimus.

Datus ZAGRAEIAE, die XXXI Maii, anni millesimi nonagesimi duodecimesimo.


Dr. R. ČSARFEC
v. r. decanus


Dr. F. LOVRIĆ
v. r. rector


Dr. S. HONDEL, m. p.
prof. promotor

Da je prapo vijetan svome originalu rodi
U Zagrebu, dne 31. svibnja 1938.

glavni aktiva uvrstila.

Lopasić je te 1930. upisao I. zimski semestar Filozofskog fakulteta u Zagrebu. Diplomirao je na I. grupi (teorijska matematika) s odličnim uspjehom. Diplomna br. 428 izdana mu je 4. srpnja 1934. i njome je dokazano da je Vatroslav Lopasić položio diplomski ispit.

Vatroslav Lopasić radio je na Filozofskom fakultetu od 30. studenoga 1934. do 14. lipnja 1947., na Višoj pedagoškoj školi od 15. lipnja 1947. do 8. ožujka 1950., na Tehničkom fakultetu od 9. ožujka 1950. do 30. lipnja 1956. i na Elektrotehničkom fakultetu od 1. srpnja 1956. do 30. rujna 1982. Mala disproporcija u plaćanju između odlaska s Više pedagoške škole i dolaska na Tehnički fakultet može se objasniti ako se prati dopisivanje tih dviju ustanova. Naime, dok je počeo raditi na Tehničkom fakultetu, plaću je primao na Višoj pedagoškoj školi dok nije potpuno (i poslom i isplatom), u travnju 1950., prešao na Tehnički fakultet.

U svezi sa zaposljavanjem treba istaknuti da je zabilježen postupak koji je tomu prethodio. Prema svjedodžbi o državljanstvu br. 16970. Pov/1934, reg. br. 1535. Vatroslav je Lopasić zbog porijekla, a na osnovu domovnice gradskog načelstva u Zagrebu od 6. srpnja 1934. br. 502., državljani Kraljevine Jugoslavije i zavičajan u općini grada Zagreba, gdje je upisan pod registarskim brojem 28924 u knjigu zavičajnika. Na području grada Zagreba prema dokumentu s pečatom Uprave policije zagrebačke Lopasić je bio od 21. listopada 1922. do 12. srpnja 1934. dobrog moralnog vladanja. U domovnici od 6. srpnja 1934. upisano je da Općina Zagreb, uz priznavanje zavičajnog prava, priznaje da je V. Lopasić punopravni državljani tadašnje države.

Iste 1934. godine imenovan je asistentom dnevničarom u tadašnjem Fizikalnom kabinetu Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a godine 1936. (9. listopada) asisten-

tom činovničkim pripravnikom. Od 1937. taj kabinet postaje Zavod za fiziku Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Bio je asistent prof. dr. Stanku Hondlu pripremajući pokuse za predavanja iz fizike, a pomagao je i na Laboratorijskim vježbama tadašnjem docentu dr. Dušanu Pejnoviću kome je i održavao praktikum. Suradnja s Pejnovićem bila je od velike koristi jer je on pomagao i vodio Lopasića pri izradi doktorske disertacije iz područja ultrazvuka. Godine 1938. (27. studenoga) položio je, s odličnim uspjehom, stručni ispit pred ispitnom komisijom za polaganje asistentskog ispita, i to u Beogradu. To mu je omogućilo da postane sveučilišni asistent. Te 1938. godine on je i doktorirao iz eksperimentalne fizike na Sveučilištu u Zagrebu, i to tako briljantno da je postigao 19 bodova od 20 mogućih.

Godine 1939. dodijeljena mu je jednogodišnja stipendija British Councila za studij fizike na University of London, ali zbog ratnih okolnosti nije bilo moguće ostvarenje te dodijeljene stipendije.

Od 1939. (12. travnja) do 1943. (10. veljače) bio je sveučilišni asistent. Za to vrijeme, u akad. god. 1941./42., bio je asistent dr. D. Pejnoviću, koji je na Visokoj pedagoškoj školi (koja je tada imala položaj sveučilišnog fakulteta) honorarno predavao fiziku. Lopasić je, zajedno s dr. Božom Metzgerom, izvodio predmet *Fizikalne vježbe*. Također u to vrijeme, akad. god. 1942./43. bio je asistent dr. M. Kataliniću, koji je predavao fiziku na Medicinskom fakultetu.

Izvanrednim sveučilišnim profesorom imenovan je Lopasić 1943. (11. veljače) i bio je to sve do dolaska novih vlasti 1945. godine. Od 1943. do 1945. predavao je, u statusu izvanrednog profesora, teoretsku fiziku (danasnjim rječnikom: teorijsku fiziku) na Mudroslovnom fakultetu Hrvatskog sveučilišta



Sl. 1.21.: Prof. Lopaišić u Engleskoj 1952. godine

je za izvanrednog profesora iz fizike na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu te je u tom zvanju bio do 1956. (do 30. lipnja), a zatim u istom zvanju na Elektrotehničkom fakultetu.

Godine 1951. imenovan je članom odbora za podizanje Instituta za fiziku JAZU u Zagrebu (poslije Institut Ruder Bošković)³. Bio je i na znanstvenom putovanju u Engleskoj 1952. godine, kada je stečena iskustva stavio na raspolaganje pri ustrojavanju Instituta Ruder Bošković. U Engleskoj je radio u University of Birmingham, a pred kraj te godine sudjelovao je na konferenciji za izgradnju



Sl. 1.22.: Professor Lopaišić u Splitu (1960.), u vrijeme kada je imenovan za predsjednika Povjerenstva za izbor nastavnika na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu počev od lijeva: (neprepoznat), prof. Hrvoje Požar, prof. Ivo Petković, prof. Danilo Blanić, prof. Hranko Smoljaka (prvi dekan FESB-a), prof. Vatroslav Lopaišić, prof. Tomo Bosanac, (neprepoznat), prof. Antun Hraš i prof. Ante Vuković.

u Zagrebu. Godine 1946. postao je ponovno asistent na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu, i radio je na tom fakultetu do 1946. (31. prosinca) godine. Godine 1946. postavljen je za honorarnog nastavnika fizike na Visokoj pedagoškoj školi u Zagrebu, a 1947. (15. lipnja) postaje profesorom na toj školi, preuzevši predavanja od prof. dr. D. Pejnovića. Godine 1950. (9. ožujka) izabran

protosinhrotrona CERN-a u Parizu, a potom je radio nekoliko tjedana na rekonstrukciji

³ U svibnju 1950. godine po odluci Privrednog savjeta i Vlade FNRJ o osnivanju Instituta za znanstvena istraživanja iz područja atomske fizike (u sastavu JAZU) Akademija je imenovala odbor stručnjaka za izgradnju instituta u sastavu: Ivan Supek, Mladen Palić, Vatroslav Lopaišić, Josip Lončar, Drago Grednič i Željko Marković (predsjednik).



Sl. 1.23. Profesor Lopašić bio je dekan Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

ciklotrona u Laboratory for Nuclear Research u Liverpoolu. Pri povratku posjetio je još neke atomske i elektroničke centre u Engleskoj i Švedskoj. Godine 1954. proučavao je ciklotron u Saclayu kraj Pariza, ali i ciklotron u Hammersmith Hospital u Londonu. U Institutu Ruder Bošković bio je pročelnik III. odjela do godine 1956. Godine 1958. izabran je za redovitog profesora iz fizike na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Kao takav imenovan je za predsjednika Elektorske komisije za izbor nastavnika za Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu (1960.). Godine 1961. pohvalio ga je i nagradio Gradski narodni odbor Splita za taj rad.

Akad. god. 1959./1960 bio je dekan, od 1960. do 1962. prvi prodekan, a od 1962. do 1964. drugi prodekan Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Od godine 1950. pa do 1967. bio je predstojnik Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Godine 1965. odlikovan je Ordenom rada sa



Sl. 1.24.: Tri bivša dekana Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu – Wolf, Matković i Lopašić, u razgovoru prije sjednice



Sl. 1.25.: Profesor Lopašić s dekanima Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (sjede: Vatroslav Lopašić, Danilo Blaniša, Berislav Jarković, Antun Dolenc; stoje: Vojislav Bego, Radenko Wolf, Ante Šantić, Uroš Peruško, Vladimir Matković, Vladimir Muljević, Hrvoje Požar, Zvonimir Siročić)

zlatnim vijencem i dodijeljena mu je Zlatna plaketa «Josip Lončar», kao i povelja Sveučilišta u Zagrebu za izuzetan doprinos razvoju tehničkih znanosti.

Na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu predavao je *Fiziku* na diplomskom studiju, a *Mjerenja u fizici i tehnici* na poslijediplomskom studiju.

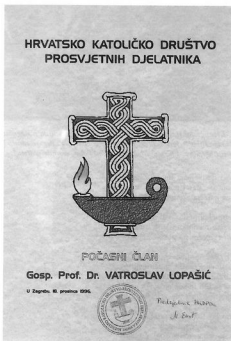
Umirovljen je 1982. godine. U cijeloj svojoj sveučilišnoj nastavnoj praksi na tehničkim fakultetima nije održao predavanje bez izvođenja pokusa, koji su bili temelj njegovih predavanja, a laboratorijske vježbe sastavni dio nastave.

Prof. dr. Vatroslav Lopašić umro je u Zagrebu 17. prosinca 2003. godine, a dva dana poslije pokopan je na zagrebačkom groblju Mirogoj.

MANJE POZNATO U RIJETKO OBJAVLJIVANIM BILJEŠKAMA O LOPAŠIĆU

Manje je poznato da je V. Lopašić godine 1940. imenovan honorarnim nastavnikom za vježbe iz fizike na Višoj pedagoškoj školi u Zagrebu. Uz to nedovoljno je objavljivano da je 1942. godine Vatroslav Lopašić bio asistent

na Medicinskom fakultetu u Zagrebu, a glavni predavač bio je dr. Marin Katalinić. Isto je tako manje poznato da je Lopašić honorarno predavao na PMF-u predmet Fizikalna elektronika od 1946. pa do 1956., kada je otkazao



Sl. 1.26.: Povelja Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika uručena je 22. prosinca 1996.



HRVATSKA AKADEMIJA TEHNIČKIH ZNANOSTI



Skupština Hrvatske akademije tehničkih znanosti
na sjednici 18. studenog 1994. donijela je

ODLUKU

kojom je

prof. dr. sc. VATROSLAV LOPAŠIĆ

izabran

za počasnog člana

Hrvatske akademije tehničkih znanosti

zbog osobitih zasluga u razvitku i promicanju
tehničkih znanosti

U Zagrebu, studeni 1994.

Predsjednik

Prof. dr. sc. JOSIP BOŽIČEVIĆ

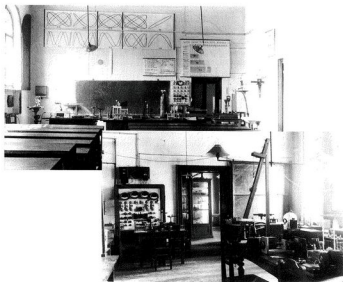
zbog preopterećenosti redovitim poslom. Sudjelovao je, u trajanju od dva tjedna, na izgradnji pruge Šamac-Sarajevo. Radnički savjet Instituta Ruder Bošković imenovao ga je 1976. počasnim savjetnikom.

Sva širina Lopaićeve osebnosti i osobne veličanstvenosti ogleda se i u činjenici da je sasvim dobro govorio i pisao njemački, dobro engleski, da je govorio francuski i talijanski, i razumio latinski. I u mirovini nije mirovao

nego je marljivo svladavao grčki jezik kako bi i na njemu mogao čitati i proučavati izvornike svjetske duhovne ostavštine.

Bio je član Društva prijatelja glagoljice, Hrvatskog mjeriteljskog društva, Društva matematičara Hrvatske te počasni član Društva inženjera i tehničara, Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ) i prvi počasni član Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika (HKDPD).

VISOKOŠKOLSKA PREDAVANJA



Sl. 1.28.: Predavaonica i praktikum na Rektoratu Sveučilišta gdje je počeo raditi prof. Lopaić kao mladi asistent pripravnik (1935.–1937.)

Prema redovima predavanja Hrvatskog sveučilišta u Zagrebu, izvanredni profesor dr. Vatroslav Lopašić predaje na Tehničkom fakultetu *Teoretsku fiziku (elektricitet i magnetizam, II. dio)* i drži *Seminarske vježbe iz teoretske fizike* u zimskom poljeću (u zimskom semestru) 1943./44. U ljetnom poljeću 1943./44. predaje *Teoretsku fiziku, III. dio* i drži *Seminarske vježbe iz teoretske fizike*. Tijekom zimskog poljeća 1944./45. predaje *Teoretsku fiziku, IV. dio* i drži *Seminarske vježbe iz teoretske fizike*. Redovi predavanja za ljetno poljeće 1944./45. i zimski semestar 1945./46. nisu tiskani.

Od zimskog semestra šk. god. 1947./48. do ljetnog semestra 1949./50. predaje *Fiziku* na Višoj pedagoškoj školi u Zagrebu (izvori: osobnik prof. Lopašića i knjiga "Pedagoška akademija Zagreb, 1919.-1969., Zagreb, 1971.).

U ljetnom semestru akad. god. 1949./50. nije na Tehničkom fakultetu zapisan kao predavač V. Lopašić nego samo dr. inž. Franjo I. Havliček, koji je predavao *Akustiku* za IV. godinu Arhitektonskog odsjeka (smjer A). Ipak, Lopašić je zapisan kao honorarni nastavnik na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu za predmet *Odabrana poglavlja fizike II* (elektronika), sve do kraja ljetnog semestra 1954./55. Honorarno je predavao *Elektroniku* za III. godinu studija fizike i *Uvod u fiziku* za I. godinu studija geologije u zimskom semestru akad. god. 1955./56. Od akad. god. 1956./57. tiskaju se zajedno predavanja u zimskom i ljetnom semestru, ali u njima nema Lopašića kao honorarnog predavača.

U akad. god. 1950./51. predaje *Fiziku* za I. godinu Građevinskog odsjeka, Geodetskog odsjeka, Strojarskog odsjeka (preporuka je bila upisati *Fizikalni praktikum* i *Fiziku za naprednije - specijalna poglavlja* - sve za II. godinu Strojarskog odsjeka), Elektrotehničkog odsjeka, Brodograđevnog odsjeka (preporuka je bila upisati *Fizikalni praktikum* i *Fiziku za naprednije - specijalna poglavlja* - sve za II. godinu

Brodograđevnog odsjeka), Kemijsko-tehnološkog odsjeka i Rudarskog odsjeka (za Rudarsko-geološki smjer, za Rudarsko-elektrostrojarški smjer i za Rudarsko-pogonski smjer).

U akad. god. 1951./52. predaje *Fiziku* za I. godinu nabrojanih odsjeka, ali i *Tehničku fiziku* za Građevinski odsjek. Više se ne preporučuju ostali fizikalni predmeti. Za Elektrotehnički odsjek, slaba struja, za II. godinu, predaje *Teoretsku fiziku*.

U akad. god. 1952./53. predaje *Fiziku* za I. godinu nabrojanih odsjeka, a za Elektrotehnički odsjek, slaba struja, za II. godinu, *Teoretsku fiziku*.

U akad. god. 1953./54. predaje *Tehničku fiziku* za I. godinu Građevinskog odsjeka i drži *Vježbe iz tehničke fizike*, za I. godinu Geodetskog odsjeka *Fiziku* i drži *Vježbe iz fizike*, a za I. godinu Strojarskog i Rudarskog odsjeka *Fiziku*. Za Elektrotehnički odsjek, slaba struja, II. godina, nije upisan kao predavač za predmete *Teoretska fizika* i *Vježbe iz teoretske fizike*, iako su upisani predmeti i satnica.

U akad. god. 1954./55. predaje *Fiziku* za I. godinu nabrojanih odsjeka, ali i *Odabrana poglavlja iz fizike* za Elektrotehnički odsjek, slaba struja, II. godina.

U akad. god. 1955./56. predaje *Fiziku* za I. godinu nabrojanih odsjeka. Za Elektrotehnički odsjek, slaba struja, II. godina, predmete *Tehnička fizika* i *Odabrana poglavlja iz fizike*.

U akad. god. 1956./57. predaje na Elektrotehničkom fakultetu *Fiziku I, II, i III, Fizikalni praktikum I, II, i III* (tada zvane laboratorijske vježbe) i predmet *Mjerenja u fizici i tehnici* na poslijediplomskom studiju sve do umirovljenja 1982. Na Građevinskom fakultetu predaje *Fiziku* za I. godinu.

U akad. god. 1958./59. predaje, osim na Elektrotehničkom fakultetu, *Fiziku* za I. godinu Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

U akad. god. 1963./64. predaje, osim na Elektrotehničkom fakultetu, *Fiziku* za I. go-

dinu Šumarskog fakulteta (Drvno-industrijski odjel). U akad. god. 1965./66. predaje, osim na Elektrotehničkom fakultetu, *Fiziku* za I. godinu Šumarskog fakulteta, ali i na Elektrotehničkom fakultetu u Splitu *Fiziku i Fizikalni praktikum*.

U akad. god. 1968./69. i akad. god. 1969./70. predaje, osim na Elektrotehničkom fakultetu, *Fiziku i praktikumom* za I. godinu Rudarskog odjela te za II. godinu Geološkog odjela i Odjela za bušenje nafte i plina Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

Akad. god. 1973./74. predaje, osim na Elektrotehničkom fakultetu, za I. godinu Tehnološkog fakulteta *Tehničku fiziku* i za I.

godinu Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta *Vježbe iz fizike I*.

Akad. god. 1975./76. drži za I. godinu Tehnološkog fakulteta *Vježbe iz fizike*, akad. god. 1976./77. *Vježbe iz fizike I, II*, a akad. god. 1978./79. drži *Vježbe iz tehničke fizike*.

Akad. god. 1976./77. predaje i na Sveučilišnom interfakultetskom saobraćajnom studiju, za I. godinu, *Fiziku I i II*, dok iduće akad. god. 1979./80. *Fiziku*. Akad. god. 1980./81., osim na Elektrotehničkom fakultetu, predaje zajedno s V. Kos *Fiziku* na Zajedničkom studiju prometa.

Konačno, akad. god. 1981./82. predaje samo na Elektrotehničkom fakultetu *Fiziku I i II*.

SURADNJA S HRVATSKOM AKADEMIJOM ZNANOSTI I UMJETNOSTI

U *Ljetopisu JAZU*, za 1952. godinu, zapisano je da je pročelnik III. odjela Instituta za fiziku Ruđer Bošković prof. dr. Vatroslav Lopašić. U rubrici Rad trećeg odjela, u Laboratoriju za ultrazvuk, stoji da su obasjavanjem ultrazvukom proizvedene antigene supstancije nekih klica. U sklopu laboratorija razvijena je također metoda posrebrivanja u vakuumu raspršivanjem katode.

U *Ljetopisu JAZU* za 1953. godinu, knj. 60., o ciklotronskoj grupi piše: kod Leybolda u Njemačkoj boravio je dva mjeseca Lj. Čeljuska kada ga je uputio prof. Lopašić radi usavršavanja u vakuumskoj tehnici. U rubrici o radu u sekcijama upisano je da je Fizička sekcija raspravljala o pitanjima nuklearne fizike, a dr. V. Lopašić referirao je o akceleratorima. Na str. 47 piše da u sekcijama ima 27 suradnika, ali nisu nabrojani.

U *Ljetopisu JAZU* za 1954. godinu, knj. 61., u II. odjelu za matematičke, fizičke i tehničke nauke i III. odjelu Instituta za fiziku

Ruđer Bošković pod točkom 2. nabrojani su poslovi Laboratorija za ultrazvuk. Tamo piše: »Nastavljena su istraživanja u obasjavanju raznih klica ultrazvukom u svrhu oslobađanja antigenih tvari i s time u vezi vršena su pripadna bakteriološka ispitivanja. Izgrađene su specijalne ampule s intenzivnim hlađenjem tako da se obasjavanjem najjačim ultrazvukom temperatura ne diže iznad 30°C, što je od naročite važnosti s bakteriološkog stajališta. Izrađen je visokonaponski ispravljač za pogon novog generatora ultrazvuka i razvijena aparatura za metaliziranje kvarcova u vakuumu. Naročita je pažnja posvećena držačima kvarcova, u čemu su postignuta znatna poboljšanja. Bakteriološki dio rada vršen je u Higijenskom zavodu u Zagrebu. Izvršeni su i eksperimenti obasjavanja živih tkiva i ispitivane nastale promjene; to je istraživanje izvršeno uz suradnju Medicinskog fakulteta u Skoplju. Osim dovršenja aparature za ultrazvučna obasjavanja s naročitim obzirom na

bakteriološke probleme, posvećuje se stalno dio rada i ispitivanju materijala ultrazvukom, što postaje aktualno u vezi s izgradnjom ciklotrona, u toku kojeg će se postepeno angažirati svi laboratoriji ovog odjela. Bakteriološki dio laboratorija opremit će se potrebnim uređajima tako da se obasjani uzorci ne će morati u svrhu ispitivanja prenositi u druge institute. Pri tome će se držati u prvom redu na umu takva istraživanja, kod kojih bi prenošenja onemogućila valjanu evaluaciju postignutih rezultata».

U *Ljetopisu JAZU* za 1955., knj. 62., piše da su 1954. dr. Ivan Supek i dr. inž. Mladen Paić prestali biti članovi JAZU, a u Fizičkoj je sekciji, između ostalih, spomenut je i Vatroslav Lopašić. Isto tako, dan je važan podatak da Odlukom Izvršnog vijeća NR Hrvatske br. 18042 od 2.XI.1954., donesenom u sporazumu s Jugoslavenskom akademijom, izašao je Institut za fiziku »Ruđer Bošković« s danom 1. siječnja 1955. iz sklopa Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti.

U *Ljetopisu JAZU* za 1956., knj. 63., str. 156., pod naslovom Planovi rada JAZU za 1957. godinu, u Fizičkoj sekciji pod b) navedeno je da će se suradnik prof. V. Lopašić baviti ultrazvučnom interferometrijom (bezina ultrazvuka u tekućinama, raznim otopinama, temperaturni hod brzine ultrazvuka) i apsorpcijom ultrazvuka. Sa suradnicima iz Higijenskog zavoda radit će na primjeni ultrazvuka u bakteriologiji.

U *Ljetopisu JAZU* za 1958., knj. 65., u rubrici: Izvještaj o radu JAZU za 1957., str. 71., piše da je u Fizičkoj sekciji Vatroslav Lopašić održao, uz ostale, predavanje »Referat o prvom savjetovanju za ultrazvuk u Beogradu«.

U *Ljetopisu JAZU* za 1959., knj. 66., u rubrici Naučna djelatnost i naučno-istraživački rad na terenu u 1958., piše, na str. 68., uz ostalo, da je Vatroslav Lopašić, suradnik Akademije, ponovo sastavio i uredio ultrazvučni interferometar promjenljive frekvencije za mjerenje brzine zvuka u kapljevinama, i to kao preliminarni rad

za mjerenje temperaturnog hoda brzine zvuka u kapljevinama i općeg istraživanja pomoću interferometrijskih metoda. U svim daljnjim ljetopisima od knj. 67. pa do knj. 77. (koja se odnosi na 1971.) u Sekciji za fiziku spomenut je, uz ostale, Vatroslav Lopašić. U knj. 79. za god. 1974. nije spomenut V. Lopašić. U knj. 80. za 1976. navedeni su kao članovi suradnici u II. razredu, str. 81, od fizičara Boran Leontić i Dubravko Tadić, koji su na skupštini 6. lipnja 1975. izabrani za članove suradnike.

Napomena. Prema tada važećem Zakonu o JAZU od 13. prosinca 1947. (idući će biti donesen 1961.) članovi Akademije jesu: a) pravi članovi (akademici), b) počasni članovi c) članovi dopisnici. Prema čl. 6. toga zakona piše da u ostvarivanju zadataka Akademije, njenih zavoda i ustanova, mogu sudjelovati i suradnici. Prema Statutu JAZU od 24. ožujka 1948. u čl. 18. u st. 2. piše da suradnike biraju na svojim sjednicama pojedina odjelna vijeća između osoba, koja po svom stručnom znanju ili dokazanoj vještini mogu biti od koristi Akademiji u postizanju njenih ciljeva. Izabrane suradnike potvrđuje Predsjedništvo. U st. 3. tog članka piše da odjeli raspoređuju u pravila suradnike na rad u svoje sekcije, institute, komisije i odbore i druge ustanove, a mogu ih dodijeliti na rad neposredno odjelu samom. U st. 3. piše da suradnike onih instituta, zavoda i odbora, koji se nalaze neposredno pod rukovodstvom predsjedništva, bira na prijedlog uprave predsjedništvo. Suradnici se podvrgavaju novom izboru svake treće godine.

U Zakonu o JAZU iz 1961. nije se ništa bitno promijenilo u odnosu na suradnike, jedino valja istaknuti da su od 16. lipnja 1961. dr. I. Supek i dr. inž. M. Paić izabrani za prave članove. Oba su tada bili redoviti profesori Prirodoslovno-matematičkog fakulteta. U knj. 78. za god. 1973. i 1974. iznesen je i novi Zakon o JAZU, u kojem se ne nabrajaju sekcije, a o suradnicima je rečeno: suradnici su na sjednicama, ako se pozovu, i imaju savjetodavni glas.

PREDAVANJA POD OKRILJEM FIZIKALNOG ZAVODA U SKLOPU KOLEGIJA FIZIKALNI KOLOKVIJ⁴



Sl. 1.29.: Ilustracija poziva na predavanja Fizikalnog zavoda u sklopu kolegija Fizikalni kolokvij

U ostavštini V. Lopašića pronađen je rukopis: »Samoindukcija kruga od žice konačne debljine«, s nadnevkom 19. siječnja 1939. i napomenom da je to referat. Kao korištena literatura spomenuta je jedna stručna knjiga. Kako u Lopašićeva doba nije bilo, kao danas, mnogo znanstvenih skupova, on je to mogao referirati pred slušačima Pučkog sveučilišta, Hrvatskog prirodoslovnog društva ili Fizikalnog zavoda Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Gotovo je sigurno da predavanje/referat održao u Fizikalnom zavodu. Što nam daje osnovu za takvu tvrdnju?

Najmanje dva elementa u istraživanju mogu pružiti uvjerljive dokaze da je Pučko sveučilište isključeno za taj Lopašićev nastup. Naime, kao prvo, ako se pogleda po-

pis predavanja na Pučkom sveučilištu koji je objavljen, može se uočiti da naslov Lopašićeva predavanja nije uvršten u popis predavanja. Kao drugo, referat je teorijske naravi, prepun dosta složenih matematičkih izraza, većinom iz više matematike, pa bi praćenje za nestručne slušače Pučkog sveučilišta bilo gotovo nemoguće.

Što se tiče mogućnosti da je predavanje održano u sklopu predavanja u Hrvatskom prirodoslovnom društvu (HPD), može nam poslužiti dvostruka analiza. Naime, može se analizirati slučaj predavanja K. Kempnija i B. Metzgera »Suvremene metode određivanja točnog vremena i isporodbe ura«, koje je održano 24. veljače 1938. u 18 sati na društvenom sastanku HPD-a. Časopis *Priroda*, god. XXVIII, ožujak 1938., br. 3, na str. 95 i 96, u rubrici *Vijesti*, pod naslovom

⁴ Tada je bio naziv »Fizikalni zavod« i »Fizikalni kolokviji«, a ne kao danas »Fizički zavod« i »fizički kolokviji«. (noveleđajte sliku 1.29).

Prva je ova referata, izrađenog prema Abraham: Theorie der Elektrizität I, 1930, str. 154. - 161., ~~da~~ pokazati, kako se izračunava teoretski koeficijent samo, indukcije kruga od žice, ~~da~~ ako se samo u obzir ~~da~~ je ~~žica~~ konačna debljina žice. Žica, ~~ima cilindričnu obliku~~ od koje je ovaj načinjen, ~~neka~~ ima cilindričnu obliku i njen radijus $\pm$ neka je malen prema radijusu R kruga, u koji je žica savijena. R mjerimo od središta kruga pa do osi žice.



Krug neka se nalazi u prostoru sa permeabilnošću μ , koja može biti funkcija mjesta, ali ne zavisi o intenzitetu ~~magne~~ magnetskog polja J . Na osnovu je

dalekije magnetske indukcije B proporcionalne jačini magnetskog polja.

$$B = \mu J.$$

Na taj je najet energija magnetskog polja dana izrazom

$$U_m = \frac{1}{8\pi} \int B J d\sigma,$$

gde integracija treba provesti preko celog prostora. Žica ne smijemo uzeti beskonačno tankom, jer bi tada magnetska sila rasla prema Biot i Savartovu zakonu

preko svih granica, sad se približavamo ②
 žici, ako kroz nju teče električna struja konstantne
 gustoće. Izgleda da se indukcijom ~~na~~ može
 predložiti pomoću vektor-potencijale.

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}, \quad \vec{A} = \frac{\mu}{c} \int \frac{\vec{j} d\vec{r}}{r}$$

Integraciju treba provesti na čitav prostor
 i provesti je za svaku točku prostora. Ona
 je definirana za svaku točku prostora
 vektor $\vec{A}$.

Ali se radi o strujama kao o neregularne
 žice onda je

$d\vec{r} = \vec{j} \cdot d\vec{S}$, gdje je $\vec{j}$ gustoća
 struje u žici mjerena
 u elektrostatičkim egs jedinicama. Za
 takav slučaj, da je ~~isto~~ vektor-poten-
 cijal iznadom

$$\vec{A} = \frac{\mu \vec{j}}{c} \oint \frac{d\vec{S}}{r}$$

Im integraciju treba
 provesti po svim
 komponentama struje.

Sad ćemo transformirati i izraz za
 magnetsku energiju. Važna nam je

$$\vec{B} \cdot \vec{j} = \vec{j} \cdot \text{rot } \vec{A} = \vec{A} \cdot \text{rot } \vec{j} + \text{div}[\vec{A} \vec{j}].$$

Integral

$$\int \text{div}[\vec{A} \vec{j}] \cdot d\vec{r} = \int [\vec{A} \vec{j}]_n d\vec{f}$$

amo ~~ovamo~~ prema Gaussovu počinu transfor-
 mirati. Budući da treba integrirati preko
 čitavog sistema, to znači plošni integral
 isčerać. Prema tome dobivamo za magnetsku
 energiju izraz.

da stavimo :

$$\frac{1}{c} \dot{\Phi}_k = L_{k1} \dot{y}_1 + L_{k2} \dot{y}_2 + \dots + L_{kk} \dot{y}_k + \dots + L_{kn} \dot{y}_n. \quad (4)$$

L_{ki} su koeficijenti međusobne indukcije, L_{kk} je koeficijent samoindukcije k -tog kroga.

Vidimo li da, iako se $\dot{\Phi}_k$ u ~~ovoj~~ formuli ne ~~izražava~~ magnetskom energijom, to dobijemo:

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n L_{ik} \dot{y}_i \dot{y}_k$$

Promotrimo sada jedan konkretni slučaj, da imamo samo dva kroga struje, na raznoimenjivo njihovom međusobnom indukciji ne mogući, da je μ u istom prostoru konstantno. Taj nam je način potreban za rešenje ~~problema~~ zadatka, ~~koji smo~~ si postavili, a to je samoindukcija jednog kroga. Tok magnetske indukcije kroz krog 1, ~~je~~ a koji potječe samo od kroga 2 jest prema definiciji koeficijenta međusobne indukcije :

$$L_{12} \dot{y}_2 = \frac{1}{c} \oint \vec{H} d\vec{l}, \quad \text{gdje integriramo po svim kruzima, a dekarotenajmal}$$

se odnosi samo na drugi krog, tako da nam njegova rotacija daje indukciju koja potječe samo od drugog kroga.

To je udaljenost dužer linijarnih elemenata ⑥
koji su međusobno zakrenuti za ~~θ~~ kut ϑ .

Uzimo još izraz za $d\vartheta_1 d\vartheta_2$.

$$d\vartheta_1 d\vartheta_2 = d\vartheta_1 \cdot d\vartheta_2 \cos \vartheta = d\vartheta_1 a_2 \cos \vartheta \cdot d\vartheta_2$$

Prema tome je

$$L_{12} = \frac{\mu}{c^2} \oint \oint \frac{da_1 \cdot a_2 \cos \vartheta \cdot d\vartheta}{\sqrt{z^2 + a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos \vartheta}}$$

Integrirajmo po prvom nalogu latic (ovde, dmo. 12)

$$\begin{aligned} L_{12} &= \frac{\mu}{c^2} \cdot 2\pi a_1 \int_0^{2\pi} \frac{a_2 \cos \vartheta \cdot d\vartheta}{\sqrt{z^2 + a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos \vartheta}} \\ &= \frac{2\pi\mu}{c^2} \int_0^{2\pi} \frac{a_1 a_2 \cos \vartheta \cdot d\vartheta}{\sqrt{z^2 + a_1^2 + a_2^2 - 2a_1 a_2 \cos \vartheta}} \end{aligned}$$

Ovo vodi na eliptični integral.

Tako staviti

$$k^2 = \frac{4a_1 a_2}{(a_1 + a_2)^2 + z^2}$$

To je manje od 1, jer je

$$4a_1 a_2 = (a_1 + a_2)^2 - (a_1 - a_2)^2.$$

$$\vartheta = \pi - 2\varphi.$$

Tada je

$$\cos \vartheta = -\cos 2\varphi = \sin^2 \varphi - \cos^2 \varphi = 2\sin^2 \varphi - 1$$

$$x = \sqrt{x^2 + a_1^2 + a_2^2 - 4a_1a_2 \sin^2 \varphi + 2a_1a_2} \quad (4)$$

$$= \sqrt{x^2 + (a_1 + a_2)^2} \cdot \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}$$

uvrstimo li to u izraz za L_{12} , to dobijemo:

$$\begin{aligned} L_{12} &= \frac{2\pi\epsilon_0}{c^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{a_1a_2(2\sin^2\varphi - 1) \cdot (-2d\varphi)}{\sqrt{x^2 + (a_1 + a_2)^2} \cdot \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \\ &= \frac{2\pi\epsilon_0}{c^2} k\sqrt{a_1a_2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{(2\sin^2\varphi - 1)d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \end{aligned}$$

• Budući da je podintegralna funkcija parna, to možemo pisati:

$$L_{12} = \frac{4\pi\epsilon_0}{c^2} k\sqrt{a_1a_2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2\sin^2\varphi - 1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} d\varphi$$

da uvedemo ovaj integral na normalan oblik, treba još podintegralnu funkciju malo transformirati. Važi:

$$\begin{aligned} \frac{2\sin^2\varphi - 1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} &= \frac{\frac{2}{k^2}(2k^2 \sin^2\varphi - 1) + \frac{2}{k^2} - 1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \\ &= \frac{1}{k^2} \left\{ \frac{2 - k^2}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} - 2\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} \right\} \end{aligned}$$

Prema tome je

$$L_{12} = \frac{4\pi\epsilon_0}{c^2} \sqrt{a_1a_2} \left\{ \left(\frac{2}{k} - k \right) \cdot K - \frac{2}{k} E \right\},$$

gdje je $\frac{\pi}{2}$

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \varphi}}, \quad E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi \cdot \sqrt{1-k^2 \sin^2 \varphi}. \quad (8)$$

Jo su potrebni eliptični integrali prvog i drugog vrste. Vrijednosti se ~~odgovarajuće~~ mogu naći u tablicama.

Naći ćemo približnu vrijednost tih integrala za slučaj, da je nagibnoga nadeženost nešto tim konvergencijom malena prema promjenom tih konvergencija. Prema tome se i radijansi tih konvergencija malo razlikuju i k je malena prema promjenom konvergencija. Dakle

$$|a_1 - a_2| \ll a_1 \quad \text{ i } \ll k a_1$$

Onda se k^2 približava vrijednosti 1, ~~i.e.~~ pa $\frac{E}{K}$ dobivamo:

$$E \doteq \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} d\varphi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi d\varphi = 1$$

Saprotiv K raste preko svih granica ako k teži prema 1. Da taj integral shvatimo, razvijemo $\sin \varphi$ u $\cos \varphi$. Jo možemo, jer u intervalu $[0, \frac{\pi}{2}]$, vrijedi $\cos \varphi$ iste vrijednosti kao i $\sin \varphi$ samo svačemu redom.

$$K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}}. \quad \text{Taj integral razvijemo u}$$

$$K = \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-k^2 \cos^2 \varphi}} + \int_{\varphi_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-k^2 \cos^2 \varphi}}, \quad (9)$$

gdje je φ_0 tako odabran, da vrijedi
 $1 - k^2 \leq \varphi_0^2 \leq 1$.

To se može uočiti, jer je po tvrdnji stavci k^2 blizu jedinici.

Podući da φ_0 u prvom integralu ~~prema~~ ~~prema~~ integracijskom intervalu u neprekidnom oscilira 0, to možemo svoj zamijeniti sa svojim dva člana slijedećim razlozima:

$\cos \varphi \approx 1 - \frac{\varphi^2}{2}$. U drugome se može k^2 staviti naprosto jednak jedinici, jer imamo

$$K = \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{(1-k^2) + k^2 \varphi^2}} + \int_{\varphi_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sin \varphi}$$

u prvom je integralu zanemaren član $\frac{\varphi^4}{4}$ kao malen.

Stavimo li još

$$\begin{aligned} k'^2 &= 1 - k^2 = \frac{(a_1 + a_2)^2}{(a_1 + a_2)^2 + 2^2} - \frac{4a_1 a_2}{(a_1 + a_2)^2 + 2^2} = \\ &= \frac{(a_1 + a_2)^2 - 4a_1 a_2 + 2^2}{(a_1 + a_2)^2 + 2^2} = \frac{(a_1 - a_2)^2 + 2^2}{(a_1 + a_2)^2 + 2^2} \end{aligned}$$

$(a_1 + a_2)^2 + 2^2$ jest konstant najmanje udaljenosti.

samoindukcijski koeficijent žice konačne Φ debljine. Radijus tog kroga neka je R , a poluprečnik žice a , kao što na početku istaknuli.

Kad teče kroz taj krog struja I , onda je magnetska energija njegovog polja:

$$\frac{1}{8\pi} \int L j^2 da = \frac{1}{2} L I^2$$

to je definicijska jednadžba za koeficijent samoindukcije L tog kroga. Područje integracije čemo rastaviti u dva dijela: vanjsko t.j. onaj prostor koji je izvan žice, i unutarnje t.j. onaj prostor, koji je u žici. Imajući na umu tome i vanjski i unutarnji koeficijent, te vanjski i unutarnji koeficijent samoindukcije. Dakle:

$$L = L_{\text{vanjski}} + L_{\text{unutarnji}}$$

Po pretpostavci je poluprečnik žice mnogo manji od poluprečnika kroga, a koji je žice zanemareno. ~~Prema tome je~~ dakle

$a \ll R$, zato možemo primijeniti ovaj postupak:

Kod računanja vanjske magnetske energije možemo uzeti, kao da je struja koncentrirana u osi žice.

Kod računanja unutarnje energije

energije, t.j. kod integracije unutar cijeg, ⁽¹⁾
 se polaznjem r oko osi kugle, možemo
 reći, ~~da~~ da se magnetska sila slabije
 po Biot-Savartovu zakonu od ravnog
 žica. ~~Reći~~ u samoj osi žice nema
 prostorne gustoće struje pa onda
 ista apsolutna vrijednost.

Prema tome možemo smatrati L
 kao koeficijent međusobne indukcije
 kugle ~~u~~ koncentričnog omota
 od žice, i taj broj ima radius
 $R-r$, ~~kugle~~ dok je radius tog
 kugle žice struje I el. str. i ž. jed.
 Vime magnetska energija tog kugle
 jednaka je svojstvenoj energiji strujne
 kugle od žice. To smo pitajmo
 riješiti u trigonometriji. Treba namo
 staviti $a = R$, $b = r$, pa doli
 vamo

$$L_v = \frac{4\pi\mu_0}{c^2} R \left(\log \frac{R}{r} - 2 \right)$$

Proračunat ćemo sada magnetsku energiju
 energiju, uz pretpostavku, da je $|i| = \text{konst}$
 u cijeloj žici. Na svakom je magnetskom
 u žici

$$\text{rot } \mathbf{J} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{i}$$

ili što je s konjugiranim vektorom
 valentno $\oint \mathbf{J} d\mathbf{s} = \int (\text{rot } \mathbf{J})_n d\mathbf{f} = \int \frac{4\pi}{c} \mathbf{i}_n d\mathbf{f}$,

gdje se misli bilo kakova zatvorena (13)
 krivulja ~~kojom~~ po kojoj se integrira.
 Zamislimo, da je krivulja krug i
 da je njegovo središte na osi žice
 i da radijus y toga kruga valja

$0 \leq y \leq r$ a ravniina kruga
 da je okomita na os žice. Budući
 da je taj krug malen prema radijusu
 kružnog žice, to možemo
 smatrati, da je žica ravna i da
 je magnetska sila duž cijelog kruga
 konstantna po svojjoj apsolutnoj
 vrijednosti. Tada je:

$$\oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{l} = 2\pi y \cdot |\mathbf{J}|$$

Strujom kroz taj krug ~~je~~ $\frac{y^2}{r^2}$ jest

$$\mathbf{J}_z = |\mathbf{J}| \cdot \frac{y^2}{r^2} \pi$$

$$\frac{4\pi}{c} \int \mathbf{J}_z \cdot d\mathbf{l} = \frac{4\pi}{c} \cdot \mathbf{J}_z = \frac{4\pi}{c} \frac{y}{r^2} y^2, \text{ gdje}$$

$\int$ je y ukupna dužina kruga žice.

Ta su dva integrala jedna formom
 jednaka, dakle:

$$2\pi y \cdot |\mathbf{J}| = \frac{4\pi}{c} \frac{y}{r^2} y^2$$

$$\boxed{|\mathbf{J}| = \frac{2y}{c r^2} \cdot y}$$

Tako smo dobili
 izraz za ^{relativnu} magnetsku
 silu u unutarnjoj
 žici.
 Ako je permeabilnost
 materijala, od
 kojega je žica na

sinjane μ_n , to je onda

$$L = \mu_n J, \text{ pa imamo za}$$

unutarnji magnetni energiju izraz

$$\frac{1}{2} \int_0^R J \cdot \mu_n J \cdot 2\pi r \cdot dz \quad \text{Integraciju treba}$$

provesti po čitavom
valnom žice,

dalek se od 0 do r , a za z duž
čitave žice. Izlazi vrijednost

$$\frac{3 R \pi \mu_n \cdot 2\pi \cdot \left(\frac{2Y}{c r^2}\right)^2 \frac{r^4}{4} = \frac{Y^2}{2} \cdot \frac{\pi \mu_n R}{c^2}$$

Prema definiciji namotaja samoindukcijske ~~energije~~ valja:

$$\frac{Y^2}{2} \cdot \frac{\pi \mu_n R}{c^2} = \frac{1}{2} L_n Y^2$$

$$L_n = \frac{\pi \mu_n R}{c^2}$$

Prema tome je samoindukcijski koeficijent ~~potpuno~~ namotaja iz materijala permeabilitetu μ_n

$$L = L_s + L_n = \frac{4\pi R}{c^2} \left\{ \mu_s \left(\log \frac{8R}{r} - 2 \right) + \frac{\mu_n}{4} \right\}$$

što je rezultat, koji smo tražili.

Specijalno za $\mu_n = \mu_s = 1$ valja:

$$L = \frac{4\pi R}{c^2} \left(\log \frac{8R}{r} - 1,75 \right) \frac{\text{sek}^2}{\text{cm}}$$

to je vrijednost koeficijenta samoindukcijske u elektrostatičkom cgs sustavu.

»Predavanje u Hrvatskom prirodoslovnom društvu«, donosi dosta detaljan opis upravo tog predavanja. Kad se pogledaju brojevi časopisa *Priroda*, god. XXIX, siječanj, veljača i ožujak, br. 1, 2 i 3 koji bi mogli imati veze s Lopašićevim predavanjem, može se lako uočiti sljedeće. U br. 1 tog časopisa nema toga predavanja u HPD-u, u br. 2. nalazi se kao predavač u HPD-u dr. Ivo Horvat, koji je predavao 23. veljače 1939, u br. 3 također nema Lopašićeva predavanja u HPD-u.

Ostaje tvrdnja da je predavanje održano u Fizikalnom zavodu Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, i da je trajalo jedan sat, prema običajima koji su uvedeni u kolegij *Fizikalni kolokviji*. Da bismo to potkrijepili iznijet ćemo tvrdnje prof. dr. Bože Metzgera (r. 1913.) koji je, kao i Lopašić, bio Hondlov asistent. B. Metzger kaže da je 15. siječnja

1932. održao u sklopu *Fizikalnog kolokvija* predavanje »Interferencija i lom röntgenskih zraka«. O tome postoji i pisani zapis. Piše da je dobio prvu knjigu, koju ističe u referatu (Siegbahnovu), dok je drugu posudio iz knjižnice (Lindhovu). Naglasak je bio na matematičkim izvodima, a Metzger je uz pomoć Lindove knjige načinio izvod, no kada je nacrt referata, zajedno sa sedam slika, dijagrama i nacrt, pokazao prof. S. Hondlu, taj nije bio zadovoljan što je izvod bio po Lindhu, tražio je izvod po Siegbahnu. Metzger je postupio kako je traženo i pred auditorijem od dvadesetak kolega, prof. dr. S. Hondlom, dr. V. S. Vrkljanom i dr. D. Pejnovićem, održao predavanje u očekivanom vremenu. Metzger je sutra dan vratio Siegbahnovu knjigu prof. Hondlu i ostavio mu rukopis referata.

PREDAVANJA POD OKRILJEM MATEMATIČKO-FIZIČKE SEKCIJE HRVATSKOG PRIRODOSLOVNOG DRUŠTVA I DRUŠTVA MATEMATIČARA I FIZIČARA NR HRVATSKE

Vatroslav Lopašić bio je aktivan i u navedenoj sekciji. Prvo predavanje bili su u stvari pokusi pa je i naziv bio jednostavno: »Pokus i ultrazvukom«. Bilo je održano 4. svibnja 1949. godine. U predavanju su, kao što je bilo predviđeno u sklopu naslova kolokvija »Veće slobodnih tema, saopćenja i razgovori«, bili iznesena vlastita istraživanja. Želja organizatora bila je da se poveća broj predavanja popraćenih pokusima, jer su izazivala veliko zanimanje i bila poprilično dobro posjećena. Lopašićevo predavanje popraćeno pokusima uklopilo se u tu želju i pridonosilo općim naporima podizanja znanstvene svijesti. Iduće predavanje bilo

je pod okriljem novoosnovanog Društva matematičara i fizičara NR Hrvatske (koje je zamijenilo prijašnju Matematičko-fizičku sekciju Hrvatskog prirodoslovnog društva). Održano je 26. listopada 1949. kao četvrto te večeri u sklopu večeri slobodnih tema, saopćenja i razgovora. Prvo predavanje te večeri održao je V. Vrkljan, s naslovom »Relativistička invarijantnost de Broglievih relacija«; drugo V. Glaser, »Jedno proširenje relacije među determinatama«; treće Đ. Kurepa, »Problem tangente na čunjosječici (elementarno)«; četvrto V. Lopašić, »Otkriće novog planeta Vulkana«. Prema riječima pokojnog D. Mayera bilo je to sjajno

predavanje na kome je ponovno afirmirana Einsteinova teorija relativnosti unatoč pokušajima da se eventualnim otkrićem planeta Vulkana zadrži klasična Newtonova teorija gravitacije. V. Lopašić posebno je predavanje održao povodom desetogodišnjice smrti Nikola Tesle. Dana 17. siječnja 1953. V. Lopašić imao je to predavanje u prostorijama Tehničkog fakulteta, s naslovom: »Glavna Teslina otkrića«. Valja zapaziti da je Lopašić na Filozofskom fakultetu nekoliko godina prije početka II. svjetskog rata sam izradio Teslin transformator, a što je upisano u knjizi inventara koja se čuva na sadašnjem Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Poseban kolokvij održao se 21. listopada 1953. Taj kolokvij bio je poseban jer je bio prigodom proslave 80-godišnjice

profesora dr. Stanka Hondla i tada su predavala četiri predavača, a Lopašić je nastupio kao predavač. Prvo, uvodno predavanje održao je M. Paić, koji je predstavio život i djelo S. Hondla. Naslov tog predavanja govorio je sam za sebe: »Prigodom proslave osamdesete godišnjice rođenja prof. dr. S. Hondla«.

Drugo Lopašićevo predavanje bilo je pod naslovom: »Prilog određivanju medijane ravnine magnetskog polja ciklotrona metodom žičane petlje«.

Treće predavanje održao je B. Metzger (koji je, kao i Lopašić, bio učenik i asistent S. Hondla), »O upotrebi tiratrona u amplitudnom diskriminatoru«.

Četvrto predavanje te večeri održalo se pod naslovom: »Elektronska zaporna ura«, a autori su bili I. Strilić i M. Sedlaček.

PRIPREMNI ISPITI I DIPLOMSKE RADNJE

Prof. V. Lopašić sudjelovao je u mnogim postupcima stjecanja više i visoke spreme, kao i u stjecanju akademskih stupnjeva magistra i doktora znanosti. Tako je kod njega, kao člana komisije, pripremni ispit iz *Fizike* položilo 86 studenata Geodetskog odsjeka Tehničkog fakulteta, 77 studenata Građevinskog odsjeka Tehničkog fakulteta, 197 studenata Kemijsko-tehnološkog odsjeka Tehničkog fakulteta i to u razdoblju od 1953. do 1957. godine. Valja istaknuti da se pripremni ispit morao položiti kako bi se nastavilo studiranje, odnosno upis u treću, četvrtu i petu godinu studija.

Kako se za te ispite izdavala svjedodžba, koja je javna isprava, vidljiva je važnost polaganja tog ispita. Ti su ispiti u stvari preteča stjecanja više VI/1 stručne spreme, što je uslijedilo kasnije. Godine 1958. kod njega i pod njegovim nadzorom diplomirao je student Kemijsko-tehnološkog odsjeka Tehnološkog fakulteta Aleksandar Šolc. Diplomski rad raden je na Zavodu za fiziku Elektrotehničkog fakulteta, a imao je ove zadatke: a) trajno osjetljiva komora za maglene tragove iona, b) tehnologija cirkonija, s naročitim obzirom na konstrukciju akceleratora atomskih čestica.

MAGISTERIJI NA ELEKTROTEHNIČKOM FAKULTETU U ZAGREBU

Prof. V. Lopašić sudjelovao je u radu komisija za obranu u najmanje dvanaest slučajeva.

Riječ je o kandidatima Ivi Brčiću (rad »Pro-

blemi sklopova za brojanje s poluvodičkim elementima«), Ivanu Hrvoiću (»Granice osjetljivosti nuklearne magnetske rezonancije«), Petru

Slapničaru («Logika i sklopovi 1024-kanalne memorije»), Aleksandru Hrisohou («Sklopovi s poluvodičkim elementima za magnetostriksijsku memoriju»), Svetozaru Ivankoviću («Brzi diskriminatori s poluvodičkim elementima»), Urošu Perušku («Stabilizacija omjera frekvencije i magnetske indukcije NRH spektrografa visokog razlučivanja»), Marku Petrinoviću (naziv radnje jednak je nazivu radnje Uroša Peruška) – sve je to zgotovljeno u 1964. Osim toga tu su i kandidati Oliver Szawitz-Nossan («Analogno-digitalna konverzija za amplitudnu analizu»), Zvezdana Gregorina («Proble-

mi diskriminacije nuklearnih čestica»), Višnja Henč-Bartolić («Procesi u halogenim GM-brojačima»), 1965. godine. Zatim je 1966. Vlaho Vojvodić postao magistar (obranom radnje «Istosmjerna pojačala za ionizacijske komore»), a 1969. Mirko Kuljiš postaje magistar («Pojava nelinearnosti u hidroakustičkim poljima»).

U jednom slučaju (Vesna Kos) V. Lopašić bio je u komisiji za ocjenu radnje («Problemi pojačala malih istosmjernih napona s poluvodičkim elementima»). Komisija je završila rad 15. svibnja 1965. godine.

DOKTORATI ZNANOSTI

1. Božidar Stefanini: Kružni pogonski dijagrami električnih prijenosnih sistema; Tehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Blanuša, Rakić, Dolenc, Lončar, Lopašić; obrana: 29.IV.1954., znanstvena oblast: tehnika

2. Panče Kirkov: Mehanizam katodičke elektrohemijske polarizacije (s naročitim osvrtom na polarizaciju elektrode iz cinka); Tehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Krajovan, Lopašić, Filipović, Karšulin, Sabioncello; obrana: 27.XI.1954., znanstvena oblast: kemija

3. Tihomil Jelaković: Prilozi teoriji negativnih reakcija; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Lončar, Lopašić, Albert, Bosanac, Muljević; obrana: 17.III.1959., znanstvena oblast: tehnika

4. Đuro Švarc: Odnosi fizikalnih veličina dvaju kombinirano vezanih neprigušenih električnih titrajnih sistema bez narinutog napona, kod kontinuirane promjene diferencija faktora vezanja, a uz nepromijenjena vezana stanja; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Blanuša, Matko-

vić, Lopašić; obrana: 20.V.1961., znanstvena oblast: tehnika

5. Miroslav Sedlaček: Stabilitet staza mikrotroma; Prirodoslovno-matematički fakultet; komisija za ocjenu i obranu disertacije: Lopašić, Blanuša, Bosanac; obrana: 26.V.1961., znanstvena oblast: tehnika

6. Veljko Radeka: Teorija brojenja SE 1 T; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Albert, Jelaković, Lopašić; obrana: 6.VI.1961., znanstvena oblast: elektronika

7. Boris Kviz: Utjecaj varijabilnih parametara na degradaciju odnosa signal šum kod frekventne modulacije stereofonskih kompatibilnih sistema; Elektrotehnički fakultet; obrana: 24.X.1964.

8. Dušan Srdoč: Geigerov brojač s pločastim elektrodama; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Lopašić, Turk, Lončar; obrana: 25.VI.1965., doktorat tehničkih znanosti

9. Adica Slepčević: Utjecaj nekih onečišćenja na tačnost mjerenja radioaktivnog ugljika proporcionalnim brojačem; Elektro-

tehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Lopašić, Knapp, Turk; obrana: 5.III.1966., doktorat znanosti iz područja tehničke fizike

10. Višnja Henč-Bartolić: Ispitivanje mehanizma električnog izboja u plinskim smjesama; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu: Lopašić, Knapp, Cindro; obrana: 3.XII.1970., znanstvena oblast: tehnika

11. Želimir Matutinović: Magnetonomotorna zvučna stimulacija slušnog organa; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu: Jelaković, Lopašić, Bosanac; obrana: 24.XI.1971., znanstvena oblast: tehnika

12. Branko Somek: Neki problemi širenja infrazvuka i utjecaj infrazvuka na osjet sluha; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu: Jelaković, Lopašić, Smrkić; obrana: 24.IV.1972., znanstvena oblast: tehnika

13. Miroslav Gregurić: Elektroakustika mjerenja sluha u svrhu optimalizacije karakteristika slušnih aparata; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu: Jelaković, Lopašić, Smrkić; obrana: 1.VI.1972., znanstvena oblast: tehnika

14. Tihomir Štimac: Prilog određivanju elektroakustičkih karakteristika za konstrukciju složenog piezoelektričkog pretvarača; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu: Jelaković, Lopašić, Blanuša; obrana: 2.VI.1972., znanstvena oblast: tehnika

15. Vesna Kos: Planarni Si (Li) gama polarimetar i optimizacija moći razluči-

vanja u beta i gama spektrometriji; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu: Cindro, Lopašić, Turk, Alaga, Ilakovac; obrana: 12.VII.1972., znanstvena oblast: tehnika

16. Borislav Milatović: Multivarijantno ispitivanje tehničke pouzdanosti elektroničkih uređaja u avionima; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Vuković, Lopašić, Vojnović; obrana: 18.XII.1975., doktorat tehničkih znanosti – elektrotehnika

17. Milan Kolić: Dinamička analiza sistema za elektrolučno zvarivanje metala u atmosferi zaštitnog plina; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: Lopašić, Kuljača, Haznadar, Ugrin-Šparac, Hot; obrana: 26.III.1976., doktorat tehničkih znanosti – elektrotehnika

18. Svetozar Jović: Definiranje metodologije određivanja efektivnosti složenih elektroničkih sistema; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu disertacije: Vuković, Lopašić, Vojnović, Krstić, komisija za obranu: Lopašić, Vuković, Vojnović, Kuljača; obrana: 23.III.1977., doktorat tehničkih znanosti – elektrotehnika

19. Borislav Juzbašić: Mogućnosti povećanja efikasnosti silicijevih solarnih ćelija; Elektrotehnički fakultet, komisija za ocjenu i obranu disertacije: V. Lopašić, S. Turk, V. Cvekić, H. Požar, A. Šantić; obrana: 9.V.1979., doktorat tehničkih znanosti.

PROMOCIJE SUB AUSPICIIS REGIS⁵ NA MODERNOM SVEUČILIŠTU U ZAGREBU

⁵ Sin Mirka (Imbec) Lopašića, Ladislav, imao je kćer Danicu, koja se udala u porodicu Polić. Njezin sin Ladislav promoviran je za doktora znanosti sub auspiciis Regis.

Valja naglasiti da se najveća akademska čast davala promocijom za doktora znanosti. U vezi s promocijama valja istaknuti da ih je bilo dvojakih. Uzuobičajene, koje pod presjedanjem

rektora i u nazočnosti dekana obavlja redoviti profesor fakulteta, postoje i povlaštene, uz najviše počasti, zvane *sub auspiciis Regis*. O toj povlaštenoj promociji poznato je sljedeće. Tu promociju za Sveučilište u Zagrebu odobrio je car austrijski i apostolski kralj Ugarske, Hrvatske, Slavonije i Dalmacije rješenjem od 16. srpnja 1894. Tim rješenjem dopušteno je izvršne kandidate promovirati na doktorsku čast *sub auspiciis Regis*.

Kraljevska zemaljska vlada izdala je naredbu od 18. kolovoza 1894. kojom se propisuju uvjeti i ustanovljuje postupak za postignuto dopuštenje. Po toj naredbi od kandidata se uglavnom tražilo da je, uz besprijeckorno čudoredno ponašanje, svoje i gimnazijske i sveučilišne nauke s izvrsnim uspjehom završio i sve svoje stroge ispite s odlikom položio, ali u slučaju jednakih okolnosti ima prednost onaj kandidat čiji je otac stekao zasluge za domovinu. Štoviše, prema toj naredbi postignuće povlaštene promocije bilo je u stvari postignuće odlikovanja. No, također prema toj naredbi, svake se naukovne godine mogao predložiti samo jedan kandidat za to odlikovanje a i to po mogućnosti svaki put iz drugog fakulteta. Ta je odredba, prema Spomenici akademikoga senata Sveučilišta Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca iz 1925., tumačena tako da je promocija *cum auspiciis* moguća samo za one koji su državne i školske ispite položili s odličnim uspjehom, pa su u znak priznanja stekli tu počast. I Spomenica u povodu proslave 300-godišnjice Sveučilišta u Zagrebu iz 1969. ima podatak da je od 1894. na Sveučilištu uvedena promocija *sub auspiciis Regis* za one doktorande koji su sve ispite, od srednje škole dalje, položili s odličnim uspjehom.

Sama počasna promocija održavala se u dvorani Hrvatskog zemaljskog glazbenog zavoda u Gundulićevoj ulici u Zagrebu i te-

kla je ovako. Prvo bi rektor pozvao dekana fakulteta da izvijesti o svemu što se odnosi na predmet promocije, a potom je dekan pročitao prijedlog profesorskog zbora dotičnog fakulteta, predstavku akademikoga senata sveučilišta, kao i otpis vlade kojim se saopćuje rješenje da je kralj dopustio da kandidat bude počasno promoviran. Nakon toga kandidat je čitao svoju znanstvenu raspravu (ondašnjim rječnikom: inauguralnu disertaciju) pred čitavim akademikim zborom, promotorom, rektorom i zastupnikom kralja. Nakon toga molio je zastupnika za promaknuće pod okriljem kralja na doktorsku čast. Prije udovoljavanja molbe kandidat se morao zakleti (ondašnjim rječnikom: zavjerovati) da će biti nepokolebljivo vjeran i odan kralju i domovini, da će uvijek gajiti zahvalu prema Sveučilištu i raditi za njegovo dobro i korist, da neće lošim vladanjem ili sramotnim životom okoljati predanu čast, da će svom revnošću nastojati da se znanost iz koje je stekao doktorat održi i u životu upotrebljava za opću korist. Nakon što se kandidat na žezlu desnom rukom zakleo i obećao, uslijedio je govor promotora u kojem je, na temelju kraljeve ovlasti, proizveo (ondašnji izraz) u zvanje doktora znanosti i podijelio prava i pogodnosti koja pripadaju doktoru, podsjećajući ga na to da mu je dužnost da unapređuje znanost. Rektor i članovi senata rukovanjem su primili kandidata za svoga doktorskog druga. Potom je kandidat zahvalio na tom svečanom promaknuću zastupniku, rektoru, akademikom senatu i naglasio da će, vjeran svojoj zavjeri, truditi se usluživati čast svoga sveučilišta i svoju i posvetiti znanosti svu svoju duševnu snagu kako bi koristio kralju i domovini. Uslijedilo je uručivanje doktorske diplome i poziv da stupi pred zastupnika. Potom je slijedio kratak govor zastupnika, upućen novom doktoru, nakon

kojeg je u ime kralja predan kandidatu doktorskog prsten. Za to vrijeme cijelo općinstvo u dvorani nije sjedilo nego je stajalo. Nakon zahvale kandidata presvjetlosti i zamolio ga je da kralju da do znanja da će obdržavati svoju zavjeru vjernosti kralju, domovini, znanosti i sveučilištu. Rektor je također zahvalio zastupniku.

Uz službeno prisutne uzvanike promociji je prisustvovalo cjelokupno profesorsko osoblje, slušači sveučilišta kao i vanjsko općinstvo i gospojinski svijet koji se nalazio na galerijama (opis prema Spomenici o 25-godišnjem postojanju Sveučilišta Franje Josipa

I. u Zagrebu, Zagreb, 1900., i zapisnicima o svečanim promocijama).

Taj zlatni doktorski prsten bio je okrunjeni monogram Franje Josipa I. u sitnim dijamantima, položen preko ovalnog kabošona od modrog emajla (ili crnog oniksa) u okviru od sitnih briljanata, a uokolo su bili veliki prvorazredni briljanti (preuzeto iz članka Ivan Mirnik, Insignije Sveučilišta u Zagrebu, *Sveučilišni vjesnik*, god. XLV, br. 3–4, Zagreb 1999., str. 97–134).

Unatoč velikoj važnosti promocija *sub auspiciis Regis* za Sveučilište u Zagrebu, o njima se tek sada vrše sustavna istraživanja.

2. DOKTORSKI RAD

VATROSLAV LOPAŠIĆ

ULTRAZVUČNI INTERFEROMETAR S PROMJENLJIVOM FREKVENCIJOM

DOKTORSKA DISERTACIJA, PRIMLJENA U IV. SJEDNICI SAVJETA
FILOZOFSKOGA FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU 24. OŽUJKA
1938. PREMA IZVJEŠTAJU ISPITNOG ODBORA: GOSPODE PROFESORA
Dra. STANKA HONDLA, Dra. RUDOLFA CESARCA I Dra. VLADIMIRA
VRKLJANA.

U ZAGREBU 1938
TISKAR NADOMESTUŠKE TISKARE

Sadržaj

	Strana
I. Uvod	
1. Pristup	55
2. Pregled raznih ultrazvučnih metoda za mjerenje brzine zvuka . .	57
3. Cilj radnje	59
II. Teoretski dio	
4. Reakcija stupca tekućine na pijezo-pločicu, koja ga podržava u tiranju	59
5. Tiranje pijezo-pločice	64
6. Električni ekvivalent za pijezo-pločicu u dodiru sa stupcem tekućine	67
7. Diskusija eksterna snage, koja se troši na održavanje tiranja pijezo- pločice u dodiru sa stupcem tekućine	69
8. Osnovna relacija interferometra s promjenljivom frekvencijom . .	76
III. Praktični dio	
9. O mjerenju razlike frekvencija	78
10. Kiveta	84
11. Oscilator za održavanje tiranja pijezo-pločice	86
12. Ocjena točnosti konstruirane aparature	87
12. Shematski prikaz aparature	88
IV. Postignuti rezultati	
14. Mjerenja	88
15. Zaključak	93

Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom

Sa 5 slika

Napisao

Vatroslav Lopašić

Primljeno u sjednici matematičko-prirodoslovnog razreda Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti 5. svibnja 1958.

Iz Fizikalnog zavoda sveučilišta u Zagrebu (upravnik prof. dr. Stanko Hondl).

I. Uvod

1. **Pristup.** Brzina je zvuka u tekućinama dana Laplace-ovom formulom

$$v = (\chi \varrho)^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

gdje je χ adiabatička kompresibilnost, a ϱ gustoća dotične tekućine. Izotermička kompresibilnost χ' vezana je s adiabatičkom kompresibilnosti relacijom:

$$\frac{\chi'}{\chi} = \frac{c_p}{c_v} = \gamma, \quad (2)$$

gdje je γ omjer specifičnih toplota pri konstantnom tlaku i konstantnom volumenu. Prema tome je mjerenje brzine zvuka jedan od načina, da se uz poznatu izotermičku kompresibilnost (koja je posredstvom Maxwellovih relacija vezana s drugim termodinamskim koeficijentima) odredi omjer specifičnih toplota. Zato su često mjerenja brzine zvuka od većeg interesa za termodinamiku tekućina negoli za samu akustiku, naročito ako se radi o kapljevinama ili plinovima, od kojih nam samo male količine stoje na raspolaganju.

Znatan je napredak u istraživanjima o brzini zvuka učinjen, kad su otkriveni prikladni izvori za zvuk vrlo visokih nečujnih

frekvencija, t. j. magnetostrikivni i pijezo-električni štapovi i ploče. Dok se nikljenim štapovima pobuđenim na resonantno titranje na osnovu efekta magnetostrikcije dobiva intenzivan ultrazvuk do nekih $8 \cdot 10^4$ 1/sek, dotle se ploče zgodno izrezane iz pijezo-električnih kristala mogu podržavati u mehaničkom titranju i do frekvencija $1,5 \cdot 10^5$ 1/sek.¹ Tako se je pružila mogućnost, da se pitanje o zavisnosti brzine zvuka o frekvenciji stavi na širu bazu, što je dovelo do znatnih eksperimentalnih i teoretskih rezultata. Tako je otkrivena disperzija zvuka u višatomnim plinovima i s njom u vezi naročiti porast apsorpcije, koji kinetička teorija tumači konačnim i određenim vremenom, što je potrebno, da nastane ravnoteža između adiabatičkih promjena temperature u zvučnom valu i broja molekula, koji su pobuđeni na titranje ili rotaciju.² Kod kapljevine je pak prema teoretskim predviđanjima preveliki koeficijent apsorpcije uz nepromjenljivu brzinu kompresionalnih valova naveo R. Lucas a i P. Biquarda do novih pogleda glede akustične strukture kapljevine i do otkrića difuzije ultrazvučne zrake.³

No nije samo u ultrazvučnom području otkriveno toliko mnoštvo novih činjenica, koje se odnose na brzinu zvuka, nego su i metode, kojima se tu mjerenja brzine zvuka izvode, mnogo prikladnije od onih pri čujnim frekvencijama. U ultrazvučnom je naime području frekvencija lako realizirati zvučne zrake, t. j. ravni val bez ikakvih ograničenja sa strane, pak prema tome otpadaju često velike korekcije, koje treba uzeti u račun pri audiofrekventnim mjerenjima u cijevima. Napokon su aparature prema onima pri čujnim frekvencijama malene i razmjerno jednostavne, dok je potrebna množina istraživane tekućine često upravo neznatna,⁴ ali, što je najznatnije, mjerenja su pri nekim ultrazvučnim metodama tako točna, da se starije metode ne mogu u tom pogledu s ovima takmiti.

¹ E. Hiedemann: *Ultraschall, Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften* 14, 206 (1935).

² E. Grossmann: *Ultraschall, Wien-Harns' Handbuch der Experimentalphysik*, Bd. 17, Teil 1, 100 (1934).

E. Hiedemann: *Ultraschall* 238.

³ R. Lucas and P. Biquard: *The Diffusion and Absorption of Ultrasonics in Liquids*, *Trans. Faraday Soc.* 33 (1), 130 (1937).

⁴ H. Bär: *Über die Messung der Ultraschallgeschwindigkeit in schwerem Wasser (D₂O)*, *Helvet. phys. Acta* 8, 500 (1935). Citirano prema *Physik. Ber.* 11 (1936).

(3) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 57

2. Pregled raznih ultrazvučnih metoda za mjerenje brzine zvuka. I kod ultrazvučnih se frekvencija može mjeriti dužina zvučnog vala u plinovima tako, da se na poznati Kundt-ov način načini sistem stojnih valova između izvora zvuka i reflektora vidljivim prahom od likopodija, duhanskim dimom,⁵ ili raspršenim kapljicama alkohola.⁶ U kapljevina su R. W. Boyle i suradnici opažali i mjerili stojne valove bilo pomoću u prah smrvljenog koksa,⁷ bilo pomoću mjehurića apsorbiranih plinova, što se izluče na mjestima maksimalne amplitude tlaka.⁸ Ovamo bismo mogli dodati i Dvořákovu metodu,⁹ gdje je namjesto likopodija upotrebljena u Kundt-ovoj cijevi kapljevina s malim tlakom zasićenih para. Taj su način upotreбили za niže ultrazvučne frekvencije Brandt i Freund dodavši mu zgodan optički uređaj.¹⁰ Pri svim je ovim metodama načinjen sistem stojnih valova vidljivim mehaničkim sredstvima. Iz izmjerene dužine vala i poznate frekvencije dobiva se brzina zvuka. Glavni je prigovor ovim metodama, da s strane čestice modificiraju brzinu zvuka, pak je time stavljena izvjesna granica točnosti, koja se tu da postići.

Polje se stojnih ultrazvučnih valova može istraživati i metodama »šlira«, te tako mjeriti valna dužina. Töpler-ov je način primijenio na valove u uzduhu E. P. Tawil,¹¹ a Dvořák¹² D. Pejnović,¹³ kad se je radilo o kapljevina, mjereći relativne brzine u dvije razne kapljevine.

Pojav difrakcije svjetlosti na ultrazvučnom valu u kapljevina, što su ga otkrili istodobno R. Lucas i P. Biquard-

⁵ E. B. Pearson: On the behaviour of suspended particles in air, and the velocity of sound at supersonic frequencies, Proc. physic. Soc. Lond. 47, 136 (1935). Citirano prema Physik. Ber. 971 (1935).

⁶ K. Backs und H. Müller: Über einige Beobachtungen an schwingenden Piezoquarzen und ihrem Schallfeld: Z. Physik 84, 75 (1936).

⁷ R. W. Boyle, J. F. Lehmann and S. C. Morgan: Some Measurements of Ultrasonic Velocities in Liquids, Trans. roy. Soc. Canada, Sect. III, (3) 22, 371 (1928). Citirano prema Physik. Ber. 2064 (1928).

⁸ R. W. Boyle: Ultrasonic Stationary Waves, Nature 120, 476 (1927).

⁹ V. Dvořák: Über einige neue Schallfiguren, Ann. Physik 229, 103 (1874).

¹⁰ O. Brandt und H. Freund: Zur Sichtbarmachung stehender Schall- und Ultraschallwellen in Gasen, Z. Physik 95, 415 (1935).

¹¹ E. P. Tawil: Les ondes stationnaires ultrasonores rendues visibles dans les gaz par la méthode des stries, C.r. Acad. Sci. Paris 191, 92 (1930).

¹² E. P. Tawil: Méthode d'observation d'ondes sonores non stationnaires, C.r. Acad. Sci. Paris 191, 938 (1930).

¹³ V. Dvořák: Über eine einfache Art der Schlierenbeobachtung, Ann. Physik 245, 502 (1880).

¹⁴ Neobjavljeno; gosp. D. Pejnović je bio tako ljubazan, te je pisao pokazao cio niz fotografskih snimaka dobivenih Dvořákovom metodom »šlira«.

om²⁴ i P. Debye s F. W. Searsom,²⁵ može poslužiti, da se uz poznatu valnu dužinu svjetlosti odredi dužina ultrazvučnog vala, koja u tom slučaju figurira kao konstanta optičke mrežice.

Nadovezujući na geometrijsko-optička razmatranja R. L. u- casa i P. Biquarda u radnji citiranoj pod (14) izradili su E. Hiedemann²⁶ i njegovi suradnici precizionu optičku metodu za mjerenje dužine ultrazvučnog vala u kapljevinama.

K. Bücks i H. Müller su otipkavali polje ultrazvučnih stojnih valova u uzduhu užarenom Wollastonovom žicom.²⁷ Ona ima najmanji otpor u trbusima brzine čestica radi konstantnog efekta hlađenja, pak se može i na taj način odrediti dužina zvučnog vala.

Cini se međutim, da sve napomenute metode nadmažuje u točnosti »akustični interferometar« od Piercea,²⁸ koji ima i tu dobru stranu, da se može upotrebiti i za plinove i za kapljevine tako, da ga E. Grossmann s pravom naziva mjeračim instrumentom ultraakustike.²⁹ Princip mu je jednostavan. Nasuprot plohi pijezo-pločice, koja emitira ultrazvuk neke konstantne frekvencije, stavi se s njom paralelno ravni reflektor, koji se može pomoću mikrometarskog vijka toj plohi primikati i od nje odmicati. Prostor između pijezo-pločice i reflektora se ispuni istraživanom tekućinom. Kad pijezo-pločica titra, načini se između nje i reflektora stacionaran sistem valova. Ako se sada reflektor polagano pomiče, mijenja se periodski sa polovicom dužine vala zvuka u tekućini reakcija tekućine na pijezo-pločicu. Te se promjene, koje prolaze kroz oštra maksima, mogu opažati na razne načine, pa tako možemo izmjeriti vrlo točno dužinu ultrazvučnog vala u tekućini. Prema tome, ako je reakcija tekućine prošla kroz n potpunih ciklusa svojih promjena, dok se se je reflektor pomaknuo za Δd , a

²⁴ R. Lucas et P. Biquard: Propriétés optiques des milieux solides et liquides soumis aux vibrations classiques ultrasonores, J. Physique et Radium (7) 3, 464 (1932).

²⁵ P. Debye and F. W. Sears: On the scattering of light by supersonic waves, Proc. nat. Acad. Amer. Washington 18, 409 (1932).

²⁶ E. Hiedemann: Ultraschall 213, s iscrpnim popisom literature, koja se odnosi na ovu metodu.

²⁷ Radnja citirana pod 6.

²⁸ G. W. Pierce: Piezoelectric crystal oscillators applied to the precision measurement of the velocity of sound in air and CO₂ at high frequencies, Proc. Amer. Acad. Boston 60, 271 (1925). Citirano prema Phys. Ber. 1412 (1926).

²⁹ E. Grossmann: Ultraakustik 519.

(3) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 59

frekvencija je ν titranja bila konstantna, slijedi za brzinu zvuka v u tekućini:

$$v = \lambda \nu \frac{\Delta d}{n} \quad (3)$$

Pierceov su interferometar razradili mnogi autori, kao prema prilikama, u kojima su ga htjeli upotrebiti, tako i prema točnosti, što su je mjerenjem htjeli postići. Na taj su način izvedena mjerenja brzine zvuka za mnoštvo tekućina pri raznim temperaturama i štoviše pod visokim tlakovima, no princip je ostao uvijek isti. Glavna mu je karakteristika konstantna frekvencija titranja pijezo-pločice i varijabilna udaljenost reflektora od izvora ultrazvuka.

3. Cilj radnje. Svrha je ove radnje, da opiše i obrazloži teoretski i eksperimentalno jedan princip akustičnog interferometra različit od prije opisanog u tome, što radi s konstantnom udaljenošću između pijezo-kvarca i reflektora, dok se mijenja frekvencija titranja. Treba odmah napomenuti, da je ta metoda uporabljiva samo za kapljevine radi selektivne resonancije pijezo-pločice u plinovima i jer je samo u kapljevinama brzina kompresionalnih valova nezavisna o frekvenciji. Pokazat će se, da i u ovom slučaju, kad se mijenja frekvencija ν , reakcija kapljevine na pijezo-pločicu prolazi kroz maksima odnosno minima. Da se prijeđe od jednog maksimuma odnosno minimuma reakcije na susjedni, treba frekvenciju promijeniti za gotovo konstantni iznos. Ako se prođe kroz n potpunih ciklusa promjena reakcije i pri tom promijeni frekvencija za $\Delta \nu$, a udaljenost je d između pijezo-pločice i reflektora bila konstantna, to ćemo vidjeti, da za brzinu zvuka v u istraživanoj kapljevine valja uz neke naročite uvjete izraz:

$$v = \lambda d \frac{\Delta \nu}{n'} \quad (4)$$

Ova je relacija potpuno analogna Pierceovoj, samo smo zamijenili uloge udaljenosti d i frekvencije ν , a mjesto » n « dolazi korištena vrijednost » n' «, koja je malo različita od vrijednosti » n «.

II. Teoretski dio

4. Reakcija stupca tekućine na pijezo-pločicu, koja ga podržava u titranju. Da razmotrimo teoretski prilike, koje vladaju kod »ultrazvučnog interferometra s promjenljivom frekvencijom«, kako

smo tu metodu u naslovu nazvali, ponovit ćemo uz neke modifikacije račun, što ga je izveo J. C. Hubbard za Pierceov interferometar.²⁹ To je razmatranje potpuno analogno onome, što ga je izveo W. West za zatvorenu cijev za jedan specijalni slučaj, a zatim općenije E. C. Went u zajednici s E. H. Bedellom.³⁰

Kvarcovu pločicu, koja služi kao izvor ultrazvuka, neka podržava u prisiljenom titranju generator visokofrekventne napetosti silom, kojoj je amplituda nezavisna o frekvenciji. Pijezo-pločica neka ima linearne dimenzije velike prema dužini vala, što ga emitira, te se val može smatrati ravnim.³¹ Suponirat ćemo nadalje, da pločica titra poput čepa u okolišu svoje resonantne frekvencije za titranje po debljini, t. j. da sve točke na plohi, koja je u doticaju s tekućinom, titraju s istom fazom i amplitudom. Nasuprot pločici i s njom paralelno stavljen je reflektor konačne debljine. Udaljenost između plohe pijezo-pločice i plohe reflektora, koje su okrenute jedna prema drugoj, neka je d . Ishodište ćemo osi apscisa, koja je paralelna s d , uzeti na površini pijezo-pločice. Prostor između pijezo-pločice i reflektora, pa onaj iza reflektora neka je ispunjen istraživanom tekućinom. Suponirat ćemo u teoretskim razmatranjima, da se tekućina iza reflektora prostire vrlo daleko, tako da se valovi, koji iz reflektora izlaze, više ne vraćaju. Napokon titraji neka budu tako slabi, da ih možemo predočiti harmoničnim funkcijama.

Kad pločica titra, onda se između nje i reflektora podržava stacionaran sistem valova, t. j. na svakom se mjestu x vraća nakon $\frac{2\pi}{\omega}$ sek identično titrajno stanje. Pri tom dakako suponiramo, da temperatura ostaje konstantna. Tu je ω pulzacija pijezo-pločice.³² Tada predaje pločica tekućini u svakoj sekundi toliko titrajne energije, koliko se je izgubi refleksijom na reflektoru i u samoj tekućini radi apsorpcije i difuzije ultrazvučne zrake. Tu snagu dobiva pločica od visokofrekventnog generatora, pak će se prema tome promjene u reakciji tekućine na pijezo-pločicu očistovati i kao promjene opte-

²⁹ J. C. Hubbard: The acoustic resonator interferometer: I. The acoustic system and its equivalent electric network, *Phys. Rev.* (2) 38, 1012 (1931).

³⁰ A. H. Davis: *Modern Acoustics* 207, London 1934.

³¹ F. Bedeau: Le quartz piézoélectrique et ses applications dans la technique des ondes hertziennes, *Memorial Sci. Physiques* 6, 27, Paris 1928.

³² Izraz $\omega = 2\pi\nu$ zvat ćemo, za razliku od frekvencije ν , pulzacijom. Izopred A. H. Davis: *Modern Acoustics* 6.

(7) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 61

rećenja generatora, koji taj cijeli sistem podržava u titranju. Budući da se i male promjene u opterećenju generatora visokofrekventne napetosti s elektronskom cijevi daju lako opažati, to ćemo tražiti vezu između mehaničke impedancije tekućine²⁴ i snage, što je taj generator troši na podržavanje titraja u sistemu: pijezo-pločica, tekućina, reflektor. Te promjene u opterećenju ne smiju biti prevelike, da zadovoljimo uvjet o konstantnosti amplitude sile, koja taj sistem pobuđuje.

Kad se je načinilo stacionarno titrajno stanje, kao što smo gore suponirali, neka je titranje površine pijezo-pločice dano sa:

$$\xi_{x=0} = \xi_0 e^{i\omega t}, \quad (5)$$

gdje je ξ_0 amplituda brzine čestica pijezo-pločice na mjestu $x = 0$, a $\xi_{x=0}$ njena momentana vrijednost. Tako titraju i čestice kapljavine, koje su s tom plohom u neposrednom doticaju. Titraji su naime preslabi, da bi mogao nastati pojav izlučivanja mjehurića apsorbiranih plinova ili pojav kavitacije.²⁵ Direktni je val, što izlazi iz pločice, predodčen sa:

$$\xi_1 = \xi_0 e^{i(\omega t - kx) - \alpha x}.$$

Ovdje znači $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ broj valova na 2π cm, a α je vezan s koeficijentom apsorpcije μ za energiju relacijom: $\alpha = \frac{\mu}{2}$. Taj se val

reflektira na reflektoru i pri tome mu se amplituda smanji u omjeru r , a budući da je reflektor konačne debljine, faza reflektirane brzine čestica zaostane za $(\varphi + \pi)$.²⁶ Prema tome je taj reflektirani val predodčen sa:

$$\begin{aligned} \xi_2 &= \xi_0 e^{i[\omega t - k(2d - x)] - \alpha(2d - x)} \cdot r e^{-i(\varphi + \pi)} \\ &= -\xi_0 r e^{i\omega t - (2d - x)(ik + \alpha) - i\varphi} \end{aligned}$$

Taj val putuje u negativnom smislu i kad stigne na pijezo-pločicu, on se na njoj reflektira tako, da faza zaostane za π . To izlazi odatle, što smo pretpostavili, da pločica i čestice uz nju titraju prema (5), pak se svi sekundarni valovi moraju međusobno poni-

²⁴ A. H. Davis: *Modern Acoustics* 198.

²⁵ Radnja citirana pod 8.

²⁶ J. W. Strutt (*Lord Rayleigh*): *The Theory of Sound* II, 86, London 1896.

$$62 \qquad \qquad \qquad \text{Vatroslav Lopaić:} \qquad \qquad \qquad (8)$$

staviti na mjestu $x = 0$. Taj dakle val putuje zatim u pozitivnom smislu kao:

$$\xi_0 = \xi_0 e^{i\omega t - (2d+x)(ik+a) - i\varphi}$$

On se reflektira ponovo na reflektoru uz iste uvjete kao i prvi put. Pri tome mu se opet amplituda smanji r -puta, a faza zaostane za $(\pi + \varphi)$ pak putuje kao ξ_4 natrag prema pločici.

$$\xi_4 = -\xi_0 r^2 e^{i\omega t - (4d-x)(ik+a) - i2\varphi}$$

Zamišljamo, da se to produžuje u beskonačnost, t. j. dotle, dok ti valovi ne postanu tako slabi, da se na njih ne treba obazirati. Brzinu čestica u bilo kojoj točki x između pločice i reflektora dobivamo, ako zbrojimo sve te pojedine valove. Dakle:

$$\xi_x = \sum_{n=1}^{\infty} \xi_n.$$

Sumaciju ćemo obaviti tako, da napose zbrojimo sve valove, koji idu u pozitivnom smislu, a napose one, koji idu u negativnom. Dobivamo u skladu s J. C. H u b b a r d o m :

$$\xi_{x+} = \xi_0 e^{i\omega t} \frac{e^{-(ik+a)x} - r e^{-(ik+a)(2d-x) - i\varphi}}{1 - r e^{-(ik+a)2d - i\varphi}}. \quad (6)$$

Tlak p_x u bilo kojoj točki x (tu se ne obaziremo na vremenski konstantni hidrostatski tlak, nego samo na promjene tlaka uslijed titranja) predložen je izrazom:

$$\begin{aligned} p_x &= \rho v \sum_1^{\infty} \xi_{2n-1} - \rho v \sum_1^{\infty} \xi_{2n} \\ &= \rho v \xi_0 e^{i\omega t} \frac{e^{-(ik+a)x} + r e^{-(ik+a)(2d-x) - i\varphi}}{1 - r e^{-(ik+a)2d - i\varphi}}, \quad (7) \end{aligned}$$

gdje je ρ gustoća tekućine, a v brzina, kojom se kroz nju širi kompresionalni val. Uvedemo li u izraze (6) i (7) hiperbolne funkcije, možemo ih svesti na oblik, kako su priopćeni kod A. H. D a v i s a²¹:

(9) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 63

$$\begin{aligned}\xi_x &= \xi_0 e^{i\omega t} \left[c b (i k + a) x - \frac{c b K + \frac{1-r}{1+r} s b K}{\frac{1-r}{1+r} c b K + s b K} s b (i k + a) x \right] \\ p_x &= q v \xi_0 e^{i\omega t} \left[\frac{c b K + \frac{1-r}{1+r} s b K}{\frac{1-r}{1+r} c b K + s b K} c b (i k + a) x - s b (i k + a) x \right],\end{aligned}$$

gdje je $K = (i k + a) d + i \frac{\varphi}{2}$.

Nas interesiraju prilike na površini pijezo-pločice, dakle treba staviti u te izraze $x = 0$. Dobivamo:

$$\begin{aligned}\xi_{x=0} &= \xi_0 e^{i\omega t} \\ p_{x=0} &= q v \xi_0 e^{i\omega t} \frac{c b K + \frac{1-r}{1+r} s b K}{\frac{1-r}{1+r} c b K + s b K}.\end{aligned}\quad (8)$$

Za $\xi_{x=0}$ dobivamo dakako izraz (5), jer je on supozicija. Posljednje izraze možemo napisati i u realnom obliku tako, da odbacimo imaginarni dio:

$$\begin{aligned}\xi_{x=0} &= \xi_0 \cos \omega t \\ p_{x=0} &= q v \xi_0 \frac{(e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}) \cos \omega t + 2 r \sin(2 k d + \varphi) \sin \omega t}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2 r \cos(2 k d + \varphi)}.\end{aligned}\quad (9)$$

Specifična akustička impedancija na tom mjestu predočena je relacijom:

$$\begin{aligned}Z_0 = \frac{p_{x=0}}{\xi_{x=0}} &= q v \frac{c b K + \frac{1-r}{1+r} s b K}{\frac{1-r}{1+r} c b K + s b K} \\ &= q v \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d} - i 2 r \sin(2 k d + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2 r \cos(2 k d + \varphi)}.\end{aligned}\quad (10)$$

Radnja pak, što je pijezo-pločica izvrši u jednoj sekundi podržavajući tekućinu u titranju, jest:

$$\begin{aligned}
 W &= S \frac{1}{T} \int_0^{1+T} p_{x=0} \dot{x}_{x=0} dt = \\
 &= \frac{S \varrho v \xi_0^2}{2} \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)}. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Tu je $T = \frac{2\pi}{\omega}$ sek, a $S \text{ cm}^2$ površina plohe pijezo-pločice, koja je u kontaktu s tekućinom.

Iz izraza (9) vidimo, da pri tlaku postoji jedna komponenta, koja je u fazi s brzinom čestica. Ta je odgovorna za radnju, koja se troši pri održavanju titraja. Druga komponenta daje s brzinom »bezvatnu snagu«. To je srednja vrijednost toka one energije, što dva puta u svakoj periodi prelazi sa pijezo-pločice na kapljevinu i obratno. Prema tome i izraz za specifičnu akustičku impedanciju ima realni i imaginarni dio. Koeficijent apsorpcije α za amplitudu brzine resp. tlaka je funkcija pulzacije ω , no za male promjene od ω i veliko kd možemo mijenjanje od α zanemariti prema promjenama periodskih funkcija u izrazima (9), (10) i (11), pak je prema tome specifična akustična impedancija stupca tekućine s dobrom približnošću periodična funkcija od kd . Kad bi amplituda brzine ξ_0 bila konstantna, t. j. nezavisna o pulzaciji ω , bila bi i snaga W periodska funkcija od kd . To može biti ispunjeno kod Pierceova interferometra, jer se tamo drži frekvencija konstantnom. No ako mijenjamo ω , mijenja se i amplituda ξ_0 , jer kvarcovu pločicu pobuđujemo u okolišu njene resonantne frekvencije. Zato ćemo dalje naše razmatranje posvetiti pitanju, uz koje uvjete pokazuje izraz za W relativna ekstrema, ako se mijenja pulzacija ω , i ako ih pokazuje, na koje ona vrijednosti ω padaju. Zato moramo u naš račun uzeti i resonantni karakter samoga izvora zvuka, t. j. kvarcove pločice.

5. Titranje pijezo-pločice. Pijezo-pločice, koje se upotrebljavaju u akustičnim interferometrima, izrezane su redovno iz kvarcova kristala tako, da imaju oblik ili jako spljoštenog valjka ili vrlo niske kvadratične prizme, kojima su baze okomite na električnu os. Kao izvor zvuka služi jedna od baza pločice. Pijezo-pločica se pobuđi, da titra po svojoj debljini, na osnovu recipročnog pijezo-električnog efekta tako, da se stavi kao dielektrikum u polje

kondenzatora, čiji su oblozi spojeni s generatorom visokofrekventne napetosti. Ti su oblozi redovno neznatne mase i direktno aplicirani na baze pijezo-pločice tako, da ih čitave prekrivaju. Amplituda ξ_0 na bazi pločice postane maksimalna, kad je frekvencija izmjenične napetosti jednaka vlastitoj osnovnoj frekvenciji pločice za titraje po debljini. Tada su baze pločice trbusi titranja, a srednja ravnina čvor.

Potanje je takovo titranje razmotrio C a d y²⁷ služeći se parcijalnom diferencijalnom jednadžbom za ravni val, pak je mogao iz uvjeta na granici odrediti amplitudu titranja ξ_0 čelnih ploha pijezo-pločice kao funkciju amplitude aplicirane električne napetosti, njene pulzacije, pa pijezo-električnih modula kvarcova kristala i dimenzija pločice. Pri tom računu C a d y nadomješta promjenljivo električno polje silama, koje bi iste deformacije proizvele kao i ono. Električno polje paralelno s osi x ekvivalentno je dvjema jednakim i protivnim silama, od kojih svaka djeluje na jednu bazu pijezo-pločice i koje su uvijek proporcionalne jakosti električnog polja.

Mnogo se djelotvornijim pokazao jedan drugi način razmatranja titraja pijezo-pločice, a koji potječe također od C a d y a, no obilno ga je razradio i D y e. Dok se u gore spomenutim razmatranjima uzima realno stanje stvari, t. j. da su elasticitet i masa jednoliko razdijeljeni preko cijele pijezo-pločice, u ovom se drugom načinu taj sistem nadomješta jednim fiktivnim, pri kojemu je masa odijeljena od elasticiteta i koncentrirana u materijalnu točku. C a d y je riješio problem tako, da je za masu M toga sistema uzeo polovicu mase pijezo-pločice, pak za koeficijent elasticiteta izlazi:

$$g = M \omega_0^2$$

iz zahtjeva, da ovaj fiktivni sistem ima istu resonantnu pulzaciju ω_0 , kao i realni. Prigušenje se stavlja jednako onom realnom. Iz toga izlazi za fiktivnu silu, koja podržava taj sistem u titranju,

$$F = 2 X,$$

²⁷ Radnja citirana pod 22, str. 29—38. Račun, koji je tamo priopćen, odnosi se na pijezo-električne prizme pobuđene na titranje na osnovu transverzalnog recipročnog pijezo-električnog efekta. Očito je, da se on da mutatis mutandis primijeniti i na slučaj, koji smo mi uzeli u razmatranje, samo treba staviti drugu vrijednost za konstantu proporcionalnosti, koja veže jakost električnog polja i silu, koja je njemu ekvivalentna.

Rad Jugosl. akad. 263.

ako je X sila ekvivalentna električnoj napetosti stavljenoj na obloge kondenzatora, kome je pijezo-pločica dielektrikum. Prema tome je diferencijalna jednadžba gibanja za taj fiktivni sistem s jednim stepenom slobode:

$$M \frac{d^2 \xi}{dt^2} + N \frac{d \xi}{dt} + g \xi = F_0 e^{i \omega t}. \quad (12)$$

Amplituda brzine $\dot{\xi}_0$ toga fiktivnog sistema jednaka je tada u okolišu resonantne pulzacije ω_0 amplitudi brzine čestica na bazama pijezo-pločice.

Budući da je sila $X = X_0 e^{i \omega t}$, a po tome i $F = F_0 e^{i \omega t}$ proporcionalna električnoj napetosti $V = V_0 e^{i \omega t}$, koja je stavljena na obloge kondenzatora, to je C a d y mogao nadomjestiti taj fiktivni mehanički sistem jednim električnim, kome su samoindukcija L , otpor R i kapacitet C u seriju spojeni i proporcionalni s masom M , koeficijentom prigušenja N i recipročnom vrijednošću elastične konstante $\frac{1}{g}$, pak se mogu prema tome izraziti dimenzijama pločice i pijezo-električnim modulima kvarcova kristala. Električna je napetost stavljena na krajeve toga niza $V = V_0 e^{i \omega t}$. Za naboj q kondenzatora C valja tada:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = V_0 e^{i \omega t}, \quad (13)$$

a za struju I kroz taj niz:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{I}{C} = \omega V_0 e^{i \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)}. \quad (14)$$

Budući da su konstante u jednadžbama (12) i (13) proporcionalne, to će i struja I biti proporcionalna i u fazi sa brzinom čestica na bazi pijezo-pločice $\dot{\xi}_0$. Da dobije potpun »električni nadomjestak« za kondenzator s pijezo-pločicom kao dielektrikumom, C a d y je stavio paralelno ovome nizu još i kapacitet K , što ga takov kondenzator ima kod statičkog naboja. Prema tome je shema, koja nadomješta pijezo-pločicu prikazana u sl. 1.

Ako takva pločica slobodno titra, tada je njena resonantna krivulja vrlo oštra, kako se to vidi na pr. iz vrijednosti, što ih je

K. S. Van Dyke dobio za jednu Cadyevu prizmu iz kvarca.²⁸ Odatle je odmah očito, da se u plinovima ne može praktički frekvencija titranja mijenjati, t. j. ako se samo malo udaljimo od resonantne pulzacije ω_0 , amplituda titranja postane prema onoj kod ω_0 izvanredno mala. U tome leži razlog, da je interferometar s promjenljivom frekvencijom neuporabiv za plinove. Druge su prilike kod kapljevine. Ako se pjezo-pločica uroni u kapljevinu, onda se njezin resonantni brijez jako spljošti, tako da ona titra u širokom okolišu svoje resonantne frekvencije amplitudama, koje su veličine istoga reda.²⁹



Sl. 1. Shema električnog ekvivalenta za pjezo-pločicu.

Budući da raspoložemo matematskim izrazom za specifičnu akustičnu impedanciju stupca tekućine konačne dužine, to možemo reakciju tekućine na izvor zvuka uzeti u račun i naročito promotriti prilike, kad je ta tekućina kapljevina.

6. Električni ekvivalent za pjezo-pločicu u dodiru sa stupcem tekućine. Pločica je u interferometru na izvjesni način učvršćena, a uz to nosi i metalne obloge. To sve znatno povećava njeno prigušenje i malo mijenja vrijednosti za M i g u jednadžbi (12). Te se promjene koeficijenta slabo ili nikako ne mijenjaju s frekvencijom. Druga je stvar s reakcijom tekućine, pak će dodatak stupca kapljevine znatno izmijeniti resonantni karakter cijeloga sistema. Diferencijalnu jednadžbu titranja za fiktivni mehanički sistem, koji nam nadomješta pjezo-pločicu, možemo sada pisati³⁰:

$$M \frac{d^2 \xi}{dt^2} + N \frac{d \xi}{dt} + g \xi = F_0 e^{i \omega t} - A Z_0 \xi. \quad (15)$$

Tu smo crticama na M , N i g označili njihovu promjenu uslijed učvršćenja, a k sili $F_0 e^{i \omega t}$ je pridodao član $A Z_0 \xi$ od reakcije kapljevine, gdje je konstanta A umnožak između površine pjezo-pločice S i neke druge konstante, tako da u ovom fiktivnom sistemu

²⁸ K. S. Van Dyke: The electric network equivalent of a piezoelectric resonator, *Phys. Rev.* (2) 25, 895 (1925).

²⁹ E. Hiedemann: *Ultraschall* 205.

³⁰ H. A. Davis: *Modern Acoustics* 35.

68

Vatroslav Lopasić

(14)

dobijemo silu, koja odgovara realnoj reakciji $S Z_0 \xi$. Stavimo li za Z_0 vrijednost iz (10) i uzmemo li u obzir, da valja

$$-i\xi = \omega \xi,$$

to onda (15) poprima ovaj oblik:

$$\begin{aligned} M' \xi + \left(N' + A q v \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \right) \xi + \\ + \left(g' + A q v \omega \frac{2r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \right) \xi = F_0 e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (16)$$

Odatle dobivamo za amplitudu ξ_0 :

$$\begin{aligned} \xi_0 = \frac{F_0}{\sqrt{\left(N' + A q v \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \right)^2 + \\ + \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} - A q v \omega \frac{2r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \right)^2}} \end{aligned} \quad (17)$$

Napokon možemo relaciju (16) po uzoru C a d y e v u transkribirati u električni oblik, tako da namjesto fiktivne sile $F_0 e^{i\omega t}$ pišemo napetost $V_0 e^{i\omega t}$. Koeficijenti su u toj novoj jednadžbi proporcionalni onima u relaciji (16). Vidimo, da dobivamo isti »nadmjesni spoj« kao i za jednadžbu (13), samo što koeficijenti nisu više konstante, nego su periodične funkcije od kd . Nizu samoindukcije, otpora i kapaciteta, što odgovaraju učvršćenoj pijezo-pločici, treba spojiti u seriju samoindukciju, otpor i kapacitet, što potječu od stupca kapljevine. Ti su dijelovi promjenljivi s kd . Prema tome ćemo imati:

$$\begin{aligned} \left(\omega L' - \frac{1}{\omega C'} \right) + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) = \\ = \left(\omega L' - \frac{1}{\omega C'} \right) + \text{konst.} \frac{-2r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \\ R' + R_0 = R' + \text{konst.} \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)}, \end{aligned} \quad (18)$$

(15) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 69

gdje su L_1 , R^0 i C_1 vrijednosti, što nadomještaju stupac kapljevine. Otpor R^0 rastavimo u dva dijela, konstantni i promjenljivi:

$$R^0 = R_1 + R_2 = \text{konst.} \frac{e^{ad} - r e^{-ad}}{e^{ad} + r e^{-ad}} + R_2$$

$$0 \leq R_2 \leq \text{konst.} \frac{4r}{e^{2ad} - r^2 e^{-2ad}}.$$

Tome spoju električnih impedancija u seriju dolazi još paralelno kapacitet K . Električna je impedancija Z_d cijeloga sistema predložena izrazom



Sl. 2. Shema električnog ekvivalenta za pijezo-pločicu u doticaju sa stupcem tekućine.

$$\frac{1}{Z_d} = i\omega K + \frac{1}{R' + R_1 + R_2 + i \left[\omega(L' + L_1) - \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{C'} + \frac{1}{C_1} \right) \right]},$$

a shema toga sustava slikom 2.

7. Diskusija ekstrema snage, koja se troši na podržavanje titranja pijezo-pločice u dodiru sa stupcem tekućine. Uvrstimo li izraz (17) u relaciju (11) za radnju W , što je izvrši pijezo-pločica u 1 sekundi, da održi titraje u stupcu kapljevine, to se u prvi mah ne da kazati, za koje će vrijednosti od ω uz konstantno d snaga W biti ekstremna. To ćemo pitanje razmotriti eksperimentalno i teoretski. Vidimo, da je W funkcija od ω i d , koju možemo pisati ovako:

$$W(\omega, d) = f \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega}, k d \right) \frac{1}{e^{2ad} + r^2 e^{-2ad} - 2r \cos(2kd + \varphi)}. \quad (19)$$

Da bude za neku vrijednost ω gornji izraz ekstreman uz $d = \text{konst.}$, mora biti za takav ω :

$$\frac{\partial W(\omega, d)}{\partial \omega} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} \right)} \left(M' + \frac{g'}{\omega^2} \right) \cdot \frac{\partial}{\partial d} + \frac{\partial f}{\partial (kd)} = \quad (20)$$

$$-\frac{f\left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, kd\right) \cdot 4r \sin(2kd + \varphi)}{e^{1\alpha d} + r^2 e^{-1\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} = 0.$$

Tu smo zanemarili članove, u kojima dolazi $\frac{\partial \alpha}{\partial \omega}$ kao faktor.

Pokazat ćemo ponajprije eksperimentalno, da se u relaciji (20) može zanemariti član $\frac{\partial f}{\partial(kd)}$. Uz konstantno ω , a promjenljivo d funkcija će $W(\omega, d)$ biti ekstremna za one vrijednosti od d , za koje valja:

$$\frac{\partial W(\omega, d)}{\partial d} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial(kd)} - \frac{f\left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, kd\right) \cdot 4r \sin(2kd + \varphi)}{e^{1\alpha d} + r^2 e^{-1\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} = 0. \quad (21)$$

U izrazu (21) zanemareni su članovi, u kojima dolazi α kao faktor.

Tu nam također dolazi član $\frac{\partial f}{\partial(kd)}$. Pokazat ćemo mjerenjima, da je funkcija $W(\omega, d)$ ekstremna uz $\omega = \text{konst.}$ onda, kad je

$$\sin(2kd + \varphi) = 0, \quad (22)$$

a to znači, da se za istu tu vrijednost kd bar praktički, ako ne egzaktno, i izraz $\frac{\partial f}{\partial(kd)}$ poništava.

U gornjim smo razmatranjima suponirali, da je generator visokofrekventne napetosti nezavisan o interferometarskom krugu, t. j. promjene u impedancijama interferometarskoga kruga ne utječu na frekvenciju generatora i napetost na njegovim stezaljkama. U praksi je tu nezavisnost najlakše provesti tako, da se krajevi interferometarskog kruga, t. j. točke *A* i *B* u sl. 2 spoje preko malo zavoja uzvojnice oscilatora s triodnom cijevi. Tada je utjecaj interferometarskoga kruga na oscilator neznatan, jer je vezanje među njima slabo. No ipak je taj utjecaj tolik, da se on da vrlo osjetljivim načinima ustanoviti. Tako se prirast na snazi, što je pločica troši održavajući kapljevinu u titranju, očituje kao neznatni prirast struje u anodnom krugu oscilatora. (Taj se prirast može konstatirati osjetljivim galvanometrom, ako se konstantni dio struje na poznati

način kompenzira.)²¹ Prema tome su maksima anodne struje ujedno i maksima snage W . No interferometarski krug djeluje malo i na frekvenciju titranja oscilatornoga kruga. Pri razmatranju toga pojava ne ćemo se obazirati na utjecaj kapaciteta K , koji je konstantan, nego samo na niz od samoindukcije L_1 i kapaciteta C_1 , koji su, kako vidimo iz relacije (18), periodične funkcije od kd . Uzmimo, da smo baš kod takove vrijednosti kd , da valja:

$$\sin(2kd + \varphi) = 0, \quad 2kd + \varphi = 2n\pi.$$

Tada je i

$$\left(L_1\omega - \frac{1}{\omega C_1}\right) = 0. \quad (23)$$

Povećamo li sada malo kd , bilo da k držimo konstantnim, a d uvećamo, bilo da d držimo stalnim, a k t. j. ω uvećamo, to vidimo, da će u oba slučaja postati

$$\left(L_1\omega - \frac{1}{\omega C_1}\right) < 0,$$

što znači, da se je smanjila ili samoindukcija L_1 ili kapacitet C_1 ili oboje zajedno. U slučaju, kad je interferometar vezan na oscilator, pak frekvenciju držimo »konstantnom« tako, da ne diramo u kapacitet i samoindukciju njegova titrajnog kruga, imat će uvećanje od d za posljedicu, da se ukupna samoindukcija i kapacitet sistema neznatno umanju. Kao posljedica slijedit će malo povišenje frekvencije titranja. Obratno će biti, ako d malo umanjimo. Ako pak d držimo konstantnim, a ω povisujemo tako, da smanjujemo kapacitet oscilatornog kruga, to će ω nakon takove vrijednosti za kd , za koju valja (23), jače rasti, nego što bi to odgovaralo samo promjeni kapaciteta oscilatornog kruga. Ako pak ω smanjimo, to će pasti jače, nego što bi odgovaralo samo uvećanju kapaciteta oscilatornoga kruga.²² Potpuno su obrnute prilike u točkama, za koje valja:

²¹ W. Korf: Phonometrische Untersuchungen der Lichtbeugung an Ultraschallwellen in Flüssigkeiten und Gasen, Physik. Z. 37, 708 (1936). U toj je radnji pokazano, da je intenzitet ultrazvuka, što ga emitira pjezo-pločica, u linearnoj zavisnosti o anodnoj struji oscilatora, koji podržava pločicu u titranju.

²² Ovi se pojavi mogu, makar samo i kvalitativno, tumačiti Wienovom teorijom vezanih titraja (Max Wien: Über die Rückwirkung eines resonierenden Systems, Ann. Physik 297, 151 (1897)), kao što je to učinio H. Vogel za sviralu na jezičac s nastavkom [H. Vogel: Die Zungenpfeife als gekoppeltes System, Ann. Physik 62, 247 (1920)] i za oscilator s elektronskom cijevi sa sekundarnom reakcijom [H. Vogel und M. Wien: Zungenpfeife und Röhrensender, Ann. Physik 62, 649 (1920)]. Kao pokušaj takvoga tumačenja može se spomenuti radnja E. Grossmann und M. Wien: Über den Einfluß der Umgebung auf die Frequenz eines Schwingquarzes, Physik. Z. 32, 377 (1931).

72

Vatroslav Lopašić:

(18)

$$\sin(2kd + \varphi) = 0, \quad 2kd + \varphi = (2n + 1)\pi.$$

Tamo je naime

$$\left(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega} \right) > 0, \text{ za } 2kd + \varphi = (2n + 1)\pi + \varepsilon \quad \varepsilon > 0.$$

$$\left(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega} \right) < 0, \text{ za } 2kd + \varphi = (2n + 1)\pi - \varepsilon$$

Kao što smo spomenuli, te su promjene neznatne. Ipak se varijacije frekvencije titranja, ako mijenjamo samo d , mogu opažati pomoću udara, što ih oscilator, koji pobuđuje interferometar, daje sa drugim oscilatorom konstantne frekvencije. Tada frekvencija ν prolazi periodički kroz maksima i minima. Budući da su te promjene frekvencije procentualno neznatne, to možemo uzeti, da je sniženje frekvencije u minimumu jednako povišenju u maksimumu. Snimimo li dakle ν kao funkciju od d , a $\nu_{\max}$ neka je najviša frekvencija, dok je $\nu_{\min}$ najniža, to su točke d , za koje valja

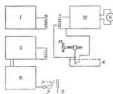
$$\sin(2kd + \varphi) = 0,$$

dane kao apscise sjecišta registrirane krivulje s pravcem:

$$\nu = \frac{\nu_{\max} + \nu_{\min}}{2}.$$

Nacrtamo li preko toga krivulju za anodnu struju toga oscilatora (umanjenu dakako za neki konstantni dio) također kao funkciju od d , to ćemo vidjeti, na koje vrijednosti d padaju njena ekstrema.

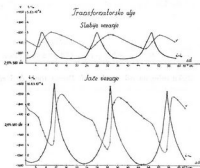
Tako možemo ocijeniti utjecaj člana $\frac{\partial f}{\partial(kd)}$ na položaj ekstrema od W , jer se ta, kako je spomenuto, podudaraju s onima od anodne struje.



Sl. 3. Shematski prikaz aparature za registraciju krivulja $i-i_0$ i ν . — Legenda: I = oscilator upravljan kvarcnormalom, II = radion, III = nisko-frekventno pojačalo, IV = oscilator za podržavanje titraja u ulja, G = galvanometar, g = glazbena vijelaška, K = kivera s uljem, M = mikrometerski vijak, Z = zvučnik.

(19) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 73

Da se registriraju takove krivulje, upotrebljen je eksperimentalni uređaj, kako je shematski prikazan na sl. 3. Oscilator, koji daje konstantnu frekvenciju ν_K , upravljan je normalom za frekvenciju iz kvarca ($\nu_K = 2,97458 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sek}}$). Drugi oscilator u običnom spoju na tri točke, koji podržava u titranju kvarc Q i time i stupac kapljevine dužine d , udesi se tako, da daje s prvim oscilatorom čujne udare. Za slušanje udara služi audion, na koji se nadovezuje jednostepeno niskofrekventno pojačalo sa zvučnikom. Visina tona



Sl. 4. Registrirane krivulje jakosti anodne struje i frekvencije oscilatora kao funkcije udaljenosti d pjezo-pločice od reflektora.

iz zvučnika isporučuje se na uho sa skalom glazbenih viljušaka. Udaljenost d se može mijenjati tako, da se pomiče kvarc Q mikrometerskim vijkom, na kome se mogu još ocijeniti tisućinke milimetra.

Pjezo-kvarc Q ima vlastitu frekvenciju $\nu_0 = 3,05 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sek}}$. Kao interferometarska kapljevina može poslužiti transformatorsko ulje, alkohol, ksilol ili koji drugi kapljeviti izolator. Promjene anodne struje registriraju se galvanometrom G, koji je u ovom slučaju instrumenat s kazaljkom, kome svaki dio znači $6,3 \cdot 10^{-6} A$, a unutrašnji mu je otpor 4 oma. Konstantna je anodna struja dakako

kompensirana. Snimljeni grafovi, od kojih su dva reproducirana u sl. 4, jasno pokazuju, da je W maksimalno za vrijednosti

$$2kd + \varphi = 2n\pi.$$

Prema tome izraz $\frac{\partial f}{\partial(kd)}$ utječe na položaj maksimuma od W manje, nego se to ovom registracijom može ustanoviti. Time smo pokazali, da točke, za koje je W ekstremno uz $\omega = \text{konst.}$, zadovoljavaju uvjet (22).

Budući da krivulja za anodnu struju nema sporednih maksimuma (što se kod plinova može dogoditi²³), zaključujemo, da se krivulje za

$$\frac{\partial f}{\partial(kd)} \text{ i } f\left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, kd\right) \frac{4r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)}$$

nigdje ne sijeku osim na osi apscisa kd . Prema tome će i relacija (20) biti ispunjena za one vrijednosti od ω , za koje valja:

$$\sin(2kd + \varphi) = 0, \quad d = \text{konst.}, \quad (24)$$

ako se za iste te vrijednosti i član:

$$\frac{\partial f}{\partial\left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}\right)} \left(M' + \frac{g'}{\omega^2}\right) \frac{v}{d}$$

ili poništava ili postaje vrlo malen. Promatrat ćemo samo uski okoliš od vrijednosti ω , za koje valja (24), pak možemo funkciju $f\left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, kd\right)$ uzevši u obzir i netom izvedene zaključke, nadomjestiti približnom formulom:

$$f\left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, kd\right) = \frac{1}{2} \frac{F_0 S \varphi v (e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d})}{(N' + A \varphi v)^2 + \left(M'\omega - \frac{g'}{\omega}\right)^2}. \quad (25)$$

²³ W. H. Pilemeier: Supersonic satellites and velocity, *Physic. Rev.* (2) 38, 1236 (1936). Glede tih »satelita« nije stvar izvedena potpuno na čitac (E. Grosse: *Ultraschall* 521).

(21) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 75

Sada relacija (20) poprima ovaj oblik:

$$\begin{aligned} \sin(2kd + \varphi) &= \\ &= - \frac{v \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} \right) \left(M' + \frac{g'}{\omega^2} \right) (e^{i\alpha d} + r^2 e^{-i\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi))}{2rd \left[(N' + Aqv)^2 + \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} \right)^2 \right]} \\ &= B. \end{aligned} \quad (26)$$

Izraz B se za $\omega = \omega_0$ poništava. To znači, da je u neposrednom okolišu resonantne pulzacije (24) uvjet za ekstrem. Kako se udaljimo od ω_0 na jednu ili drugu stranu, izraz B po apsolutnoj vrijednosti raste i postizava maksimum približno za one vrijednosti od ω , za koje valja:

$$(N' + Aqv)^2 = \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} \right)^2, \quad (27)$$

jer je $\frac{g'}{\omega^2}$ vrlo maleno prema $\left(M' + \frac{g'}{\omega^2} \right)^2$.

Neka su $\omega' < \omega_0$ i $\omega'' > \omega_0$ pozitivni korijeni od (27). Za vrijednosti $\omega < \omega'$ i $\omega > \omega''$ postaje apsolutna vrijednost od B opet manja. Nadalje apsolutna vrijednost od B ne smije nikada premašiti jedinicu, jer u protivnom slučaju nema realnih vrijednosti od kd , koje bi (26) zadovoljile. To će se dakako najprije dogoditi za vrijednosti iz (27). Prema tome dobivamo kao uvjet, da ekstrema u cijelom resonantnom području pijezo-pločice ne iščezavaju:

$$\frac{v \left(M' + \frac{g'}{\omega^2} \right) (e^{\alpha d} + r e^{-\alpha d})}{4rd} < N' + Aqv, \quad \omega = \omega', \omega''. \quad (28)$$

Taj nije ispunjen kod plinova, jer je izraz Aqv malen, dakle je premaleno prigušenje titraja pijezo-pločice. Kod kapljevinu pak, kako smo se mogli eksperimentom uvjeriti, on je ispunjen, jer ekstrema nigdje u vrlo širokom području oko ω_0 ne nestaju. Vidimo nadalje iz (26), da su ekstrema od B nešto pomaknuta prema onim vrijednostima, za koje valja (24), i to maksima za $\omega < \omega_0$ prema većim vrijednostima od ω , a za $\omega > \omega_0$ prema manjim vrijednostima od ω . Taj je pomak za neki određeni koeficijent pri-

gušenja najjači u okolišu od ω' i ω'' . Za neku pak vrijednost ω on je to manji, što smo dalje od ω_0 i što je veće prigušenje za titraje pjezo-pločice. Odatle zaključujemo, da treba pulzaciju ekstrema od W određivati ili u neposrednom okolišu od ω_0 ili što dalje od njega, ako se želimo služiti relacijom (24) kao uvjetom za ekstrem. Ocijenit ćemo najveći mogući pomak ekstrema od W , za slučaj da je:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot 3,05 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sek}}, \quad |\omega - \omega_0| = \Delta\omega = 2\pi \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sek}},$$

$$v = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}, \quad d = 20 \text{ cm}.$$

Sigurno valja:

$$|B| < \left| \frac{v \left(M' + \frac{g'}{\omega^2} \right)}{2 r d \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} \right)} \right| (e^{a d} + r e^{-a d})^2.$$

Budući da je ω malo različito od ω_0 , to možemo pisati:

$$\left| \begin{aligned} M' \omega - \frac{g'}{\omega} &= 2 M' \Delta\omega \\ M' + \frac{g'}{\omega^2} &= 2 M' \end{aligned} \right| \left| B \right| < \frac{v}{2 r d \Delta\omega} (e^{a d} + r e^{-a d})^2.$$

Ako uvrstimo gornje vrijednosti, dobivamo:

$$|B| < \frac{1}{88 \pi r} (e^{a d} + r e^{-a d})^2. \quad (29)$$

Kako je približno $a = 0$, a $r = 1$, to vidimo, da uz gornje vrijednosti za ω , ω_0 , v i d relacija (24) vrlo dobro nadomješta uvjet za ekstrem snage W uz $d = \text{konst}$.

8. Osnovna relacija interferometra s promjenljivom frekvencijom. Uzmimo, da je za neki ω_1 , $(\omega - \omega_1 \geq 2\pi \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sek}})$ bilo W maksimalno. Povećavajmo sada kontinuirano pulzaciju ω , tada W prolazi kroz dalja maksima, koja su to jače pomaknuta

(23) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 77

prema većim vrijednostima od ω s obzirom na vrijednosti, što ih daje (24), što se više približavamo vrijednostima iz (27). Kad dodemo u neposredni okoliš resonantne pulzacije $\omega_0 = 2\pi \cdot 3,05 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sek}}$, padaju opet ekstrema od W na točke dane sa (24). Za pulzacije $\omega > \omega_0$ maksima su pomaknuta prema nižim frekvencijama. Za neki ω_2 , $(\omega_2 - \omega_0 \geq 2\pi \cdot 2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sek}})$, za koji je W opet maks., taj je pomak tako neznatan, da ga možemo zanemariti. U intervalu (ω_1, ω_2) neka W ima $n - 1$ maksima, to se je argumentat periodičnih funkcija promijenio za:

$$(2k_2d + \varphi_2) - (2k_1d + \varphi_1) = 2n\pi, \quad (30)$$

ako sa k_1 i k_2 označimo pripadne vrijednosti od k . Ta je cijela promjena izvedena uz konstantno d i konstantnu temperaturu. Iz izraza (30) dobivamo za brzinu zvuka za kapljevinu, koja je bila između pjezo-pločice i reflektora: $(k = \frac{2\pi\nu}{v})$

$$v = \frac{4\pi d(\nu_2 - \nu_1)}{2\pi n - (\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (31)$$

Ta je relacija osnov za mjerenje brzine zvuka metodom interferometra s promjenljivom frekvencijom. Tu treba samo još naći razliku $\varphi_2 - \varphi_1$. To je prirast skoka u fazi na reflektoru uslijed promjene pulzacije od ω_1 do ω_2 . Reflektor ćemo udesiti tako, da izlazi uvijek:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \pi \quad (32)$$

bez obzira na to, kakova je kapljevinu u interferometru. Da bude ispunjena relacija (32), odabrat ćemo debljinu l reflektora prema Rayleighovoj formuli²⁴:

$$\operatorname{tg}\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{VP}{v\varrho} + \frac{v\varrho}{VP} \right) \operatorname{tg} \frac{\omega}{V} l \quad (33)$$

(tu je V brzina zvuka u materijalu, iz kojega je reflektor, a P njegova gustoća) tako, da valja

²⁴ Citirano pod 26.

$$78 \qquad \text{Vatroslav Lopasić:} \qquad (24)$$

$$\text{za } \omega_1 \quad \operatorname{tg} \frac{\omega_1}{V} l = -\infty$$

$$\text{za } \omega_2 \quad \operatorname{tg} \frac{\omega_2}{V} l = +\infty \qquad (34)$$

a u intervalu (ω_1, ω_2) , da bude taj izraz konačan. Tada je φ podosta odista za π . Valja dakle:

$$l = \frac{V\pi}{\omega_2 - \omega_1} \text{ cm.} \qquad (35)$$

To je traženo l , da bude ispunjena relacija (32). Ako to uzmemo u obzir, dobivamo za brzinu zvuka v :

$$v = \frac{2d(v_2 - v_1)}{n - \frac{1}{2}}. \qquad (36)$$

Na osnovu rezultata prethodnih razmatranja konstruirana je pokusna aparatura ultrazvučnog interferometra s promjenljivom frekvencijom. Osnov je ove metode formula (36). Da se odredi v , treba mjeriti dvije veličine: $v_2 - v_1$ i d , dok se n izbroji.

III. Praktični dio

9. O mjeranju razlike frekvencija. Raspraviti ćemo najprije mjerenje $v_2 - v_1$. Tu su moguća dva puta: ili da mjerimo direktno razliku $v_2 - v_1$ kao ton diferencije, ili da mjerimo svaku frekvenciju za se, a razliku izračunamo. Odabran je ovaj drugi način. Područje, u koje padaju v_1 i v_2 , određeno je pjezo-kvarcom, koji služi kao izvor zvuka. Pločica ovdje upotrebljena ima dimenzije $25 \times 25 \times 0,93$ mm. Debljina 0,93 mm pada u smjer električne osi. Izmjerena osnovna vlastita frekvencija za titranje po debljini $v_0 = 3,05 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sek}}$ slaže se s Hundo v o m formulom.³⁵ Ako se ova pločica uroni u kapljevinu, to su njezini titraji i za frekvencije, koje se od osnovne razlikuju za $4 \cdot 10^5$ 1/sek, prema onima u neposrednom okolišu v_0 dosta znatni, tako da se mogu još lako opažati maksima za struju u anodnom krugu oscilatora, koji pobuđuje

³⁵ Radnja citirana pod 22, str. 13.

(25) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 79

pijezo-pločicu, ako mijenjamo frekvenciju titranja. Prema tome treba da je ispunjeno za ν_1 i ν_2 :

$$2,65 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}} \leq \nu_1 < \nu_2 \leq 3,45 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}}.$$

Zelimo li da važi formula (36), to moramo određivati frekvenciju ekstrema dosta daleko od resonantne frekvencije. Treba da je bar: $|\nu_2 - \nu_{1,2}| \geq 2,2 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}}$. S druge strane, da se postigne što veća točnost, valja učiniti razliku $\nu_2 - \nu_1$ što većom, da tako bude i n što veće. Odatle je očito, da je zgodno uzeti $\nu_1 < \nu_0 < \nu_2$. Tako smo odredili granice za ν_1 i ν_2 .

$$\begin{aligned} 2,65 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}} &\leq \nu_1 \leq 2,83 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}} \\ 3,27 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}} &\leq \nu_2 \leq 3,45 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sek}}. \end{aligned} \quad (37)$$

U ta područja treba ν_1 resp. ν_2 staviti. Radi zahtjeva (34) i (35), što smo ih stavili s obzirom na reflektor, moraju frekvencije ν_1 i ν_2 zadovoljavati još ove uvjete:

$$\begin{aligned} \frac{2\pi \nu_1}{V} l &= (2p - 1) \frac{\pi}{2} \\ \frac{2\pi \nu_2}{V} l &= (2p + 1) \frac{\pi}{2}, \end{aligned} \quad (38)$$

gdje je p cijeli broj. Iz tih relacija dobivamo:

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{2p - 1}{2p + 1}. \quad (39)$$

Odatle vidimo, da se frekvencije ν_1 i ν_2 trebaju odnositi kao dva susjedna neparna broja. S obzirom na (37) vidimo, da je zgodno staviti:

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{9}{11}, \quad (40)$$

jer tome vrijednosti prema (37) najbolje odgovaraju. Dakako, pod frekvencijama ν_1 i ν_2 razumijevamo takove, za koje je W ekstrem-

no. Budući da je niz frekvencija, za koje je W ili maksimalno ili minimalno, diskretan, to će uvjet (40) biti općeno samo približno ispunjen, i to će se tim bolje moći odabrati zgodne vrijednosti, što je taj niz gušći. On će pak biti to gušći, što je veći kvocijent d/v , kako se razabira iz (31). Treba dakle uzeti d dosta veliko. Budući da frekvencije moraju zadovoljavati uvjete (37) i (40), to vidimo, da treba uzeti za njih gotovo fiksne vrijednosti. Mora ipak postojati dovoljna mogućnost variranja, da se mjerenje uzmogne izvoditi za svaku brzinu v , koja dolazi kod kapljevin. S druge strane treba mjerenje frekvencija izvesti što točnije, jer se pravljenjem razlike $\nu_2 - \nu_1$ relativna pogreška to više povećava, što je manja ta razlika. Kao osnov za mjerenje frekvencija uzeta je normala za frekvenciju: kvarcov štapić u dršku »Konstant« firme dr. Steeg & Reuter, koji ima prema navodu proizvođača vlastitu frekvenciju $\nu_n = 2,97458 \times 10^5$ 1/sek. Ta je frekvencija približno deset puta niža od vlastite frekvencije pjezo-pločice. Taj kvarcov štapić upravlja u poznatom *Hundovom* spoju²⁸ oscilator s elektronskom cijevi. Frekvencija titranja struje u anodnom krugu dana je frekvencijom štapića, dok su vrijednosti samoindukcije i kapaciteta u tome krugu bez znatnijeg utjecaja. Odabere li se zgodno odvodni mrežni otpor u tom oscilatoru, to će izmjenična komponenta struje u anodnom krugu biti znatno deformirana prema obliku sinusoide, ona će dakle biti smjesa struja frekvencija²⁹:

$$\nu_n, 2\nu_n, \dots, 9\nu_n, 10\nu_n, 11\nu_n, \dots$$

Frekvencije $9\nu_n = 2,67712 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sek}}$ i $11\nu_n = 3,27204 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sek}}$ zadovoljavaju dakako automatski uvjet (40), no, kako vidimo, i uvjet (37) je ispunjen.

Bio bi dakako puki slučaj, da ν_1 padne točno na $9\nu_n$, a ν_2 na $11\nu_n$. Općeno će biti ν_1 i ν_2 različito od tih frekvencija, t. j. dat će s tima frekvencijama tonove diferencije:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= |\nu_1 - 9\nu_n| \\ \delta_2 &= |\nu_2 - 11\nu_n|. \end{aligned} \quad (41)$$

²⁸ A. Hand: Uses and possibilities of piezoelectric oscillators, Proc. Instr. Radio Eng. 14, 447 (1926). Citirano prema Physik. Ber. 133 (1927).

²⁹ Radnja citirana pod 22, str. 60.

(27) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 81

Našu zadaću glede mjerenja frekvencija ν_1 i ν_2 možemo formulirati sada ovako: treba izmjeriti δ_1 i δ_2 , za ekstrema, koja padaju najbliže frekvencijama $9\nu_n$ odnosno $11\nu_n$. Uz to treba odrediti, koji predznak imaju diferencije $\nu_1 - 9\nu_n$ i $\nu_2 - 11\nu_n$. Ako uzmemo dovoljno veliko d , to će za svaku brzinu v ti tonovi δ_1 i δ_2 pasti u čujno područje. Zahtijevat ćemo, da bude:

$$\delta_1, \delta_2 \leq 2,5 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sek}}. \quad (42)$$

Budući da je prema (36):

$$\delta_1, \delta_2 \leq \frac{1}{2} \frac{\nu_2 - \nu_1}{n - 1/2} = \frac{v}{4d} \leq 2,5 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sek}}, \quad (43)$$

to dobivamo za d , ako stavimo $v = 1,8 \cdot 10^5$ cm/sek kao maksimalnu vrijednost za brzinu zvuka u kapljevinama:

$$d \geq 18 \text{ cm}. \quad (44)$$

To je zahtjev, koji se lako zadovolji. Iz izraza (43) možemo ocijeniti i minimalnu vrijednost za n , ako stavimo:

$$\nu_2 - \nu_1 \geq 2 \nu_n \geq 5,95 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sek}},$$

jer onda dobivamo:

$$n \geq 118. \quad (45)$$

Frekvencije δ_1 i δ_2 mjerimo elektrodinamskim monokordom, kako su ga razvili L. V. King i drugi.²⁸ Aparat, kojim smo se poslužili, konstruiran je u nešto pojednostavnjenom obliku, jer za mjerenje δ_1 i δ_2 nije potrebna naročita točnost, budući da se oni pribrajaju veličini $\nu_2 - \nu_1$, koja je od sume $\delta_1 + \delta_2$ više nego stotinu puta veća. Žica od fosforne bronce promjera 0,45 mm učvršćena je na svojem gornjem kraju i napeta je preko čvrstog i pomičnog konjića silom $9356,5 \times 980,6$ dina, koja je realizirana utegom, što visi na donjem kraju žice. Učvršćenje žice na gornjem kraju izvedeno je naročitim škripcem tako, da je svako oštećenje žice isključeno.

²⁸ H. A. Davis: Modern Acoustics 162.

Čvrsti je konjić načinjen od dvije čelične kuglice za kuglične ležaje, koje su vijcima stisnute tako, da se dodiruju. U prosjek među kuglicama položena je žica i ona se tu upire. Zatim prolazi žica između polova jakog permanentnog magneta u obliku potkove. Da se pojača djelovanje magneta na žicu, načinjeni su za polove nastavci od kovkog željeza, tako da je prorez, kroz koji žica prolazi, širok 2 mm. Nakon toga se žica lagano upire o malen mjedeni kotačić, koji se može okretati među šiljcima. Taj je kotačić učvršćen na saonicama, koje se pomiču duž čitavog monokorda, a dužina se žice između čvrstog konjića i kotačića na saonicama čita na čeličnom mjerilu učvršćenom na samom monokordu. Na donjem kraju monokorda je nešto veći mjedeni kotačić na osovini i preko njega se žica slabo previja, jer je čitav monokord postavljen koso pod kutom od 75° , da bi se izbjeglo izvjesnim nepravilnostima u napetosti žice. Na donjem je kraju opet naročiti škripac, na koji se vješaju utezi. U težinu utega uračunata je dakako i težina donjeg škripca, kao i stalka za utege u obliku ploče. Na gornjem i donjem su škripcu stezaljke, do kojih vodi gibiva žica tako, da se može kroz žicu monokorda pustiti izmjenična struja, kojoj želimo odrediti frekvenciju. Kad teče kroz žicu monokorda izmjenična struja, onda magnetsko polje želi žicu ukloniti okomito na svoj smjer i na smjer žice, t. j. struje. Ta se sila mijenja isto tako kao i struja kroz žicu. Ako je frekvencija struje jednaka jednoj vlastitoj frekvenciji žice između čvrstog i pomičnog konjića, nastanu jake oscilacije žice, što se pri višim frekvencijama konstatira uhom, a pri nižima vizuelno. Ako smo našli, da žica resonira za dužinu l , i pri tom ima osim čvorova na krajevima još $(q-1)$ čvorova između oba konjića, onda je frekvencija titranja:

$$\delta = \frac{q}{2l} \sqrt{\frac{f}{\mu}} \frac{1}{\text{sek}}, \quad (46)$$

gdje je f sila, kojom je žica nategnuta, a μ masa 1 cm žice. U našem je primjeru: $f = 9356,5 \times 980,6$ dina, $\mu = 0,01453$ gram/cm. Ako to uvrstimo, dobivamo:

$$\delta = 1,257 \cdot \frac{q}{2l} \cdot 10^4 \frac{1}{\text{sek}}. \quad (47)$$

Formula (46) vrijedi to bolje, što je l veće, t. j. ona vrijedi stim točnije, što je niža frekvencija titranja. Ako pak uočimo izvjesnu

29) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 83

frekvenciju, to je ona to bolje ispunjena, što je veća sila f , jer za veliko f žlan, koji dolazi od krutosti žice, postaje vrlo malen. Za te vrijednosti, koje smo odabrali za f i μ , korektura je vrlo neznatna za frekvencije:

$$\delta \leq 3,5 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sek}}.$$

Dužina žice l može se povećati do 110 cm, pak prema tome vidimo, da je područje mjerenja za ovaj aparat

$$50 \frac{1}{\text{sek}} \leq \delta \leq 3,5 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sek}}, \quad (48)$$

što potpuno odgovara našim potrebama. Točnost mu je bar 1%, jer je namještaj pomičnog konjića oštar na 1 do 2 mm, a dužina se l ne uzima nikada manja od 30 cm.²⁹ Pri visokim se naime frekvencijama radi sa $q > 1$. Frekvencije δ , koje su manje od 50 1/sek, ne treba niti mjeriti, jer takov δ iščezava prema 2 ν_0 . Pomoću opisanog oscilatora upravljanog normalom iz kvarca i pomoću elektrokinematskog monokorda izvedena su mjerenja frekvencije oscilatora, koji podržava u titranju pijezo-kvarc i stupac kapljevine, ovako: Najprije se audion, na koji se nadovezuje jednostepeno niskofrekventno pojačalo sa pentodom, namjesti na frekvenciju 9 ν_0 ili 11 ν_0 , zatim se mijenja frekvencija oscilatora, koji je u vezi sa pijezo-kvarcom, dotle, dok se ne dobije u zvučniku, koji je prikopčan na niskofrekventno pojačalo, ton diferencije između 9 ν_0 odnosno 11 ν_0 i toga oscilatora. Iz namještanja kondenzatora u oscilatoru sa promjenljivom frekvencijom vidi se predznak diferencija $\nu_1 - 9 \nu_0$ odnosno $\nu_2 - 11 \nu_0$. Sada se zvučnik iskopča, a na njegovo mjesto dolazi transformator (50 : 1) elektrokinematskog monokorda. Na monokordu se pomiču saonice dotle, dok se ne pojavi ton ili dok ne vidimo, da žica titra. Namjesti se maksimum intenziteta titranja žice, i ustanovi broj čvorova $q - 1$ i očitava l .

²⁹ Aparat je ispitivan tako, da je žica stavljena u titranje izmjeničnom strujom iz oscilatora s triodnom cijevi. Tome se oscilatoru mogla frekvencija kontinuirano mijenjati od nekih 200 1/sek pa sve do 5000 1/sek. Ako je žica u rezonanciji s oscilatorom, tada ona daje jak i stalan ton. Taj je ton ispredivan s glazbenim viljuškama i mijenjan dotle, dok nisu iščezli udari, što ih daje taj ton s tonom izvjesne viljuške. Iz poznate dužine žice izračunata frekvencija slagala se s pogreškom manjom od 1% s titrajnim brojem viljuške.

Iz tih podataka računamo δ_1 resp. δ_2 prema (47) i tako dobivamo ν_1 odnosno ν_2 .

Budući da je podatak, što ga daje monokord, točan na 1%, a δ vrlo malen prema $9\nu_1$ ili $11\nu_2$, to vidimo, da je takovo mjerenje frekvencije vrlo točno. Uzmemo li, da posljednja znamenka za ν_1 nije pouzdana i neka je pogreška 5 1/sek, što znači za $9\nu_1$ apsolutnu pogrešku 45 1/sek, za $11\nu_2$ pak 55 1/sek. Pogreška pak kod δ_1 odn. δ_2 neka je 50 1/sek, to vidimo, da je maksimalna apsolutna pogreška za pojedini $\nu_{1,2}$ kojih 100 1/sek, što na približno $3 \cdot 10^6$ 1/sek iznosi 0,003%. Kad odbijemo ν_1 od ν_2 , dobivamo $\nu_2 - \nu_1$ točno bar na 0,03%.

10. Kiveta. U izrazu (36) dolazi kao drugi faktor konstantna dužina d stupca kapljevine. Ta dužina prema uvjetu (44) ne smije biti manja od 18 cm. Prevelika se također ne smije uzeti radi jakog utjecaja i male promjene temperature. Ako se uzme d preveliko, to i promjena od 0,1°C tokom mjerenja može imati za posljedicu, kako jednostavni račun pokazuje, da broj maksimuma n izađe za nekoliko jedinica prevelik ili premalen. Zato je kiveta konstruirana tako, da izađe d oko 22 cm. Načinjena je od 6 mm debelih mjeđenih ploča i ima mjereno iznutra širinu 5 cm, visinu (dubinu) 6 cm, dok joj je dužina 23,00 cm. Pri izradi se naročito pazilo na što bolji paralelizam stijena na krajevima, pak je podatak 23,00 cm siguran na 0,005 cm, kako se moglo šestarom ustanoviti. Za učvršćenje pijezo-kvarca upotrebljena je planparalelna ploča od mjedi dimenzija $5 \times 6 \times 0,597$ cm, na koju je on učvršćen svilenim končićima tako, da je uz ploču usko priljubljen. Prije učvršćenja je pijezo-pločica s obje strane metalizirana tankim listićima staniola. Tako je jedan oblog kondenzatora sa pijezo-kvarcom u kontaktu sa spomenutom mjeđenom pločom, dok do drugoga vodi gibiva lameta. Kako se iz dimenzija mjedene ploče vidi, ona pristaje uz jednu stijenu na kraju kivete. Nasuprot pijezo-kvarcu stavljen je reflektor za ultrazvučne valove. Ali on mora biti ne samo paralelan s pijezo-pločicom nego mora ispunjavati i uvjet (35). Napokon iza njega treba da se prostire kapljevina u beskraj, ili što je isto, valovi, koji izadu iz reflektora na drugu stranu, ne smiju se više na nj vratiti. Relacija (35) nam daje debljinu l reflektora. Stavimo li za V kod mjedi kao srednju vrijednost $V = 3,57 \cdot 10^8 \frac{\text{cm}}{\text{sek}}$ ⁴⁹, a za $\omega_2 - \omega_1 =$

⁴⁹ Landolt-Börnstein: Physikalisch-Chemische Tabellen II, 1630 (1923).

(31) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 85

$4\pi n_{\lambda}$, to izlazi za $l = 0,300$ cm, kao debljina reflektora od mjedi. Ukoliko je kod mjedi podatak za V nesiguran, to se ipak ne će mnogo od ovoga razlikovati. No napokon n je vrlo velik broj, kako pokazuje relacija (45), pa ako se i bude korektura od n nešto razlikovala od $\frac{1}{2}$, to ne će znatno utjecati na traženu vrijednost v . Da zadovoljimo drugi uvjet, t. j. da se valovi, koji kroz reflektor prolaze, na nj više ne vraćaju, distanciran je reflektor od krajne stijene kivete dvjema jednako debelim prugama (0,294 cm) od mjedi, koje su na nj zalemljene. Prostor između reflektora i stijene od kivete ispuni se vatom, koja se natopi kapljevnom, kad se ona ulije u kivetu. Sloj vate od 0,3 cm sasvim je dovoljan, da apsorbira valove, koji izlaze iz reflektora. Da se naime vrte na reflektor valovi reflektirani na stijeni kivete, imaju oni prevaliti put od 6 mm, što iznosi prosječno oko 14 valnih dužina ultrazvuka u kapljevinu. Da se ploča s pjezo-kvarcom i reflektor točno priljube uz krajne stijene kivete, oni su rastavljeni dvjema šipkama od mjedi, koje ih uz te stijene čvrsto pritiskuju. Kad su ploča sa kvarcom i reflektor tako pritisnuti uz krajne stijene, stavljena je kiveta na komparator i tamo isporučena udaljenost između unutrašnje plohe ploče, koja nosi pjezo-kvarc, i prema njoj okrenute plohe reflektora s metrom od invara. To je mjerenje izvršeno na dva mjesta uz obje pobočne stijene. Tako je dobiveno:

$$\left. \begin{array}{l} d_1 = 21,807 \text{ cm} \\ d_2 = 21,809 \text{ cm} \\ \bar{d} = 21,808 \text{ cm} \end{array} \right\} T = 23^{\circ} \text{ C}$$

Da dobijemo traženo d , treba od srednje vrijednosti dužina dobivenih izmjerivanjem odbiti debljinu pjezo-pločice, koja iznosi 1,00 mm. Sama je pločica doduše debela 0,93 mm, no sada je debljina uvećana metalnim oblozima. Tako dobivamo konačno

$$d = 21,708 \text{ cm.}$$

Ako bismo mjerenje brzine zvuka vršili pri temperaturama, koje se mnogo razlikuju od sobne, to bismo morali uzeti u obzir i koeficijent rastezanja za mjed kod vrijednosti za d , koju stavljamo u izraz (36). Pogreška, kojom je određeno d , ne prelazi 0,02%.

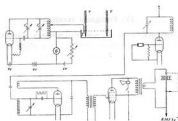
Cijela se kiveta može pokriti limenim pokrovcem, koji ujedno služi kao nosač za dva kalorimetrička termometra, kojima su stupnjevi razdijeljeni na dvadeset dijelova. Jedan je od njih tik uz kvarcovu pločicu, dok je drugi uz reflektor, dakako oba izvan ultrazvučne zrake. Tako je moguće kontrolirati temperaturu kapljevine na dva razna mjesta i time ustanoviti eventualni temperaturni gradijent u njoj. Da bude temperatura kivete i kapljevine što jednoličnija i tokom mjerenja što stalnija, može se staviti čitava kiveta u obilnu vodenu kupelj.

11. **Oscilator za održavanje titranja pijezo-pločice.** Prestaje nam napokon, da opišemo oscilator, koji podržava pijezo-pločicu u titranju. Odabran je običan spoj »na tri točke«. Upotrebljena je cijev firme Tungsram 015/400. Veću pažnju pri tome oscilatoru zaslužuje varijabilni kapacitet, jer njime mijenjamo frekvenciju ν titranja. On je razdijeljen na dva kondenzatora C_1 i C_2 . Prvi je veći i ima konačni kapacitet približno 200 cm, dok je drugi manji s konačnim kapacitetom od 50 cm. Taj drugi kondenzator ima osovinu produženu ebonitnim štapom, da ne utječe »kapacitet ruke«, i pokroče se pucetom sa znatnim prijenosom (10 : 1) tako, da se njegov kapacitet može sasvim polagano mijenjati. Njegov je konačni kapacitet pokusom udešen tako, da se uz neku konstantnu vrijednost prije spomenutog paralelnog kondenzatora zakretom za 180° stupnjeva prođe čitavo područje od 9 ν_0 do 11 ν_0 . Time je znatno olakšano opažanje maksima i minima anodne struje. Anodna napetost za taj oscilator od samo 8 volta, mjerena od sredine katode, uzima se iz akumulatora. Isto tako i struja grijalica (4 volta), dok za kompenzaciju anodne struje služi jedna akumulatorska baterija (2 volta) i otpornik na čepove. Tako ekstremno niska anodna napetost uzeta je zato, da se spriječi i najmanje ugrijavanje kapljevine u okolini pijezo-kvarca. Tako malena anodna voltaža, t. j. tako neznatna snaga ultrazvučne zrake, dovoljna je samo pri interferometrijskim metodama, dok pri drugima treba raditi sa znatno većom snagom, što ima za posljedicu temperaturnu nehomogenost kapljevine uz pijezo-pločicu. Prije spomenuti termometri pokazuju već za 20 volta anodne napetosti očitu razliku u temperaturi na jednom i drugom kraju kivete. To napokon potvrđuju za još veće snage direktne snimke ultrazvučnog polja

(33) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 87

metodom šlira u neposrednoj blizini pijezo-pločice.⁴¹ Za opažanje promjena anodne struje služi aperiodski galvanometar sa zrcalom, kome je skala malo više od pol metra udaljena od zrcala. Tu je aperiodičnost vrlo važna, jer treba vrteći kondenzator oscilatora »na tri točke« brojiti maksima anodne struje. U protivnom bi se slučaju mjerenje jako oteglo, ako bi uopće bilo moguće, da se u redu izvrši.

12. Ocjena točnosti konstruirane aparature. Sada možemo konačno ocijeniti točnost, kojom se mogu ovom aparaturom mjeriti brzine zvuka u kapljevinama. K pogreški pri mjerenju razlike $\nu_2 - \nu_1$, koju smo ocijenili na 0,03%, pridolazi još pogreška, koja potječe od namještanja oscilatora s promjenljivom frekvencijom na



Sl. 5. Shematski prikaz aparature interferometra s promjenljivom frekvencijom.

ekstrem anodne struje. Uzmemo li u obzir razmatranja na str. 71, to možemo očekivati, da će ta pogreška biti manja, ako namještamo na minimum struje. Budući da se maksima pričinjavu nešto šiljastijima u područjima, koja su blizu resonantnoj frekvenciji pijezo-pločice, to se pokazao zgodnim ovaj postupak: izmjeri se frekvencija ν_1 (ν_2) minimuma, koji je najbliže frekvenciji $9\nu_0$ ($11\nu_0$), zatim se frekvencija povisuje (snizuje) i broje se maksima anodne struje, dok se ne dođe do minimuma, koji je najbliže frekvenciji $11\nu_0$ ($9\nu_0$), čija se frekvencija ν_2 (ν_1) izmjeri. Broj maksima u intervalu (ν_1 , ν_2) jest n . Pri takvom postupku cijenimo po-

⁴¹ Snimka od N. Seifena, pelopčena i u radnji E. Hiedemanns: *Ultraschall* na str. 220, jasno pokazuje temperaturni gradijent.

grešku kod namještanja na minimum struje na kojih 100 1/sek. Prema tome je podatak za razliku $\varphi_2 - \varphi_1$ 1/sek. točan na 0,07%. Pogrešku kod dužine d smo ocijenili na 0,02%. Dodamo li k tome i pogrešku uslijed neizbježnih temperaturnih varijacija i pogrešku uslijed toga, što se skok u fazi na reflektoru ne promijeni baš za π , to možemo očekivati rezultat za φ točan na 0,2%.

13. Shematski prikaz aparature. Cijela je aparatura predložena shematski na sl. 5. Kako su gornje frekvencije oscilatora s kvarc-normalom dosta slabe, to se pokazalo zgodnim pojačati vezanje između audiona i toga oscilatora malenim kapacitetom, koji je realiziran tako, da su dvije izolirane žice skupa spletene na dužinu od 1 cm. Taj je kapacitet također ucertan u shemi. Ostalo je već prije objašnjeno.

IV. Postignuti rezultati

14. Mjerenja. Prva su pokusna mjerenja s ovim uređajem izvedena na transformatorskom ulju. Kiveta s uljem je stavljena u vodenu kupku i kad se temperatura stabilizirala, izvršena je čitava serija mjerenja, koja su pokazivala dobar međusobni sklad. Moglo se jasno konstatirati opadanje brzine zvuka sa prirastom temperature.

Kao druga pokusna kapljevina upotrebljen je ksilol firme Merck. Prije nego je uliven u kivetu, ova je dobro očišćena terpentinom, zatim benzinom i etilnim alkoholom, napokon samim ksilolom. Kad se kiveta osušila, ispunjen je prostor iza reflektora čistom vatrom. Nakon toga je ponovo kontrolirana udaljenost ploče, koja nosi pijezo-kvarc, i reflektora na komparatoru. Moglo se ustanoviti, da se vadenjem reflektora i pijezo-pločice iz kivete i ponovnim umetanjem udaljenosti d_1 i d_2 mijenjaju za najviše 0,001 cm prema vrijednostima navedenim na strani 85. Kad je ta kontrola izvršena, stavljena je prazna i dobro poklopljena kiveta u posudu od lima. U limenu posudu uliveno je vode toliko, da je sezala do 1 cm ispod gornjeg ruba kivete. Da se izjednače temperature, pričekalo se jedan sat. Posuda s vodom i čitava kiveta spojeni su sa zemljom, dok je lameta, što vodi do drugog obloga kondenzatora s pijezo-pločicom, prilemljena na kraj žice, koja izlazi izolirana kroz poklopac kivete i može se spojiti na bilo koji zavoj uzvojnice visokofrekventnog oscilatora. Zatim je uliven ksilol

u kivetu. Na termometrima, što ih nosi poklopac, čita se temperatura kapljevine u kivetu. Kad se temperatura ustalila, izvršena su mjerenja. Ponajprije je izmjeren ν_1 , to će reći δ_1 , i određen predznak razlike $9\nu_n - \nu_1$. Polazeći od toga minimuma izbrojena su maksima do minimuma, koji je najbliži $11\nu_n$. Njegova se frekvencija ν_4 izmjeri, t. j. odredi predznak razlike $\nu_4 - 11\nu_n$ i njena apsolutna vrijednost δ_2 . Taj je postupak samo priprava za definitivno mjerenje. Položaj se naime minimuma ne mijenja, ako se ne mijenja temperatura. Poraste li malo temperatura, to se cijeli sistem minima i maksima pomakne prema nižim frekvencijama; obratno, ako se temperatura snizi. Taj pomak može iznositi i pri malim varijacijama temperature nekoliko stotina herca. Da on ne bi utjecao na rezultat, mjeri se tako, da se frekvencija brzo promijeni od ν_3 , koji smo netom izmjerili, na ν_1 , koji se onda ponovo odredi, i odmah se zatim očita sa termometara temperatura. Broj maksimuma je poznat iz predmjerenja. Dademo li veličinama δ_1 odnosno δ_2 predznake od $9\nu_n - \nu_1$ resp. $\nu_4 - 11\nu_n$, to onda dobivamo, uvrstivši prije iznesene vrijednosti, brzinu zvuka iz izraza:

$$v = 43,416 \frac{594916 + \delta_1 + \delta_2}{n - \frac{1}{2}} \frac{\text{cm}}{\text{sek}}. \quad (49)$$

Očito je, da u (49) δ_1 i δ_2 mogu biti prema gornjem i negativni. Vrijednosti dobivene za ksilol poredat ćemo u tablicu po temperaturama.

temperatura	δ_1 1/sek	δ_2 1/sek	n	v cm/sek
20,90°	459	216	194	$1,3363 \cdot 10^5$
20,95	494	0	194	1,3359
21,00	1050	— 881	194	1,3346
21,05	1611	— 1302	194	1,3349
21,10	1875	— 1775	194	1,3344
21,15	— 635	661	194	1,3343
21,20	— 358	465	194	1,3344
21,25	0	— 177	194	1,3338
21,30	501	— 460	194	1,3343
21,35	896	— 1161	194	1,3336
21,70	0	— 1032	194	1,3308

90	Vatroslav Lopasić:				(36)
temperatura	$\bar{d}_1$ 1/sek	$\bar{d}_2$ 1/sek	n	v cm/sek	
21,80	816	851	195	1,3317	
21,85	942	637	195	1,3315	
21,90	1277	0	195	1,3308	
21,90	1600	0	195	1,3316	
22,90	1238	1122	196	1,3264	

Međusobni je sklad tih rezultata očit, no oni se ne mogu isporučiti sa drugim mjerenjima, budući da je upotrebljeni kisilol neka nepoznata mješavina svih triju kisilola.

Nakon ovih informativnih mjerenja na ulju i kisilolu mjerena je brzina zvuka u benzolu. U tu je svrhu upotrebljen benzol tvrtke Schering-Kahlbaum A. G. Berlin, što ga ona proizvodi pod naslovom: Benzolum «Kahlbaum» pro analysi c605. Prije ulijevanja toga benzola u kivetu podvrgnuta je ona ponovnom čišćenju kisilolom, alkoholom i napokon tim benzolom. Nakon predmjerenja određeno je deset puta naizmjenice ν_1 i ν_2 . Temperatura je kontrolirana iza svakog pojedinog mjerenja i držala se vrlo dobro na 20,95° C. Odatle možemo izvesti 19 vrijednosti za brzinu zvuka u benzolu pri toj temperaturi. Dajemo ih u tablici:

temperatura	$\bar{d}_1$ 1/sek	$\bar{d}_2$ 1/sek	n	v cm/sek
20,95°	632	1065	197	1,3182.10 ⁵
20,95	739			1,3185
20,95		1122		1,3186
20,95	341			1,3177
20,95		1117		1,3177
20,95	449			1,3179
20,95		1019		1,3177
20,95	426			1,3177
20,95		769		1,3171
20,95	722			1,3178
20,95		1036		1,3184
20,95	497			1,3179
20,95		1021		1,3178
20,95	671			1,3182
20,95		836		1,3178
20,95	736			1,3179

(37) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 91

temperatura	δ_1 1/sek	δ_2 1/sek	n	v cm/sek
20,95		872		1,3181
20,95	680			1,3179
20,95		746		1,3176
20,95 ^a srednja vrijednost brzine:				1,3179, 10 ⁵ cm/sek.

Ta se vrijednost za brzinu zvuka u benzolu može isporučiti sa vrijednosti, što su je dobili E. B. Freyer, J. C. Hubbard i D. H. Andrews pomoću naročito konstruiranoga zvučnog interferometra, koji radi na osnovu principa, kako ga je iznio Pierce. Rezultat za benzol prema mjerenjima gore spomenutih autora jest:¹²

temperatura	10°	20°	30°	40°	50°
brzina	1,375	1,324	1,278	1,231	1,184.10 ⁵ cm/sek.

Izvršimo li interpolaciju između vrijednosti za 10°, 20° i 30°, to dobivamo za 20,95^a vrijednost: $v(20,95) = 1,3192.10^5$ cm/sek. Ta je vrijednost za 0,1% različita od izmjerene.

Nakon mjerenja na benzolu kiveta je očišćena alkoholom i destiliranom vodom. Zatim su izvršena mjerenja na vodi. Upotrebljena je dvostruko destilirana voda od tvrtke Jugofarmacija d. d. Zagreb. Dat ćemo izmjerene vrijednosti za brzinu zvuka i uz njih vrijednosti, što odgovaraju mjerenjima J. C. Hubbarda i A. L. Loomisa:¹³

temperatura	δ_1 1/sek	δ_2 1/sek	n	v cm/sek	Hubbard, Loomis
20,90	785	877	175	1,4844.10 ⁵	1,4869.10 ⁵
20,95	834	1232	175	1,4853	1,4870
20,95	465	1535	175	1,4852	
21,65	711	897	174	1,4886	1,4892
21,65	838	897	174	1,4889	
21,65	532	711	174	1,4886	
21,70	241	474	174	1,4882	1,4893
23,60	268	1562	174	1,4935	1,4946
23,60	0	1571	174	1,4927	
23,60	256	1478	174	1,4931	

¹² Sama radnja od spomenutih autora, u kojoj su objavili navedene rezultate, nije bila pristupna piscu, no oni su izneseni u *Landolt-Börnstein: Physik-Chem. Tabellen II Erg. Bd. 1655 (1931)*.

¹³ J. C. Hubbard and A. L. Loomis: The Velocity of Sound in Liquids at High Frequencies by the Sonic Interferometer, *Philosophic. Mag.* (7) 5, 177 (1928).

Dat ćemo još vrijednosti, koje su dobivene s apsolutnim alkoholom. Prije mjerenja je kiveta ponovo očišćena i osušena. Upotrebljen je »Alcohol absolutus« firme E. Merck, Darmstadt. Originalna je boca otvorena tik prije samih mjerenja. Kako je mjerenje trajalo oko jedan sat, a kiveta je bila zaklopljena, to nije alkohol mogao navući vlage toliko, da bi to utjecalo na rezultat mjerenja. Izvršen je niz od deset mjerenja na isti način kao kod benzola.

temperatura	δ_1 1/sek	δ_2 1/sek	n	v cm/sek
23,30 ^a	-580	-155	225	1,1494.10 ³
23,30		-152		1,1494
23,30	-513			1,1495
23,30		-169		1,1495
23,30	-503			1,1495
23,30		-164		1,1495
23,30	-415			1,1497
23,30		-170		1,1498
23,30	-488			1,1495
23,30		-157		1,1496
23,30	-415			1,1497
23,30		-172		1,1497
23,30	-544			1,1494
23,30		-128		1,1495
23,30	-413			1,1498
23,30		-144		1,1497
23,30	-483			1,1496
23,30		-140		1,1496
23,30	-442			1,1497
srednja vrijednost 1,1496.10 ³ cm/sek.				

Mjerenja su međusobno vrlo skladna, no dobivena se vrijednost dosta razlikuje od vrijednosti $v(23,30^a) = 1,1565.10^3$ cm/sek., što izlazi iz mjerenja, koja su priopćili Freyer, Hubbard i Andrews.⁶⁹ Koji je razlog tome, ne da se naprećac kazati.

Sistem minima i maksima anodne struje ima za sve kapljevine isti karakter, samo je za neke kapljevine (na pr. transformatorsko ulje, benzol) amplituda varijacija anodne struje nešto slabija nego za druge (ksilol, alkohol, voda) uz isto vezanje. Da se amplitude povećaju, dovoljno je da se malo poveća broj zavoja na uzvojnici

(39) Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom 93

oscilatora, preko kojih je spojen interferometar. Promjene su anodne struje najjače u neposrednom okolišu resonantne frekvencije pjezo-pločice, dok su približno za 60% manje u okolišu frekvencije 9 ν_n i 11 ν_n . Za frekvenciju 10 $\nu_n = 1,3 \cdot 10^4$ 1/sec ima svaki sistem dva do tri maksimuma s izrazito malom amplitudom, dok je amplituda promjena anodne struje s lijeve i s desne strane toj frekvenciji znatno veća (približno pet puta). Razlog je u odabranom reflektoru. Uzmemo li u obzir debljinu reflektora, to vidimo, da bi po našem računu za 10 ν_n trebalo biti: $\tan \frac{\omega}{V} = 0$, resp. $\cot \frac{\omega}{V} = \pm \infty$.

Za taj slučaj daje Rayleighova teorija za refleksiju i prolaz kompresionalnih valova kod stijena konačne debljine, da je intenzitet reflektiranih valova nula. Kako je kod nas taj minimum moći refleksije pomaknut samo malo prema nižim frekvencijama, to vidimo, da je debljina reflektora dosta dobro pogodena. Da taj minimum amplituda ima doista svoj razlog u reflektoru, izlazi odatle, što on nestane s toga mjesta, ako se uzme reflektor druge debljine, i što je on za sve dosad upotrebljene kapljevine bio na istom mjestu s obzirom na frekvenciju, ako nismo reflektor promijenili.⁴⁴ To nam je ujedno i eksperimentalno opravdanje za uvođenje korekcije za n u izrazu za brzinu zvuka.

15. Zaključak. Metoda ultrazvučnog interferometra s promjenljivom frekvencijom u praktičnoj izvedbi, kako je ovdje opisana, ne doseže u svojoj točnosti od mnogih autora poboljšani Pierceov interferometar. To je razumljivo, ako se uzmu u obzir tehnička sredstva, koja su ovdje upotrebljena. Ipak međusobni sklad mjerenja izvedenih pod istim uvjetima, kao i sklad s rezultatima dobivenim drugim metodama jasno pokazuju, da bi se točnost pri ovome načinu dala još mnogo uvećati. S druge strane pisac smatra ovu metodu naročito zgodnom za mjerenja pri temperaturama, koje se znatno razlikuju od sobne, bilo da su mnogo niže ili mnogo više (gornja je granica dana temperaturom, pri kojoj prestaju pjezoelektrični pojavi upotrebljenog kristala), i to zato, što su ovdje otpale mehaničke promjene u samoj kiveri tokom mjerenja. Prema tome se može vrlo lako cijela kivera s istraživanom kapljevinoom staviti u prikladni termostad tako, da se svi njezini dijelovi nalaze

⁴⁴ Prilike kod stijena konačne debljine ispitane su prvi put eksperimentalno u ultrazvučnom području. R. W. Boyle: Transmission of Sonic and Ultrasonic Waves through Partitions, Nature 121, 55 (1928).

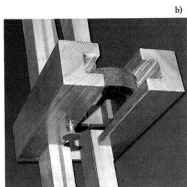
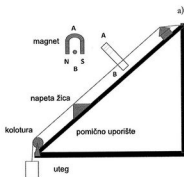
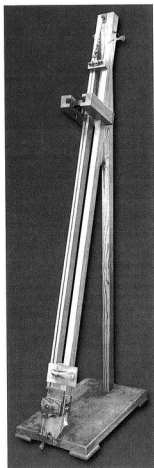
na temperaturi, pri kojoj želimo mjerenje vršiti. Pri Pierceovu načinu mora biti dakako pristupna glava mikrometarskog vijka, kojim se pomiče reflektor. U nastojanju, da se razvije precizna metoda pri visokim temperaturama, ovaj je rad prva etapa; trebalo je naime metodu interferometra s promjenljivom frekvencijom obrazložiti i s teoretske i s eksperimentalne strane. To je po mišljenju pisca uspjelo, pak smatra rad u tom pogledu završenim. Dalja će se nastojanja kretati prema gore nabačenim smjernicama.

*

Osobito je ugodna dužnost piscu, da izrazi zahvalnost predstojniku Fizikalnog zavoda zagrebačkog sveučilišta gosp. prof. dru. Stanku Honđu na pomoći, kojom je omogućio izvedbu ovog rada, kao i gg. profesorima dru. Dužanu Pejnoviću i dru. Marinu Kataliniću za mnoge dobre savjete. Cijela je aparatura izrađena u zavodskoj radionici.



Sl. 2.1.: Monokord – glazbeni instrument za visinu i boju tona u fizici



Sl.2.2.: Uporabom tog elektrodinamičkog monokorda prof. Lopatić je u disertaciji mjerio frekvenciju titranja: a) načelni prikaz i b) izvedba

Danijel Uvanović¹

ISTRAŽIVANJA ULTRAZVUČNIH POJAVA U FIZIKALNOM ZAVODU²

Tajne za ljudsko uho nečujne »glazbe«

Naravo ultrazvuka i metode ultraakustike – istraživanja dra Vatroslava Lopašića o ultrazvučnom interferometru s promjenljivom frekvencijom za mjerenje brzine zvuka.

Prikazujući 10. godišnjicu otkrića Ramanovog efekta u »Hrvatskoj Straži« br. 294 od 30. XII. 1938. bili smo spomenuli, da su u Fizikalnom zavodu na Filozofskom fakultetu Hrvatskoga sveučilišta u Zagrebu vršena i neka ispitivanja u vezi s tim efektom (Dr M. Katalinić) no i o t. zv. »ultrasonarnim« valovima s kojima se također bavi znameniti indijski učenjak C. V. Raman. Sada otkupljujemo tom zgodom dano obećanje, da ćemo se osvrnuti na originalna i posve nova ispitivanja koja je s ultrasonarnim valovima u tom zavodu izvršio Dr Vatroslav Lopašić čime je dao važne prinove modernoj fizikalnoj znanosti. Vatroslav Lopašić je o tome saopćio prvu raspravu pod naslovom »Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom« (Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, knjiga 263, pp. 55–94, 1938.), koja je primljena kao doktorska disertacija pa ćemo joj namijeniti nekoliko redaka.

Da prikazemo novija istraživanja ultrazvučnih pojava potrebno je ovaj predmet zahvatiti u širem opsegu i u razvojnim fazama.

Poznata su periodska brza gibanja atoma i molekula neke tekućine, plina ili nekog krutog tijela koja se manifestiraju kao zvuk koji pobuđuje naše slušne organe (uho) i mi velimo, da nešto čujemo. Zvuk dakle možemo neposredno našim čulima zamijeniti³ i mi smo u mogućnosti točno odgovoriti kolika je dužina

zvučnog vala, brzina rasprostiranja i kolik je intenzitet zvuka. No u zadnje vrijeme je uspjelo proizvesti i upoznati t. zv. »ultrazvučne« valove, koji su za ljudsko uho nečujni. Fizičari su otkrili prikladni izvor za zvuk vrlo visokih nečujnih frekvencija, t. j. magnetostruktivne i pjezo-električke štapove i ploče. Dok se na pr. niklenim štapovima pobuđenim na resonantno titranje na osnovu efekta magnetostruktivne dobiva intenzivan ultrazvuk do nekih 8.10^4 1/sek, dotle se ploče zgodno izrezane iz pjezo-električnih kristala mogu podržavati u mehaničkom titranju i do frekvencija $1.5.10^6$ 1/sek. Tako je pružena mogućnost, da se pitanja zavisnosti brzine zvuka o frekvenciji stavi na širu bazu, što je dovelo do znatnih eksperimentalnih teoretskih rezultata.

Zanimivo je što su sve fizičari izvukli iz ovih novih činjenica i do kakvih su spoznaja došli upotrebom ultrazvuka. Otkrili su disperziju zvuka u višeatomskim plinovima i s njom u vezi naročiti porast apsorpcije, koji kinetička teorija tumači konačnim i određenim vremenom, što je potrebno, da nastane ravnoteža između adiabatičkih promjena temperature u zvučnom valu i broja molekula, koje su pobuđene na titranje ili rotaciju. Kod kapljevine je pak prema teoretskim predviđanjima preveliki koeficijent apsorpcije uz nepromjenljivu brzinu kompresibilnih valova naveo Lucasa i Biquarda do novih pogleda u akustičku strukturu kapljevine i do otkrića difuzije ultrazvučne zrake.

Važna je i pojava ogiba svjetla na ultrazvučnim valovima koja je proučavana i u Fizikalnom zavodu na Filozofskom fakultetu Hrvatskoga sveučilišta u Zagrebu. Pred neko-

¹ Fizičar i publicist, strijeljan 1948. godine.

² Dnevnik Hrvatska Straža, 14. travnja 1939., br. 86., str. 5 (prepisak).

³ Tiskarska pogreška, umjesto »zamijeniti« treba »zamijeniti«.

liko godina su P. Debye i F. W. Sears (Proc. Nat. Acad. Sc., 18, p. 409, 1932.) te istovremeno R. Lucas i P. Biquard (Journ. Phys. & Radium, 7, p. 464, 1932.) otkrili pojav da ovi ultrazvučni valovi u tekućini izvedu ogib svjetlosti, što je L. Brillouin predvidio već 1914. god., a 1921. god. je točnije opisao i teoretski obradio ovakav ogib. Brillouin je pošao od Einsteinovih istraživanja o raspršivanju svjetlosti u tekućini u kojoj postoji termičko gibanje te je tako došao na pomisao, da raspršena svjetlost u stanovitom smjeru nastaje selektivnom (Braggovom) refleksijom primarnih zraka na ravnim frontama termičkih valova u tekućini. On je tada bio predložio, da se to eksperimentalno istraži tako, da se u tekućini umjetno izazovu najkraći valovi Langevinovom metodom. Jedanaest godina kasnije pokusi su zaista izvedeni (Cambridge u USA i Pariz), no nadenio nije bilo posve u skladu s teoretskim predviđanjima. Da pak protumači postanak pruga ogiba viših redova koje su dali intenzivni zvučni valovi razvio je Brillouin strožu teoriju mehanizma raspršivanja svjetlosti napuštajući ranije specijalne uvjete pri čemu se služi t. zv. Mathieuovim funkcijama pa se tako pojavljuju direktno prolazeći »Mathieuovi valovi« i reflektirani valovi suprotnog smjera. Tako je došao do rezultata koji vrijedi za optičku mrežicu kod čega računski izlaze kvalitativno opažene pojave.

Ultrazvučni valovi uslijed periodskih promjena tlaka i gustoće stvaraju u uzbuđenim tekućinama optičku nehomogenost, koja se vlada, krupno uzevši, kao optička mrežica s konstantom jednakom dužini vala. Ti su valovi proizvedeni Lengevinovom metodom, t. j. u visokofrekventnom električnom polju izvodí kvarcov kristal elastične titraje koji se prenose na okolno sredstvo.

Ovo otkriće pobudilo je, kako rekossno, mnoga teoretska istraživanja i dalo vrlo lijepu i jednostavnu metodu i za mjerenje brzine zvuka u tekućinama pa za određivanje kompresibilneta itd. Više eksperimentatora poslužiło se je ovom metodom. R. Bär (Nature,

135, p. 153, 1935.) je odredio brzinu zvuka u tekućem kisiku, a zatim u teškoj vodi upotreбивši samo 1 kubični cm ove tekućine. S. Parithasarathy je izveo ovakova mjerenja na velikom broju organskih tekućina o čemu je izvjestio u raspravama koje su izašle u »Proceedings of the Indian Academy of Sciences« (Bangalore) od god. 1935. Pa dalje i u fizikalnoj reviji »Current Science« od god. 1937. pa dalje.

Istraživanja pojava ogiba svjetlosti na ultrazvučnim radovima* u Zagrebu je provodio dr D. Pejnović (Glasnik Hrv. Prirodoslov. Društva, god. 41–48, p. 272, 1936.) koji se je ponavljajući zanimive pokuse o ogibu svjetlosti na ultrazvučnim valovima služio donekle modificiranim metodama Debye-Searsa i Bär-Meyera pa je pri tom izveo mjerenja kojima je odredio brzine zvuka u kisilolu i u vazelinskom ulju. Dr Pejnović je neke od tih zanimivih pokusa na zgodan način demonstrirao i u predavanjima u Pučkom sveučilištu.

Vatroslav Lopašić je svoja istraživanja usredotočio u problem usavršavanja ultrazvučnih metoda za mjerenje brzine zvuka. U svojoj raspravi ističe, da su metode, kojima se tu izvedu mjerenja brzine zvuka mnogo prikladnije od onih pri čujnim frekvencijama. U ultrazvučnom je području frekvencija lako realizirati zvučne zrake, t. j. ravni val bez ikakvih ograničenja sa strane pak prema tome otpadaju često velike korekcije koje treba uzeti u račun pri audiofrekventnim mjerenjima u cijevima. Aparature za te radove su jednostavne, potrebna količina istraživane tekućine je često vrlo mala, a u svemu su metode ispitivanja mnogo točnije od onih pri čujnim frekvencijama.

Autor je dao pregled raznih ultraakustičkih metoda mjerenja brzine zvuka, da dođe do Piercova »akustičnog interferometra« (Proc. Amer. Acad., 60, p. 271, 1925.), a zatim najprije u detaljno razrađenom teoretskom dijelu obrazlaže svoj novi princip akustičnog interferometra koji je od Piercova različit u tome, što radi s konstantnom uda-

ljenošću između pijezo-kvarca i reflektora, dok se mijenja frekvencija titranja. Odmah napominje, da je njegova metoda uporabiva samo za kapljevine radi selektivne resonancije pijezo-pločice u plinovima i jer je samo u kapljevinama brzina kompresionih valova nezavisna o frekvenciji. U teoretskom dijelu V. Lopašić obrađuje reakciju stupca tekućine na pijezo-pločicu, koja ga podržava u titranju; titranje pijezo-pločice; električni ekvivalent za pijezo-pločicu u dodiru sa stupcem tekućine; diskutira ekstrem snage, koja se troši na podržavanje titranja pijezo-pločice u dodiru sa stupcem tekućine; daje osnovnu relaciju interferometra s promjenljivom frekvencijom. Potom je autor detaljno razradio i praktički dio rasprave prikazavši redom mjerenje razlike frekvencija, udešavanje kivete, rad oscilatora za podržavanje titranja pijezo-pločice, a konačno uz shematski prikaz aparature iznosi i ocjenu točnosti njezinoga rada.

Prva pokusna mjerenja izvršio je V. Lopašić na transformatorskom ulju, a druga na ksilolu tvrtke Merck postigavši prvom i drugom zgodom u seriji opažanja očit sklad. Potom je mjerio brzinu zvuka u benzolu

(Schering-Kahlbaum A. G. Berlin, Benzolum «Kahlbaum» pro analysi 0605). Dobio je vrijednosti koje može usporediti s vrijednostima što su ih postigli E. B. Freyer, J. C. Hubbard i D. H. Andrews. Autor je potom izvršio mjerenja na dvostruko destiliranoj vodi tvrtke «Jugofarmacija» d. d. Zagreb te na apsolutnom alkoholu tvrtke E. Merck u Darmstadtu. Dobio je redom skladna mjerenja. Međusobni sklad mjerenja izvedenih pod istim uvjetima kao i sklad s rezultatima dobivenim drugim metodama jasno pokazuju, da bi se točnost pri ovom načinu dala još mnogo uvećati. U zaključnom dijelu svoje rasprave V. Lopašić ističe, da ovu metodu smatra naročito zgodnom za mjerenja pri temperaturama koje se znatno razlikuju od sobne bilo da su mnogo više ili mnogo niže. K tome dodaje, da je ovaj rad prva etapa; trebalo ne⁵ metodu interferometra s promjenljivom frekvencijom obrazložiti i s teoretske i s eksperimentalne strane. To je sada V. Lopašiću uspjelo pa će se nova nastojanja u smjeru nabačenih ideja dalje razvijati te se opravdano nadamo i drugim jednako zanimivim i za fizikalnu znanost važnim rezultatima. (du)

Napomena

Među bilješkama prof. Lopašića nađen je papirić s popisom svih onih kojima je namijenio disertaciju. Popis glasi:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Dr. Stanko Hondl | 12. Zlatko Janković |
| 2. Dr. Marin Katalinić | 13. Dr. Škreb (Stjepan Škreb) |
| 3. Dr. Dušan Pejnović | 14. Dr. Karlo Grimm? (nećitko) |
| 4. Božo Metzger | 15. Dr. Sreten Šljivčić |
| 5. Karla Heinzel | 16. Vitomir Pavlović |
| 6. Katusa Kranjc (Katarina Kranjc) | 17. Franjo Šimunović |
| 7. Dr. Lončar (Josip Lončar) | 18. Jakov Šeb |
| 8. Slava Lopašić | 19. Prilog prijavi za asistenta |
| 9. Ignacij Debeljuh? (nećitko) | 20. Pavao Krivačić |
| 10. Dr. Ljudevit Sladović | 21. Daniel Uvanović (Danijel) |
| 11. Hršak | 22. Ing. Ladislav Padjen |
| | 23. Mihovilić? (nećitko) |
| | 24. Vladimir Benčić |

⁵ Tiskarska pogreška, umjesto «ne» treba «jes».

-
- | | | |
|--|-----|----------------|
| 25. Ing. Oto Lukičić | 32. | } Natječaji |
| 26. Dr. Đuro Kurepa | 33. | |
| 27. Klub studenata matematike i fizike | 34. | |
| 28. Prof. Mile Cindrić | 35. | } ? (nečistko) |
| 29. Jurica Magdić | 36. | |
| 30. Lukić | 37. | |
| 31. Ing. Slišković (Josip) | | |

3. ČLANCI U FIZICI

Branko Hanžek¹

Profesor Lopašić svoje je prve znanstvene radove, počevši od doktorata, posvetio ultrazvuku i elektricitetu (posebice Teslinom transformatoru). Nakratko je pisao, u dva navrata, o radiotehnici, da bi se opet vratio ultrazvuku. Razlog je bio njegova suradnja s Jugoslavenskom akademijom znanosti i umjetnosti. No tehnička problematika bila mu je također zanimljiva pa je, zajedno sa Zlatkom Jankovićem, napisao članak o pokusu s fizikalnim njihalom u svezi s pojavama koje se vide kod rušenja tvorničkih dimnjaka. Njegova surad-

nja s JAZU rezultirala je odlaskom u inozemstvo i pisanjem dvaju članaka povezanih s tematikom električne struje pod utjecajem magnetskog polja i problemom određivanja ravnotežne staze čestica u ciklotronu. Kako je probleme klasične mehanike, klasične elektrodinamike i djelomično kvantne fizike obrađivao u svojim predavanjima (udžbenicima), posvetio se u jednom svom članku problematici mjerenja temperature primijenivši prikaz termodinamičkog karaktera.

Vatroslav Lopašić

ULTRSCHALLINTERFEROMETER MIT VERÄNDERLICHEN FREQUENZ

Bull. Int. Acad. Young. XXXII. 1939., str. 1-18 (posebna publikacija JAZU, u kojoj je napisan sažetak disertacije na njemačkom jeziku).

¹U tom radu i u disertaciji objavljena su teorijska i eksperimentalna istraživanja o ultrazvučnom interferometru s promjenljivom frekvencijom. Na početku disertacije u uvodu

Lopašić je istaknuo prednost ultrazvučne metode za mjerenje brzine zvuka pred onima na čujnim frekvencijama.

Lopašić je u teorijskom dijelu u tančine obradio problem mijenjanja anodne struje titrajnog kruga, koji podržava ultrazvučne titraje piezo-pločice. Ta pločica, uronjena

¹ Viši znanstveni suradnik, Zavod za povijest i filozofiju znanosti, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.

u kapljeviniu, služi kao generator, refleksijom dobivenih stojnih valova, kojima se frekvencija kontinuirano mijenja u nekom intervalu. Kao cilj disertacije postavio je zadatak da opiše i obrazloži, teorijski i eksperimentalno, načelo akustičkog interferometra različitog od starijih. U detaljno razradenu teorijskom dijelu obrazložio je svoje novo načelo interferometra koji je od starog različit po tome što radi sa stalnom udaljenošću između piezo-pločice i reflektora dok se mijenja frekvencija titranja. U starijim interferometrima udaljenost se mijenjala, a frekvencija titraja ostala je stalna. Pokazao je da reakcija kapljevine na piezo-pločicu prolazi kroz niz maksimuma i minimuma. Zbog toga i anodna struja prolazi kroz isti broj ekstrema. Ako kapljevina prođe kroz poznati broj potpunih ciklusa, dok se je frekvencija promijenila za unaprijed zadanu vrijednost, onda je brzina zvuka u istraženoj kapljevini, uz posebne uvjete, proporcionalna dvostrukoj, konstantnoj udaljenosti piezo-pločice od reflektora, i promjeni frekvencije; ona je obrnuto razmjerna korigiranoj vrijednosti broja potpunih ciklusa promjena, kojima je kapljevina prošla.

Vatroslav Lopašić

KAKO SAM IZVEO SEIBTOVE POKUSE

Nastavni vjesnik, knjiga XLIX (1940), str. 1-8

Članak je svojevrstan nastavak pisanja Dušana Pejnovića o tome da je Teslin transformator osnova prvog mjerača frekvencije (Slabyjeva multiplikacionog štapa), Oudinova rezonatora i Seibtova aparata. Objašnjenje Seibtovih pokusa Lopašić daje prema radu iz 1901. naglašavajući da je zavojnica kojom se visokofrekventni napon, koji tu zavojnicu pobuđuje na rezonantno titranje, mnogo puta povećava nazvana multipliktor – što je u stvari Teslin rezonator. Francuz Blondel

Napomenuo je da je njegova metoda uporabiva samo za kapljevine radi selektivne rezonancije piezo-pločice u plinovima, a i zbog toga jer je samo u kapljevinama brzina kompresijskih valova nezavisna o frekvenciji.

Prva pokusna mjerenja Lopašić je izvršio u transformatorskom ulju, a druga u ksilolu postigavši prvom i drugom zgodom u seriji opažanja očit sklad. Nakon toga mjerio je brzinu zvuka u benzolu i dvostruko destiliranoj vodi. Dobiveni rezultati slagali su se na manje od dva promila s vrlo točnim mjerenjima što su ih dobili drugi istraživači, pomoću ultrazvučnih interferometra osnovanih na načelu različitu od onog Lopašićeva. U zaključnom dijelu svoje disertacije Lopašić ističe da svoju metodu smatra naročito pogodnom za mjerenja pri temperaturama koje se znatno razlikuju od sobne (mnogo više ili mnogo niže).

Može se dakle smatrati da je eksperiment u potpunosti potvrdio teorijska Lopašićeva razmatranja. Tako je on učinio lijep doprinos problemu određivanja brzine zvuka u kapljevinama.

upozorio je da je zavojnica multiplikator bila poznata prije u Francuskoj kao Oudinov rezonator, a da je nova samo Seibtova teorija. Lopašić je dao i shemu uređaja za Seibtove pokuse s vrlo preciznim objašnjenjima, dao je i fotografije Seibtovih uređaja i zavojnice, sve to slikano iz ptičje perspektive. Na slici se vide elektromagnetski stojni valovi dobiveni tako da je na istu ploču posebno snimljena zavojnica, a posebno svjetlost od električnog izbijanja.

U članku je dragocjeno to što Lopašić iznosi svoja iskustva, precizno daje dimenzije svoje izvedbe uređaja i ukazuje na pogrešne crteže objavljene u Seibtovu radu iz 1903. godine. Piše da je tu pogrešku preuzeo i nekoliko poznatih udžbenika fizike, iako je nakon objavljivanja Seibt je tu pogrešku sam uočio i upozorio poslije na nju u istom časopisu, ali malo prekasno. Ta je pogreška izostavljena iz udžbenika tek 1938. godine.

U članku se daje i slika i opis pokusa s rezonancijom dviju obješenih Seibtovih za-

vojnica kao i slika i opis zavojnice, za mjenjače samoindukcije. Lopašić upozorava i na otklon proračuna osnovne frekvencije zavojnice od mjernih rezultata (račun 523,4kHz, mjereno 462,6kHz) dajući i tumačenje za to. Otklon su prouzročili zidovi sobe koji su povećali kapacitet zavojnice pa su snizili frekvenciju. Na kraju Lopašić ističe da je Seibt opisane pokuse modificirao tako da je umjesto veze jedne zavojnice s titrajnim krugom povezao dvije, koje su imale različite osnovne frekvencije.

Vatroslav Lopašić

KRISTALI KOJI ZVUČE

Priroda 30 (1940), str. 208–215

Na početku Lopašić ističe da se kristali razlikuju od svih ostalih materijala po tome što se u njima elementarne čestice slože tako da se jedan jednostavan poredak ponavlja na isti način. Daje primjer kristala kuhinjske soli (NaCl), opisuje poredak iona Na^+ i Cl^- , daje podatke o bridu kocke na čijim su krajevima ti ioni, čija je duljina $0,28 \mu\text{m}$ i s dvjema slikama rasporeda tih atoma dočarava kako od elementarne ćelije nastaje prostorna mreža kristala. Potom prelazi na kristale kremenja (kvarc, SiO_2), turmulina, Scignettove soli, naglašavajući da je raspored njihovih iona kompliciraniji, ali poznat, zahvaljujući ispitivanjima pomoću rendgenskih zraka. Zbog pojave piezoelektričnosti oni su po svojim svojstvima zanimljiviji nego kristali kuhinjske soli.

Lopašić napominje da su piezoelektrične pojave (efekte) otkrila braća Pierre i Jacques Curie godine 1880. Potpunosti radi valja istaknuti da je to pojava u kojoj zbog naprezanja kristala dolazi do toga da se na njihovim plo-

hama pojave pozitivni i negativni električni naboji. Postoji i obrat piezoelektrične pojave. Ističe se da se u tehnici i fizici upotrebljavaju naročito brušeni kremeniti kristali. Tako brušeni kristali imaju oblik pravokutnika ili okrugle pločice i imaju najjači piezoeфект.

Lopašić nabroja primjene takvih kristala spominjajući indikatore tlaka kod eksplozivnih motora, piezoelektrične mikrofone koji se koriste kod vaga za vrijeme te shematskim putem i slikovnim izričajem objašnjava načelo vage za vrijeme. Objašnjava da je za reguliranje hoda novoprodučenih satova najtočnija nulmetoda s pomoću koje se nastoji novoproduzvedeni sat sinkronizirati s referentnim.

Lopašić napominje da se inverzni piezoeфект koristi kada se želi da kristal bude izvor zvuka. Naglašava se da je tu naročito riječ o ultrazvuku koji u zraku ne dopire daleko, ali se dobro širi u tekućinama, s napomenom da se apsorbira to brže što mu je frekvencija viša.

Ultrazvuk je proizveo piezokristalima po prvi put Langevin 1917. godine. Iako se ultra-

zvuk ne može čuti, on se može vidjeti i fotografirati. Jedna od boljih metoda i načina jest metoda Dvořákových šlira. Lopašić daje fotosnimku ultrazvučnih valova u ksilolu koju je snimio. Titraji piezopločice osobito su jaki, a frekvencija postojana, što je važno za mnoge primjene, naročito u radiostanicama. Pred kraj članka

Lopašić daje slike likopodijških likova na jednoj kremenoj pločici za 16 vlastitih frekvencija, za što se koristio metodom Chladnijevih slika. Na kraju ističe da naoko piezoelektrične pojave, koje su se Curievim suvremenikima činile neznatnima, s budućim razvojem znanosti dolaze u praksi do velike važnosti.

Vatroslav Lopašić

ULAZNI I OSCILATORSKI KRUG MODERNOG SUPERA

Radio – časopis za amateere i tehničare, 2(1946)6, str. 177–181

Lopašić na početku ističe da je većini čitalaca poznata ideja po kojoj je konstruiran superheterodinski prijamnik ili super. Naka-na je da se proračuna titrajni krug modernog supera.

U superu se glavno visokofrekventno pojačanje i selekcija primljenih signala postiže na stalnoj međufrekvenciji f_m koja je izvan područja frekvencija što ih aparat prima, naglašava Lopašić. Naime sam super pomoću primljenih signala frekvencije f proizvodi u cijevi za miješanje izmjeničnu struju frekvencije f_m . Izmjenična struja međufrekvencije mora biti modulirana jednako kao i signali određene frekvencije što ih se prima. Ali u cijevi za miješanje stoga upravlja se i istodobno primljenim signalima frekvencije f i stalnim izmjeničnim naponom frekvencije f_0 koja je za f_m (međufrekvenciju) viša ili niža od f . Frekvenciju f_0 proizvodi super sam u titrajnom krugu. Znači: valja ujedno ugoditi ulazni krug na frekvenciju f i titrajni krug na frekvenciju f_0 za f_m različitu od f .

U prvim se superima jedna te ista stanica čula na dva položaja kondenzatora titrajnog kruga, naime kad je titrajni krug bio namješten na frekvenciju $f + f_m$ ili $f - f_m$. Stanica se izabirala pomoću dva gumba: jedan je bio za

ugađanje ulaznog kruga, a drugi za oscilatorski. Činilo se da će aparati s direktnim visokofrekventnim pojačanjem istisnuti super jer su imali izbor stanica jednim gumbom. Ipak, našao se način da se dimensionira titrajni krug supera uz pretpostavku da je promjenljivi kondenzator titrajnog kruga potpuno jednak ulaznom i da su oba na istoj osovini. To je učinjeno tako da se s promjenljivim kondenzatorom spoji u seriju odnosno paralelno po jedan stalni kondenzator tzv. *padding* odnosno *trimer*, a zavojnici titrajnog kruga se dā neki induktivitet L_0 koji je različit od induktiviteta L ulaznog kruga (v. sl. 1 u reprintu članka).

S jednim gumbom za namještanje stanica frekvencija oscilatora f_0 na tri mjesta skale točno je za f_m viša od rezonantne frekvencije ulaznog kruga. Na ostalim položajima to nije zadovoljeno, ali ta razlika nije tolika da bi utjecala na amplitudu izmjenične struje pobudene primanim signalima, pa je prijam dobar iako ulazni krug nije idealno ugođen. Odabirom vrijednosti L_0 , C_1 i C_2 mogu se te tri točke po volji razmjestiti na skali jednog valnog područja.

Lopašić daje formule za izračun veličina L_0 , C_1 i C_2 , daje i primjer s C_1 kapacitetom od 20 do 500 pF, $f_m = 467$ kHz, a traži se proračun

ulaznog i titrajnog kruga za područje od 500 kHz/s do 1500 kHz/s. Daje i rješenje za kapacitete $C_1 = 422,967$ pF, $C_2 = 119,496$ pF i $C_3 = 28,877$ pF točno izračunatih zbog toga jer se pomoću njih računaju veličine trimera, zavojnice i padinga. Pripadajuća frekvencija ulaznog kruga jest $f_1 = 540$ kHz, $f_2 = 920$ kHz i $f_3 = 1400$ kHz, kapacitet ulaznog trimera C_T izračunat je za ulazni krug i iznosi 40 pF a induktivitet zavojnice u tom krugu je $L = 187,63$ μ H. Isti proračun daje Lopašić i za titrajni krug pa kao rezultat dobije $L_0 = 102,06$ μ H i kapacitet padinga $C_p = 502,85$ pF, a kapacitet trimera $C_T = 54,095$ pF. Računski ispituje kolik je nesklad krugova za ostale položaje promjenljivog kondenzatora. Potražene su vrijednosti za $f = 500, 540, 600, 700, 800, 900, 920, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400$ i 1500 kHz, koje su prikazane u prvom stupcu tablice. Drugi stupac sadrži pripadne f_0 a treći vrijednosti $f_0 - 467$ kHz. Četvrti stupac u tablici sadrži vrijednosti Δf (u kilohercima počev od 3,4 do $-6,5$. Iz

tablice (trećeg stupca) se može razaznati da super prima područje od 503,4 do 1493,5 kHz, tj. malo uže nego se u zadatku traži. No svaki će praktičar smatrati to suženje beznačajnim. Želi li netko i frekvencije od 500 kHz i 1500 kHz uključiti u prijemno područje, trebao bi izvesti račun za područje od 490 do 1510 kHz. Novim zadatkom i računom Lopašić pokazuje da nije potrebno učiniti novi račun ako je početni i konačni kapacitet kondenzatora 9/10 početnog i konačnog kapaciteta kondenzatora za koji je prvotni proračun proveden. Pred kraj daje Lopašić i proračun u slučaju da promjenljivi kondenzator ima kapacitet od 40 do 500 pF, a sve ostalo je isto kao i u prvotnom zadatku.

Na kraju Lopašić naglašava da bi se proračun C_1, L_0, C_p trebao provesti za kratkovalno i dugovalno područje, i to u cijelosti. Izražava nadu da će prema uzoru na provedene proračune čitaoci sami riješiti svaki za sebe svoj problem.

Vatroslav Lopašić

MALENI KATODNI OSCIOGRAF

Radio - časopis za amatere i tehničare, 2(1946)11, str. 332-339

U početku članka Lopašić naglašava da se katodni oscilograf primjenjuje u znanosti, tehnici i industriji. On je također i važan dio suvremenog televizijskog prijemnika, osim što je i mjerni instrument. Pomoću njega možemo pratiti i mjeriti vrlo brze promjene struje i napona, dakle gotovo trenutačne vrijednosti unutar jedne milijuntinke sekunde. Na neki način, s pravom, mogli bismo ga nazvati mikroskopom za vrijeme, ističe Lopašić.

Iznesena je kratka povijest katodne cijevi od F. Brauna (1897.) do V. K. Zworykina i M. Ardennea (1930.). Naglašena je razlika u vezi s naponom između katode i anode i tlaka plina u cijevi za razne izvedbe cijevi. Na kraju tog povijesnog dijela naglašava da je u modernoj katodnoj cijevi postignuto fokusiranje katodnih zraka pomoću elektronskih leća.

Lopašić dalje opisuje katodnu cijev za katodni oscilograf. Bila je to vakuumska ka-

tozna cijev *Philips DG-7-1*; daje i fotografiju elektroda te cijevi te polushematski prikaz tih elektroda. Naglašava da u radijskim prijemnicima katode imaju potencijal koji se neznatno razlikuje od potencijala mase, a anode su na visokom pozitivnom potencijalu, za razliku od normalne upotrebe katodne cijevi, kada je katoda na velikom negativnom naponu prema masi katodnog oscilografa.

Lopašić slikom i opisom izražava otklon snopa katodnih zraka električkim poljem otklonskih pločica ističući da je otklon razmjernan naponu među pločicama. Jedan odlomak posvećuje i vremenskoj bazi, s naglaskom na tomu da je pomicanje mrlje u horizontalnom smjeru ono koje nadomješta pomicanje fotografske ploče. To se postiže drugim parom otklonskih pločica. Napon što ga daje vremenska baza treba se vladati po zakonu pilinih zubaca. Naime, ako je napon periodičan, vremenska je baza zgodno načinjena tako da brzo baci mrlju s kraja staze opet na početak pa ona započne jednoliko putovanje preko zastora iznova, a to je upravo oblik zuba pile koji se ponavlja. Dobili smo sljedeću situaciju: ako je frekvencija pilinih zubaca npr. četvrtina, trećina, polovina frekvencije (ili upravo jednaka frekvenciji) ispitivanog sinusoidalnog napona koji otklanja mrlju gore-dolje dobit ćemo mirnu sliku na zastoru cijevi. Ako je ispitivani sinusoidalni napon jednak nuli baš u času kad mrlja započne putovanje od lijeva na desno, ako smo odabrali frekvenciju pilinih zubaca koja je jednaka polovini frekvencije sinusoidalnog napona, tada mrlja nacrtat će točno dva vala ispitivanog napona putujući do desnog kraja zastora. No, tada ju pilasti napon naglo baci na početak staze pa počne crtati sljedeća dva vala sinusoide. Ta je druga slika potpuno jednaka prvoj, i za neko vrijeme opet isto.

Rezultat: na zastoru miruju dva vala ispitivanog napona. Lopašić potanko iznosi sve relevantne podatke za ispravljač za katodnu cijev. Daje shemu katodnog oscilografa (v. sl. 7 u reprintu članka) iznoseći i brojčane podatke svih dijelova: 19 otpornika (stalnih) s vrijednostima od 0,5 k Ω do 4 M Ω , 6 potenciometarskih otpornika s vrijednostima od 5 k Ω do 0,5 M Ω , 17 kondenzatora s vrijednostima od 150 pF do 50 μ F. Ispravljač, koji je potanko opisan, daje potrebni anodni napon od 800 V. Ističe da je taj ispravljač različit od uobičajenog koji se koristi u radioaparatu. Ukazuje da ako se nema posebna ispravljačka cijev, da se može koristiti i stara trioda, koja na vrhu balona ima anodu; to je cijev *Philips A435*. Najznačajnija komponenta oscilatora jest plinska cijev *Philips 4686* punjena argonom. Tako se u oscilografu, uz tri obične ispravljačke cijevi, nalazi i jedna plinska trioda. Daje i graf snimljene karakteristike te plinske cijevi. Uz to dana je i shema spoja za snimanje te karakteristike.

Nacrtan je također i načelni spoj vremenske baze s plinskom cijevi. Naglašeno je da frekvencija pilastog napona ovisi o stalnom naponu kojeg daje ispravljač, veličini stalnog otpora i o kapacitetu stalnog kondenzatora te o amplitudi promjena napona na tom kondenzatoru. Treba istaknuti da stalni napon nabija kroz stalni otpor stalni kondenzator.

Poseban dio posvećuje praktičkoj izvedbi vremenske baze. Uočena trapezna deformacija može se ukloniti tako da se pazi na faze napona koji se dovode na jednu i drugu otklonsku pločicu. Amplitude napona koji se dovode su jednake, a faze su protivne. Za tu je svrhu upotrijebljena cijev koja ima malen anodni kapacitet, konkretno *Tungram AR 4101*. Lopašić daje dvije fotografije izgrađe-

nog oscilografa, i to prikaz s prednje i stražnje strane. Ističe da frekvencija pilastog napona može biti od 10 do 40.000 Hz. Ako se žele veće frekvencije, potrebna je trioda s helijem, npr. *Philips 4690*.

Na kraju članka daje se nekoliko općenitih napomena o stavljanju oscilografa u po-

gon, zaštiti katodne cijevi od nekontroliranih električnih i magnetskih polja i o zaštiti od smetnji koje bi mogle doći po šasiji od željeznog lima. Autor izražava nadu da je oscilograf spreman za najrazličitija ispitivanja i ističe da će nekoja najznačajnija prikazati u posebnom članku.

Vatroslav Lopatić i sur.: H. Weinglass, Lj. Čeljuska

DIE GEWINNUNG EINIGER ANTIGENE MITTELS ULTRASCHALL

Schweiz. Zft. Path. Bakt. 15(1952), str. 322-330

Bez ulaženja u biološki dio članka (hrv.: Dobivanje antigena pomoću ultrazvuka), treba napomenuti da su istraživanja izvršena ultrazvukom proizvedenim pomoću oscilatora, koji pobuđuje piezoelektričnu kremenu pločicu, od koje ultrazvuk prelazi na parafinsko ulje. Ipak valja naglasiti dvije stvari. Prvo: ultrazvukom su tretirane klice streptokoka, u svezi s antigenom C, i klice salmonele, u svezi s antigenom Vi. Preciznije: klice su obasjavane ultrazvukom i oslobađale su se navedene antigene tvari. To je učinjeno u Laboratoriju za ultrazvuk Instituta za fiziku »Ruder Bošković«. Drugo: Pripadna bakteriološka istra-

živanja vršena su uglavnom u Bakteriološkom odjelu Higijenskog zavoda u Zagrebu. U tekućini se nalazi ampula, u kojoj je vodena suspenzija klica. Problem prijelaza ultrazvuka kroz dno ampule riješen je na taj način da je stakleno dno odbrušeno i nadomješteno celofanskom membranom debljine 0,1 mm. Uređaj je omogućio da se postigne amplituda ubrzanja od 150.000 g (g je ubrzanje sile teže).

Provedba tih istraživanja iziskivala je znatno eksperimentalno umijeće i rješavanje nekih teškoća, koje su prebrođene razmjerno jednostavnim sredstvima.

Vatroslav Lopatić i Z. Janković

JEDAN POKUS S FIZIKALNIM NJIHALOM

Glasnik mat. fiz. i astr. 1(1946)4, str. 145-167

Autori obrađuju ponajprije teoriju pojave koja se vidi kod rušenja tvorničkih dimnjaka. Tada se se otkida gornji dio. Na temelju te teorije autori su izradili eksperimentalni uređaj koji je s velikom točnošću potvrđivao njiho-

va teorijska razmatranja. Konstruirani uređaj savršeniji je od svih uređaja predloženih prije njihova. Detaljnije o tom pokusu može se naći u člancima prof. V. Henč-Bartolić i prof. M. Sedlačka.

Vatroslav Lopašić

THE ELECTROMAGNETIC CATENARY

Glasnik mat. fiz. i astr. 10(1955)3, str. 189–193

U radu »The electromagnetic Catenary« (Elektromagnetska lančanica) obrađuje se problem ravnoteže gipke, tanke i jednolične žice kojom teče stalna struja, a visi u vertikalnom homogenom magnetskom polju. U teorijskom razmatranju zanemareno je međusobno djelovanje pojedinih dijelova žice. Problem se rješava pomoću vektorskog računa te upotrebom cilindričnih koordinata.

Računom dobivena krivulja može se nazvati elektromagnetskom lančanicom. Pokazuje se da dobivena krivulja leži na kružnom uspravnom valjku te bi razmotavanjem toga valjka prešla u običnu lančanicu.

No, mogući su i slučajevi, uz određene uvjete spomenute u članku, kada elektromagnetska lančanica čini jednostavnu petlju i vodoravnu kružnicu.

Vatroslav Lopašić (i sur. Weglass, Čeljuska)

A NOTE ON THE WIRE LOOP METHOD FOR LOCATING THE MEDIAN PLANE IN A CYCLOTRON MAGNET

Glasnik mat. fiz. i astr. 10(1955)3, str. 195–198

U radu »A Note on the Wire Loop Method for Locating the Median Plane in a Cyclotron Magnet« (Prilog metodi žičane petlje za određivanje medijane ravnine ciklotronskog magneta) dan je novi fizikalni doprinos. To je svojevrsni nastavak članka o elektromagnetskoj lančanici. Na sveučilištu u Chicagu upotrebljena je za određivanje ravnotežne staze čestica u sinkrociklotronu žičana petlja kojom teče stalna struja i koja je poduprta u jednoj točki hidrometarskim plovkom. Lopašić je u svojem radu pokazao da se točka, u kojoj je petlja poduprta plovkom, nalazi vrlo približno u medijanoj ravnini magnetskog polja, ako promjena struje ne utječe na visinu plovske

Najprije je pokazano da se utjecaj radijalne komponente jakosti magnetskog polja na oblik žičane petlje, koja nastoji udaljiti petlju od medijane ravnine, može zanemariti. Oblik petlje je elektromagnetska lančanica.

No, u članku se koriste aproksimativne vrijednosti budući da se u računu zanemaruju članovi višeg reda dobivenog razvijanjem u red izraza za visinu. Kad se učini to zanemarenje visina iznad medijane ravnine je praktički jednaka nuli.

Također je pokazano, iz razmatranja horizontalne komponente sile, da se središte kružnice (nastale prijekcijom petlje) sasvim dobro podudara sa središtem magnetskog polja.

Vatroslav Lopašić

MEĐUNARODNA TEMPERATURNNA SKALA

Automatizacija (1965), str. 199–203

Na početku članka Lopašić naglašava da pojam temperature ide u red osnovnih pojmova fizike, te da se ne može definirati drugim pojmovima, a stvoren je izravno na osnovi iskustva. Fizika je zadovoljna ako se mogu ustanoviti propisi za mjerenje temperature tako da se ona može izraziti mjernim brojem i mjernom veličinom, nastavlja dalje Lopašić, uz komentar da je tada ta veličina (temperatura) za fiziku dovoljno određena.

Kada temperaturu umijemo mjeriti, onda možemo tražiti vezu između nje i ostalih veličina koje sudjeluju u nekom procesu, a nastavak naših aktivnosti jest u nastojanju izražavanja fizikalnih zakonitosti u matematičkom obliku, formulom. U tu formulu ulaze mjerne veličine prikazane kao opći brojevi koji su umnošci posebnog (mjernog) broja i mjere za određenu fizikalnu veličinu. U mehanici se kao osnovne (nezavisne) mjere za duljinu uzimaju metar, za masu kilogram, za vrijeme sekunda; ostale se mjere izvode. Taj se sustav mjera proširuje u elektricitetu definicijom osnovne mjere za električnu struju (amper), a u nauci o toplini definicijom temperaturnog stupnja.

Pozornost članka usmjerena je na propise koji određuju kako valja mjeriti temperaturu. Prije toga razmatraju se osnovne toplinske pojave i zakonitosti na osnovi kojih se oblikuje pojam temperature. Objašnjava se pojam toplinske ravnoteže za plin, unutarnja energija plina, količina topline, ciklus.

Prvi princip termodinamike sadrži tvrdnju da je unutarnja energija sustava varijabla stanja, a ta je tvrdnja ekvivalentna tvrdnji da je toplina jedan od oblika energije.

Slijedi kratko razmatranje koje pokazuje kako se može razlučiti intenzivna veličina od ekstenzivne, i to tako da se sastavljanjem dvaju sustava u jedan događa da intenzivna veličina ostaje nepromijenjena, a ekstenzivna postaje dvostruka. Temperatura je intenzivna veličina, u što se lako uvjeriti prilikom združivanja dva sustava u jedan koji ima jednaku temperaturu kao i odvojeni sustavi koji su prije združivanja imali jednaku temperaturu.

Potom se razmatra Carnotov kružni proces u svjetlu drugog principa termodinamike, s korištenjem jednoga od tri izričaja tog principa. Zašto Carnotov proces? Zato jer Carnotov kružni proces ima najveći stupanj djelovanja $\eta = (|Q_1| - |Q_2|)/|Q_1|$, gdje su Q_1 i Q_2 topline spremišta više i niže temperature.

Kada se primijeni drugi princip termodinamike u izraz za promjenu unutarnje energije ulazi i promjena (prirast) ekstenzivne veličine S (entropije!) koja je varijabla stanja.

Jednadžbe termodinamike ne određuju veličinu temperaturnog stupnja. Ta je veličina određena tako da je definirana temperatura trojne točke vode $T_A = 273,16$ K. Tako definirana temperaturna skala jest u termodinamičkim Kelvinovim stupnjevima. Iz termodinamičke temperature računa se termodinamička Celzijeva temperatura po formuli $T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$. Tako definirana temperaturna skala teško se ostvaruje pa je na osnovi prijašnjih zaključaka iz 1927. i 1948. definirana međunarodna praktična, Celsiusova temperaturna skala. Definicija se osniva na »fundamentalnim« i »primarnim« čvrstim točkama, tj. na vrelištima i talištima nekih tvari. Uz

standardni tlak od $1,01325 \cdot 10^5$ Pa u daljnjem se tekstu određuje koje su to tvari (led-voda, voda-para, sumpor, srebro, zlato).

Objašnjava se i pojam »sekundarna čvrsta« točka, određena ravnotežom krutog i kapljevito antimona uz standardni tlak, od $630,5^\circ\text{C}$.

Tih sekundarnih točaka utvrđeno je 1948. godine oko dvadesetak (za područje od 0°C do $630,5^\circ\text{C}$). Za područje od $-182,97^\circ\text{C}$ (točka kisika) do 0°C temperatura se definira formulom za promjenu otpora platinske žice s temperaturom – uključivši i četvrtu potenciju temperature, dok se isto tako temperature definiraju za područja od $630,5$ do $1063,0^\circ\text{C}$ (točka zlata) i područje iznad $1063,0^\circ\text{C}$. Pomoću međunarodne Celsiusove skele definira se međunarodna Kelvinova skala. Ta Kelvinova skala dobiva se pomakom nule za $273,15^\circ$ naniže. Lopasić ističe da umjeravanje stan-

dardnih termometara izvode specijalni laboratoriji za umjeravanje. Za mjerenje temperature u termodinamičkoj skali koristi se plinski termometar. Osvrće se na mjerenja u Massachusetts Institute of Technology (MIT) i u Physikalisch-technische Reichsanstalt (PTR), Leiden, uz osvrt na sistematske razlike između termodinamičke i međunarodne temperature te primjedbu da je razlika između tih dviju skala reda vijednosti pogreške mjerenja, tj manja od $0,05^\circ$.

Na kraju Lopasić daje sažetak, u kojem ističe da je međunarodna ili praktična temperaturna skala osnovana na dvije fundamentalne točke i četiri primarne točke za koje su definicijom određene temperature, te je propisano kako se temperature interpoliraju između tih točaka i iznad točke zlata, a razlike između termodinamičkih i međunarodnih skala mogu se u većini praktičnih mjerenja zanemariti.



SL.3.1.: Prof. Lopasić u svojoj kućnoj radnoj sobi

BULLETIN INTERNATIONAL

DE L'ACADÉMIE YOUGOSLAVE DES SCIENCES ET DES BEAUX-ARTS
CLASSE DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES
LIVRE XXXII. — 1939 (EXTRAIT)

Ultraschallinterferometer mit veränderlicher Frequenz.

Auszug aus „Rad“ Bd. 263, S. 55—94.

Von Vatroslav Lopašić.

1. Einführung.

Das akustische Interferometer von *Pierce* scheint die geeignetste Methode zur Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten zu sein¹⁾. Obgleich diese Methode im Prinzip einfach ist, so ist doch der bei ihr erreichte Genauigkeitsgrad

¹⁾ G. W. *Pierce*: Piezoelectric crystal oscillators applied to the precision measurement of the velocity of sound in air and CO₂ at high frequencies, *Proc. Amer. Acad. Boston* 60, 271 (1925). Zitiert nach *Physik. Ber.* 1412 (1926).

E. *Grossmann*: Ultraschall, *Wien-Harm's Handbuch der Experimentalphysik*, Bd. 17, Teil I, 519 (1934).

sehr hoch. Gegenüber der Stirnfläche eines den Ultraschall mit konstanter Frequenz emittierenden Piezoquarzes wird ein ebener Reflektor aufgestellt, welcher durch eine Mikrometerschraube verschoben werden kann. Der Raum zwischen Piezoquarz und Reflektor wird mit der Flüssigkeit, die zu erforschen ist, ausgefüllt. Dann wird in der Flüssigkeit durch das schwingende Piezoplättchen ein System stationären Wellen aufrechterhalten. Wird nun der Reflektor verschoben, so ändert sich periodisch mit der halben Wellenlänge des Ultraschalles in der Flüssigkeit auch die Reaktion der Flüssigkeit auf den Piezoquarz; hiemit ist eine Möglichkeit zur Bestimmung der Ultraschallwellenlänge gegeben. Wenn also die Reaktion der Flüssigkeitssäule, bei der Verschiebung des Reflektors um Δd , n vollständige Zyklen durchläuft, während die Schwingungsfrequenz ν konstant gehalten war, ergibt sich für die Ultraschallgeschwindigkeit v in der Flüssigkeit

$$v = 2 \nu \frac{\Delta d}{n} \quad (1)$$

Der Zweck dieser Arbeit ist die Beschreibung und theoretische und experimentelle Begründung eines Prinzips des akustischen Interferometers, der sich von dem oben beschriebenen dadurch unterscheidet, daß er mit konstantem Abstand zwischen dem Piezoquarz und Reflektor arbeitet, während die Schwingungsfrequenz geändert wird. Es wird sich erweisen, daß auch in diesem Falle die Flüssigkeitsreaktion auf das Piezoplättchen Maxima und Minima durchläuft. Wenn bei Frequenzänderung um $\Delta \nu$ die Flüssigkeitsreaktion n vollständige Zyklen ihrer Veränderungen durchläuft, während der Abstand d Piezoquarz-Reflektor konstant blieb, dann werden wir sehen, daß für die Schallgeschwindigkeit v in der zu erforschenden Flüssigkeit der Ausdruck

$$v = 2 d' \frac{\Delta \nu}{n'} \quad (2)$$

gültig ist, in welchem n' den korrigierten Wert von n bedeutet. Die Relation (2) ist ganz analog der Pierceschen, nur die Frequenz ν und der Abstand d haben ihre Rollen getauscht.

II. Theorie des Ultraschallinterferometers mit veränderlicher Frequenz.

Man kann theoretisch diese Methode auf ähnliche Weise behandeln, wie das Piercesche Interferometer von J. C. Hub-

hard bearbeitet worden ist⁷⁾. Diese Theorie ist analog jener von W. West, E. C. Wente und E. H. Bedell für die erzwungenen Schwingungen der Luftsäule in einer geschlossenen Röhre⁸⁾.

Der Abstand der Stirnfläche des schwingenden Piezoquarzes von dem Reflektor endlicher Dicke soll d sein. Der Raum zwischen Piezoplättchen und dem Reflektor und jener hinter dem Reflektor soll mit der zu erforschenden Flüssigkeit ausgefüllt sein. In folgenden Darlegungen werden wir weiter voraussetzen, daß die Wellen, welche durch den Reflektor gegangen sind, nicht darauf zurückkehren. Die Teilchengeschwindigkeit in einer Entfernung x von dem Piezoquarz ergibt sich dann als Summe jener Geschwindigkeiten, welche das Teilchen in dem direkten Wellenzug und in allen durch die sich wiederholenden Reflexionen entstandenen Wellenzügen haben würde. Wir werden in folgenden nur stationäre Schwingungszustände d. h. solche, für welche die oben erwähnte Summe als Grenzwert einer unendlichen Reihe angesehen werden kann, in Betracht ziehen.

Das Schwingen der Quarzstirnfläche und der anliegenden Flüssigkeitsteilchen soll durch den Ausdruck

$$\dot{\xi}_0 = \dot{\xi}_0 e^{i\omega t}, \quad (3)$$

gegeben sein. Dann läßt sich die direkte Welle in der Form

$$\dot{\xi}_1 = \dot{\xi}_0 e^{i(\omega t - kx) - \alpha x},$$

schreiben, wobei für ω die Kreisfrequenz des Ultraschallquarzes, für k die Wellenanzahl in der Flüssigkeit auf 2π cm und für α der Absorptionskoeffizient für die Geschwindigkeitsamplitude einzusetzen ist. Diese Welle wird vom Reflektor endlicher Dicke zurückgeworfen. Dabei erleidet sie eine Verkleinerung der Amplitude und einen Phasensprung⁹⁾. Die reflektierte Welle ist dann in der Beziehung

$$\dot{\xi}_2 = -\dot{\xi}_0 r e^{i\omega t - (2d - x)(k + \alpha) - i\varphi}$$

wiedergegeben. Diese Welle wird nach Erreichung des Piezoquarzes von diesem ohne Amplitudenänderung und mit entge-

⁷⁾ J. C. Hubbard: The acoustic resonator interferometer: I. The acoustic system and its equivalent electric network, Phys. Rev. (2) 38, 1011 (1931).

⁸⁾ A. H. Davis: Modern Acoustics 207, London 1934.

⁹⁾ J. W. Strutt (Lord Rayleigh): The Theory of Sound II, 83, London 1896.

gengesetzter Phase reflektiert. Dann wandert sie wieder dem Reflektor zu u. s. w. Die Teilchengeschwindigkeit in der Entfernung x wird dann durch die Formel

$$\xi_x = \sum_{n=1}^{\infty} \xi_n = \xi_0 e^{i\omega t} \frac{e^{-(ik+a)x} + r e^{-(ik+a)(2d-x)} - i\eta}{1 - r e^{-(ik+a)2d - i\eta}} \quad (4)$$

dargestellt. Der daraus resultierende Drucküberschuß ist in der Beziehung

$$p_x = \rho v \xi_0 e^{i\omega t} \frac{e^{-(ik+a)x} + r e^{-(ik+a)(2d-x)} - i\eta}{1 - r e^{-(ik+a)2d - i\eta}} \quad (5)$$

gegeben, in welcher für ρ die Flüssigkeitsdichte und für v die Ultraschallgeschwindigkeit zu setzen ist. Die Ausdrücke (4) und (5) unterscheiden sich wenig von den Hubbardschen und sind identisch mit den von A. H. Davis veröffentlichten. Als spezifische akustische Impedanz an der Stelle $x = 0$ ergibt sich

$$Z_0 = \frac{p_{x=0}}{\xi_{x=0}} = \rho v \frac{e^{2ad} - r^2 e^{-2ad} - i2r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2ad} + r^2 e^{-2ad} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \quad (6)$$

Die Leistung, die für das Aufrechterhalten der Schwingungen in der Flüssigkeit verbraucht wird, ist in der Relation

$$W = \frac{S \rho v \xi_0^2}{2} \frac{e^{2ad} - r^2 e^{-2ad}}{e^{2ad} + r^2 e^{-2ad} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \quad (7)$$

gegeben. In dieser Beziehung bedeutet S die Oberfläche des Piezoquarzes, welche mit der Flüssigkeit in Berührung steht.

Unsere Aufgabe ist nun festzustellen, unter welchen Bedingungen der Ausdruck (7) bei veränderlicher Frequenz Maxima und Minima zeigt. Daß man die Beziehung (7) solchen Betrachtungen unterziehen muß, folgt daraus, weil wir die Veränderungen in dem Interferometerkreise durch Beobachtung des Anodenstromes eines Röhrenoszillators, welcher den Piezoquarz erregt, betrachten wollen und weil dieser Strom in linearer Beziehung zur Leistung des Piezoquarzes steht.

Die Amplitude der Wechselspannung, welche auf den den Quarz enthaltenden Kondensator appliziert ist, soll konstant sein. Dann ist auch die Amplitude der Kraft, durch welche das Piezo-plättchen zum Schwingen gezwungen wird, konstant. Cody hat gezeigt, daß man das Verhalten eines Schwingquarzes in der Umgebung seiner Resonanzkreisfrequenz ω_0 durch Betrachtung der Schwingungen eines mechanischen Systems mit einem Frei-

heitsgrade wiedergeben kann⁹⁾. Die Bewegungsgleichung eines solchen Systems ist

$$M \frac{d^2 \xi}{dt^2} + N \frac{d \xi}{dt} + g \xi = F_0 e^{i\omega t}, \quad (8)$$

wobei $Cosy$ für M die halbe Masse der Piezoplatte für N ihre Dämpfung und für $g = M\omega_0^2$ setzte. Für die Amplitude F_0 der Kraft, die auf dieses System wirkt, ergab sich $F_0 = 2X$, wenn mit X jene Kraftamplitude bezeichnet wird, welche mit der auf den Piezoquarz aufgeprägten elektrischen Spannungsamplitude V_0 äquivalent ist. $Cosy$ ersetzt weiters dieses mechanische Hilssystem durch ein elektrisches. Für den Strom durch dieses System elektrischer Impedanzen ergibt sich dann die Gleichung

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{d I}{dt} + \frac{I}{C} = \alpha V_0 e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})}. \quad (9)$$

Die Koeffizienten in den Gleichungen (8) und (9) sind proportional und durch den verwendeten Ultraschallquarz bestimmt. Vollständige elektrische Ersatzschaltung für den Kondensator mit Piezoquarz als Dielektrikum erhält man, wenn zur Serie der in der Gleichung (9) vorkommenden elektrischen Impedanzen ein Kondensator mit konstanter Kapazität parallelgeschaltet wird.

Wenn der Piezoquarz in Berührung mit einer Flüssigkeitssäule steht, dann kann die Differenzialgleichung für das mechanische Ersatzsystem in der Form

$$M' \frac{d^2 \xi}{dt^2} + N' \frac{d \xi}{dt} + g' \xi = F_0 e^{i\omega t} - A Z_0 \dot{\xi} \quad (10)$$

geschrieben werden¹⁰⁾, in welcher durch Striche die Änderung der den Quarz ersetzenden Koeffizienten infolge Metalisierung und Befestigung des Piezoquarzes angedeutet ist, und A das Produkt aus dem Flächeninhalt der Quarzstimfläche und einer Konstante bedeutet, so daß das $A Z_0 \dot{\xi}$ eine der Flüssigkeitsreaktion äquivalente Kraft ausdrückt.

Wenn der Ausdruck (6) berücksichtigt wird, dann ergibt sich für die Geschwindigkeitsamplitude

⁹⁾ F. Bedeau: Le quartz piézoélectrique et ses applications dans la technique des ondes hertziennes, *Memorial Sci. Physiques* 6, 29–38, Paris 1928.

¹⁰⁾ H. A. Davis: *Modern Acoustics* 55.

$$i_0 = \frac{F_0}{\sqrt{\left(N' + A \rho v \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \right)^2 + \left(M' \omega - \frac{r^2}{\omega} - A \rho v \frac{2r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \right)^2}} \quad (11)$$

Diese Beziehung kann in die elektrische Schreibweise übertragen werden. Wir sehen, daß der von L' , R' und C' gebildeten Kette, welche den befestigten Piezoquarz ersetzt, noch die Impedanzen, die der Flüssigkeitssäule entsprechen, in Serie geschaltet werden sollen. Diese zweite Kette enthält mit kd veränderliche Glieder. Somit haben wir

$$\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right) = \text{konst.} \frac{-2r \sin(2kd + \varphi)}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \\ R^* = \text{konst.} \frac{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}{e^{2\alpha d} + r^2 e^{-2\alpha d} - 2r \cos(2kd + \varphi)}, \quad (12)$$

wobei mit L_1 , R^* und C_1 die die Flüssigkeitssäule ersetzenden Werte der Selbstinduktion, des Widerstandes und der Kapazität bezeichnet sind. Der Widerstand R^* kann in einen konstanten und einen veränderlichen Teil getrennt werden.

$$R^* = R_1 + R_2 = \text{konst.} \frac{e^{\alpha d} - r e^{-\alpha d}}{e^{\alpha d} + r e^{-\alpha d}} + R_2 \\ 0 \leq R_2 \leq \text{konst.} \frac{4r}{e^{2\alpha d} - r^2 e^{-2\alpha d}}$$

Dieser Kette elektrischer Impedanzen muß, um eine vollkommene Ersatzschaltung des Piezoquarzes in Berührung mit der Flüssigkeitssäule zu bekommen, noch eine konstante Kapazität K parallelgeschaltet werden. Die Impedanz dieses elektrischen Systems ist dann durch den Ausdruck

$$\frac{1}{Z_d} = i\omega K + \frac{1}{R' + R_1 + R_2 + i \left[\omega(L' + L_1) - \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{C'} + \frac{1}{C_1} \right) \right]}$$

gegeben und das Schaltbild in der Abb. 1.

Nachdem wir in der Beziehung (11) den Ausdruck für die Geschwindigkeitsamplitude gewonnen haben, können wir diesen Wert in die Formel (7) einsetzen. Dann kann diese in der Form

$$W(\omega, d) = f \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega}, k d \right) \frac{1}{e^{2\pi d} + r^2 e^{-2\pi d} - 2r \cos(2kd + \varphi)} \quad (13)$$

geschrieben werden.

Nach dieser Vorbereitung können wir zur eigentlichen Diskussion der Extreme der Leistung $W(\omega, d)$, welche von dem Röhrenoszillator zur Erhaltung der Schwingungen entnommen wird, übergehen. Damit der Ausdruck (13) für ein gewisses ω bei $d = \text{konst.}$ maximal oder minimal wird, muß die Bedingung

$$\begin{aligned} \frac{\partial W(\omega, d)}{\partial \omega} &= 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega} \right)} \left(M' + \frac{g'}{\omega^2} \right) \frac{\partial}{\partial d} + \frac{\partial f}{\partial (k d)} - \\ - \frac{f \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega}, k d \right) \cdot 4 r \sin(2 k d + \varphi)}{e^{2\pi d} + r^2 e^{-2\pi d} - 2 r \cos(2 k d + \varphi)} &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

erfüllt sein. Dabei haben wir die wesentliche Voraussetzung gemacht, daß im betrachteten Bereiche die Schallgeschwindigkeit von der Frequenz unabhängig ist. Im Ausdrucke (14) sind weiters die Glieder, in welchen $\frac{\partial \pi}{\partial \omega}$ als Faktor vorkommt, als sehr klein, vernachlässigt worden.

Die Bedingung (14) ist wegen ihrer verwickelten Gestalt mathematisch schwer zu behandeln, deshalb wird zu erst experimentell gezeigt werden, daß das Glied $\frac{\partial f}{\partial (k d)}$ vernachlässigt und die anderen Glieder vereinfacht werden können. Um das zu erreichen, werden wir die Bedingung für ein Minimum der der Funktion $W(\omega, d)$ bei veränderlichen d und konstanten ω experimentel studieren (Piercesche Methode). Diese lautet:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W(\omega, d)}{\partial d} &= 0 \\ \frac{\partial f}{\partial (k d)} - \frac{f \left(M' \omega - \frac{g'}{\omega}, k d \right) \cdot 4 r \sin(2 k d + \varphi)}{e^{2\pi d} + r^2 e^{-2\pi d} - 2 r \cos(2 k d + \varphi)} &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

In dieser Beziehung sind die Glieder, welche den Absorptionskoeffizienten α als Faktor enthalten, vernachlässigt. Wir sehen

registrierten Kurven sind zum Teil in der Abb. 2 reproduziert. Das Interferometer war mit Transformatoröl gefüllt. Die Kurven für andere tropfbare Flüssigkeiten unterscheiden sich nicht wesentlich von den reproduzierten und zeigen alle, daß die Wurzeln der Gleichung (16) die Werte ergeben, für welche $W(\omega, d)$ bei $\omega = \text{konst.}$ extrem wird. Das bedeutet, daß der Einfluß des Gliedes $\frac{\partial f}{\partial (k d)}$ auf die Lage der Extreme bedeutungslos klein ist³⁾.

Da wir die Abhängigkeit der Funktion $f(M'\omega - \frac{R'}{\omega}, k d)$ von $k d$ nicht berücksichtigen müssen, kann sie annäherungsweise durch

$$f\left(M'\omega - \frac{R'}{\omega}, k d\right) = \frac{1}{2} \frac{F_0 S \rho v (e^{2nd} + r^2 e^{-2nd})}{(N' + A \rho v)^2 + \left(M'\omega - \frac{R'}{\omega}\right)^2} \quad (17)$$

ersetzt werden, und die Beziehung (14) geht in

$$\begin{aligned} \sin(2kd + \varphi) &= \\ &= \frac{v\left(M'\omega - \frac{R'}{\omega}\right)\left(M'\omega + \frac{R'}{\omega}\right)(e^{2nd} + r^2 e^{-2nd} - 2r \cos(2kd + \varphi))}{2rd \left[(N' + A \rho v)^2 + \left(M'\omega - \frac{R'}{\omega}\right)^2\right]} \quad (18) \\ &= B \end{aligned}$$

über. Man sieht sofort ein, daß die Existenz von Extremen der Funktion $W(\omega, d)$ bei veränderlichen ω durch die Beziehung $|B| < 1$ bedingt ist. Die Größe $|B|$ wird annähernd maximal für Kreisfrequenzen, welche sich aus der Gleichung

$$(N' + A \rho v)^2 = \left(M'\omega - \frac{R'}{\omega}\right)^2 \quad (19)$$

ergeben. Wir betrachten nämlich nur die Umgebung der Resonanzkreisfrequenz ω_0 . Demnach ist die Bedingung, daß die Extreme bei veränderlichen ω in der ganzen Umgebung von ω_0 nicht verschwinden, in der Beziehung

$$\frac{v\left(M' + \frac{R'}{\omega_0^2}\right)(e^{2nd} + r e^{-2nd})^2}{4rd} < N' + A \rho v \quad (20)$$

³⁾ Diese Erscheinungen können auch durch die Wien'sche Theorie der Koppelschwingungen gedeutet werden. Sie sind vollkommen analog jenen bei der Zungenpfeife mit dem Ansatzrohr, wie das aus der Arbeit von H. Vogel: Die Zungenpfeife als gekoppeltes System. Ann. Physik 62, 247 (1920), zu ersehen ist.

registrierten Kurven sind zum Teil in der Abb. 2 reproduziert. Das Interferometer war mit Transformatoröl gefüllt. Die Kurven für andere tropfbare Flüssigkeiten unterscheiden sich nicht wesentlich von den reproduzierten und zeigen alle, daß die Wurzeln der Gleichung (16) die Werte ergeben, für welche $W(\omega, d)$ bei $\omega = \text{konst.}$ extrem wird. Das bedeutet, daß der Einfluß des Gliedes $\frac{\partial f}{\partial (k d)}$ auf die Lage der Extreme bedeutungslos klein ist³⁾.

Da wir die Abhängigkeit der Funktion $f(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, k d)$ von $k d$ nicht berücksichtigen müssen, kann sie annäherungsweise durch

$$f(M'\omega - \frac{g'}{\omega}, k d) = \frac{1}{2} \frac{F_0 S \rho v (e^{2\omega d} - r^2 e^{-2\omega d})}{(N' + A \rho v)^2 + (M'\omega - \frac{g'}{\omega})^2} \quad (17)$$

ersetzt werden, und die Beziehung (14) geht in

$$\begin{aligned} \sin(2kd + \varphi) = \\ = \frac{v(M'\omega - \frac{g'}{\omega})(M'\omega + \frac{g'}{\omega})(e^{2\omega d} + r^2 e^{-2\omega d} - 2r \cos(2kd + \varphi))}{2rd[(N' + A \rho v)^2 + (M'\omega - \frac{g'}{\omega})^2]} \quad (18) \end{aligned}$$

= B

über. Man sieht sofort ein, daß die Existenz von Extremen der Funktion $W(\omega, d)$ bei veränderlichen ω durch die Beziehung $|B| < 1$ bedingt ist. Die Größe $|B|$ wird annähernd maximal für Kreisfrequenzen, welche sich aus der Gleichung

$$(N' + A \rho v)^2 = (M'\omega - \frac{g'}{\omega})^2 \quad (19)$$

ergeben. Wir betrachten nämlich nur die Umgebung der Resonanzkreisfrequenz ω_0 . Demnach ist die Bedingung, daß die Extreme bei veränderlichen ω in der ganzen Umgebung von ω_0 nicht verschwinden, in der Beziehung

$$\frac{v(M' + \frac{g'}{\omega_0^2})(e^{\omega_0 d} + r e^{-\omega_0 d})^2}{4rd} < N' + A \rho v \quad (20)$$

³⁾ Diese Erscheinungen können auch durch die Wien'sche Theorie der Koppelschwingungen gedeutet werden. Sie sind vollkommen analog jenen bei der Zungenpfeife mit dem Ansatzrohr, wie das aus der Arbeit von H. Vogel: Die Zungenpfeife als gekoppeltes System. Ann. Physik 62, 247 (1920), zu ersehen ist.

Dann wird

$$|B| < \frac{\pi}{2 r d \Delta \omega} (e^{\alpha d} + r e^{-\alpha d})^2 = \frac{1}{88 \pi r} (e^{\alpha d} + r e^{-\alpha d})^2. \quad (21)$$

Da angenähert $\alpha = 0$, $r = 1$ gilt, so sehen wir, daß für diesen Fall die Bedingung für ein Extrem von $W(u, d)$ bei veränderlichen u mit genügender Genauigkeit durch die Gleichung

$$\sin(2 k d + \varphi) = 0 \quad (22)$$

ersetzt werden kann.

Nehmen wir jetzt an, daß $W(u, d)$ bei konstanten d für ein bestimmtes ω_1 , $\omega_2 - \omega_1 > 2\pi \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sec}}$ maximal war, dann genügt dieses ω_1 der Gleichung (22). Wenn wir von diesem ω_1 ausgehend die Frequenz der Schwingungen bis zu einem ω_2 steigern, $\omega_2 - \omega_1 > 2\pi \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sec}}$ für welchen wieder die Funktion $W(u, d)$ maximal ist, dann ist auch für dieses ω_2 die Gleichung (22) erfüllt. Wenn wir weiters bei der Frequenzerhöhung im Intervall (ω_1, ω_2) $n - 1$ Maxima von der Leistung aufgezehlt haben, dann ist der Zuwachs des Argumentes der periodischen Funktionen durch den Ausdruck

$$(2 k_2 d + \varphi_2) - (2 k_1 d + \varphi_1) = 2 n \pi \quad (23)$$

gegeben, wo mit k_1 und k_2 die entsprechende Werte von k bezeichnet sind. Setzt man für $k = \frac{2\pi\nu}{v}$, geht (23) in

$$\varphi = \frac{4\pi d (\nu_2 - \nu_1)}{2\pi n - (\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (24)$$

über. In dieser Relation für die Schallgeschwindigkeit v sind alle Größen der Messung zugänglich, mit Ausnahme der Änderung des Phasensprungs. Deshalb werden wir die Dicke l des Reflektors so wählen, daß die Größe $\varphi_2 - \varphi_1$ unabhängig von der verwendeten Flüssigkeit ihren Wert behält. Es ist nämlich nach Rayleigh⁴⁾

$$tg\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{VP}{\pi P} + \frac{\pi P}{VP} \right) tg \frac{\pi}{V} l,$$

wobei für V die Schallgeschwindigkeit im Reflektormaterial und für P seine Dichte einzusetzen ist. Die Dicke l wählen wir so, daß die Bedingungen

Dann wird

$$|B| < \frac{v}{2r d \Delta \omega} (e^{2d} + r e^{-2d})^2 = \frac{1}{88 \pi r} (e^{2d} + r e^{-2d})^2. \quad (21)$$

Da angenähert $\alpha = 0$, $r = 1$ gilt, so sehen wir, daß für diesen Fall die Bedingung für ein Extrem von $W(\omega, d)$ bei veränderlichen ω mit genügender Genauigkeit durch die Gleichung

$$\sin(2kd + \varphi) = 0 \quad (22)$$

ersetzt werden kann.

Nehmen wir jetzt an, daß $W(\omega, d)$ bei konstanten d für ein bestimmtes ω_1 , $\omega_0 - \omega_1 > 2\pi \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sec}}$ maximal war, dann genügt dieses ω_1 der Gleichung (22). Wenn wir von diesem ω_1 ausgehend die Frequenz der Schwingungen bis zu einem ω_2 steigern, $\omega_2 - \omega_1 > 2\pi \cdot 2,2 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{sec}}$ für welchen wieder die Funktion $W(\omega, d)$ maximal ist, dann ist auch für dieses ω_2 die Gleichung (22) erfüllt. Wenn wir weiters bei der Frequerhöhung im Intervall (ω_1, ω_2) $n - 1$ Maxima von der Leistung aufgezählt haben, dann ist der Zuwachs des Argumentes der periodischen Funktionen durch denn Ausdruck

$$(2k_2 d + \varphi_2) - (2k_1 d + \varphi_1) = 2n\pi \quad (23)$$

gegeben, wo mit k_1 und k_2 die entsprechende Werte von k bezeichnet sind. Setzt man für $k = \frac{2\pi v}{v}$, geht (23) in

$$v = \frac{4\pi d (v_2 - v_1)}{2\pi n - (\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (24)$$

über. In dieser Relation für die Schallgeschwindigkeit v sind alle Größen der Messung zugänglich, mit Ausnahme der Änderung des Phasensprunges. Deshalb werden wir die Dicke l des Reflektors so wählen, daß die Größe $\varphi_2 - \varphi_1$ unabhängig von der verwendeten Flüssigkeit ihren Wert behält. Es ist nämlich nach Rayleigh⁴⁾

$$tg\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{VP}{v\rho} + \frac{v\rho}{VP} \right) tg \frac{\omega}{v} l,$$

wobei für V die Schallgeschwindigkeit im Reflektormaterial und für P seine Dichte einzusetzen ist. Die Dicke l wählen wir so, daß die Bedingungen

12^{*}

Bulletin International.

$$\begin{aligned} \lim_{\omega \rightarrow \omega_1 + 0} \operatorname{tg} \frac{\pi}{V} l &= -\infty \\ \lim_{\omega \rightarrow \omega_2 - 0} \operatorname{tg} \frac{\pi}{V} l &= +\infty \end{aligned} \quad (25)$$

erfüllt sind, während im Intervall (ω_1, ω_2) diese Größe endlich bleibt. Dann wird immer $\tau_2 - \tau_1 = \pi$ sein, und die Beziehung (24) geht in

$$v = \frac{2d(\nu_2 - \nu_1)}{n - \frac{1}{2}} \quad (26)$$

über. Es sei bemerkt, daß die Frequenzänderung von ν_1 zu ν_2 bei konstanter Temperatur der Flüssigkeit vorzunehmen ist.

Für solche ω_1 und ω_2 ist die Dicke l durch den Ausdruck

$$l = \frac{V\pi}{\omega_2 - \omega_1} \quad (27)$$

gegeben.

III. Praktische Ausführung einer Versuchsanordnung des Ultraschallinterferometers mit veränderlicher Frequenz.

Auf Ergebnissen der vorangehenden Betrachtungen fußend wurde eine Versuchsanordnung des Ultraschallinterferometers mit veränderlicher Frequenz konstruiert. Um die Schallgeschwindigkeit v zu bestimmen, müssen zwei Größen $(\nu_2 - \nu_1)$ und d gemessen werden, während n abgezählt wird, wie aus der Formel (26) zu ersehen ist.

Die Größenordnung der Frequenzen ν_1 und ν_2 ist durch die Eigenfrequenz ν_0 des verwendeten Ultraschallquarzes bestimmt. In unserer Versuchsanordnung war $\nu_0 = 3,05 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{sec}}$ was mit der Quarzdicke von 0,093 cm in der Richtung der elektrischen Achse in Übereinstimmung steht. Die Quarzstrahlfläche hatte einen Flächeninhalt von $2,5 \cdot 2,5 \text{ cm}^2$. Zuerst wurde das Frequenzintervall, in welchem Maxima und Minima des Anodenstromes bei veränderlicher Frequenz noch gut beobachtbar sind, bestimmt. Dies ergab sich zu $|\nu - \nu_0| \leq 4 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sec}}$.

Zieht man noch die Voraussetzungen in Betracht, die zur Beziehung (21) führten, so sind die Frequenzen ν_1 und ν_2 durch Ungleichungen

$$2,65 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}} \leq \nu_1 \leq 2,83 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}} \quad (28)$$

$$3,27 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}} \leq \nu_2 \leq 3,45 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}}$$

beschränkt. Wegen der Forderung (25) müssen ν_1 und ν_2 der Beziehung

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{2p-1}{2p+1} \quad (29)$$

genügen, wobei p eine ganze Zahl ist. Durch die Formel (27) ist auch die Differenz dieser Frequenzen durch die Reflektordicke bestimmt. Daraus folgt, daß man für ν_1 und ν_2 feste Werte nehmen müßte. Die Werte, für welche

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{9}{11} \quad (30)$$

erfüllt ist, scheinen am besten den Forderungen (28) und (29) zu entsprechen. Die Frequenzen ν_1 und ν_2 sind weiters solche, für welche die Leistung $W(u, d)$ ein Extrem zeigt. Die Reihe solcher Frequenzen ist diskret, und daraus folgt, daß die Forderung (29) nur annäherungsweise erfüllt sein kann.

Um den theoretischen Forderungen möglichst nahe zu kommen, wurde die Messung der Frequenzen ν_1 und ν_2 mit Hilfe eines quarzgesteuerten Oszillators vorgenommen. Für die Steuerung stand ein Quarz von der Firma Dr. Steeg & Reuter in Verwendung. Nach der Angabe des Herstellers ist seine Eigenfrequenz $\nu_0 = 2,97458 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}}$. Der neunte und elfte Oberton

dieser Grundfrequenz genügen natürlich automatisch der Bedingung (30). Wir müssen also zu diesen Obertönen die nächstliegenden Frequenzen ν_1 und ν_2 aufsuchen, die Differenztöne

$$\delta_1 = |\nu_1 - 9\nu_0| \text{ und } \delta_2 = |\nu_2 - 11\nu_0| \quad (31)$$

abmessen und ihre Vorzeichen bestimmen.

Wir werden verlangen, daß

$$\delta_1, \delta_2 \leq 2,5 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}} \quad (32)$$

erfüllt sei. Dann folgt bei Berücksichtigung der Relation (26)

$$\delta_1, \delta_2 \leq \frac{1}{2} \frac{\nu_2 - \nu_1}{n - \frac{1}{2}} = \frac{\nu}{4d} \leq 2,5 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{sec}}. \quad (33)$$

Nehmen wir nun an, es sei $v = 1,8 \cdot 10^3 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ größte vorkommende Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten, dann bekommt man

$$d \geq 18 \text{ cm} \quad (34)$$

als untere Grenze der Länge für die Flüssigkeitssäule.

Da die Differenztöne $\tilde{\nu}_1$ und $\tilde{\nu}_2$ akustische Töne sind, konnten sie mit Hilfe eines elektrodynamischen Monochordes gemessen werden. Es wurde die Konstruktion von L. V. King gewählt¹⁹⁾. Der Apparat ist in einfacher Form ausgeführt, da für die Messung von $\tilde{\nu}_1$ und $\tilde{\nu}_2$ keine besonders große Genauigkeit verlangt wird, nachdem sie der Größe $2\nu_2$ zugezählt werden, welche mehr als hundert mal größer als die Summe $\tilde{\nu}_1 + \tilde{\nu}_2$ ist.

Der Meßbereich des verwendeten Monochordes war $50 \frac{1}{\text{sec}} \leq \tilde{\nu} \leq 3,5 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{sec}}$ von genügender Breite.

Die Genauigkeit, mit welcher durch diese Anordnung die Frequenzdifferenz $\nu_2 - \nu_1$ gemessen werden kann, ist durch eingehendere Betrachtungen auf 0,03% abgeschätzt worden.

Das längliche Gefäß für dieses Interferometer ist aus Messing hergestellt. Auf der einen Seite wurde der Piezoquarz und ihm gegenüber der Reflektor, gleichfalls aus Messing eingesetzt. Die Dicke des Reflektors $l = 0,3 \text{ cm}$ ergab sich aus der Formel (27), wobei für $V = 3,57 \cdot 10^3 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ ²⁰⁾ eingesetzt wurde. Der Reflektor steht von der Gefäßwand ab und der Zwischenraum ist mit Watte ausgefüllt, damit die aus dem Reflektor austretenden Wellen gedämpft werden. Die Länge der Flüssigkeitssäule, nämlich die Entfernung des Reflektors von der Stirnfläche des Piezoquarzes, ist mittels eines Komparators mit einem Meter aus Invar verglichen worden. Dabei ergab sich $d = 21,708 \text{ cm}$ mit der Genauigkeit 0,02%.

Die Temperatur der Interferometerflüssigkeit wurde ständig mittels zweier kalorimetrischer Thermometer, die von dem

¹⁹⁾ A. H. Davis: *Modern Acoustics* 162.

²⁰⁾ Landolt-Börnstein: *Physikalisch-Chemische Tabellen* II, 1630, (1925).

Gefäßdeckel getragen sind, kontrolliert. Eines von diesen befand sich in der Nähe des Quarzes und das andere an dem Reflektor natürlich außerhalb des Ultraschallstrahles. So ist die Möglichkeit gegeben, einen eventuellen Temperaturgradient in der Flüssigkeit feststellen zu können. Um eine größere Temperaturbeständigkeit zu erreichen, war das ganze Gefäß in ein Wasserbad eingetaucht.

Für den Oszillator, der die Schwingungen im Interferometer aufrecht hält, ist die gewöhnliche Dreipunktschaltung gewählt. Die Kapazität des Oszillators ist auf zwei Kondensatoren verteilt. Bei einem ständigen Werte des ersten geht die Schwingungsfrequenz beim Durchdrehen des zweiten das ganze Intervall ($9\nu_0$, $11\nu_0$) durch. Der Heizstrom, die Anodenspannung (10V gemessen von dem negativen Punkte der Kathode) für den Oszillator, sowie der Kompensationsstrom wurden den Bleiakkumulatoren entnommen. Wegen der niedrigen Anodenspannung ist die Leistung des Oszillators ganz gering. Für größere Leistungen zeigten die erwähnten Thermometer deutlich die Temperaturinhomogenität der Flüssigkeit an. Die Änderungen des Anodenstromes wurden mittels eines aperiodischen Spiegelgalvanometers beobachtet.

Das Verfahren beim Messen wird in eine vorbereitende und die eigentliche Messung eingeteilt. In der Vorbereitung wird zuerst die Frequenz ν_1 jenes Anodenstromminimums, welches der Frequenz $9\nu_0$ am nächsten liegt, bestimmt. Dann wird durch das Drehen des Oszillatorkondensators die Frequenz kontinuierlich erhöht, und dabei werden die Maxima des Anodenstromes gezählt, bis zur Erreichung des Anodenstromminimums, welches der Frequenz $11\nu_0$ am nächsten liegt. Die Frequenz von diesem Minimum soll ν_2 und die Anzahl der Maxima im Intervall (ν_1 , ν_2) soll n sein. Das ganze System, der Anodenstromextreme verschiebt sich nicht gegen die Frequenzskala, wenn die Temperatur nicht geändert wird. Selbst kleine Temperaturvariationen aber verursachen verhältnismäßig große Frequenzverschiebungen. Um dieser Fehlerquelle auszuweichen wird bei der eigentlichen Messung die Frequenz schnell von ν_1 zu ν_2 und umgekehrt verändert, während die Anzahl der Anodenstrommaxima aus der vorbereitenden Messung bekannt ist. Es wird die Frequenz eines Minimums bestimmt, weil sich die Frequenz der

Schwingungen beim Drehen des Kondensators in einem Minimum langsamer ändert als in einem Maximum, was leicht aus den Beziehungen (12) einzusehen ist.

Endlich werden wir die Genauigkeit der konstruierten Apparatur abschätzen. Zum Fehler bei der Messung der Frequenzdifferenz $\nu_2 - \nu_1$, den wir auf 0,03% geschätzt haben, tritt noch der Fehler bei der Abstimmung des Kondensators auf das Anodenstrom-Minimum hinzu. Den gesamten Fehler bei der Frequenzmessung können wir auf 0,07% abschätzen. Die Länge d der Flüssigkeitssäule ist auf 0,02% bestimmt. Endlich ergeben sich noch die Fehler wegen der Temperaturvariationen und beim Ablesen der Temperatur. Wird das alles in Betracht genommen, so können wir für die Schallgeschwindigkeit c mit einer Genauigkeit von mindestens 0,2% rechnen.

Die ganze Apparatur ist in der Abb. 3. schematisch wiedergegeben. Man sieht, daß die einfachste Ausführung gewählt ist.

IV. Die Messungen.

In folgenden werden wir einige Resultate der Messungen an gut definierten und möglichst reinen Flüssigkeiten anführen. Es wurde für das Benzol bei 20,95°C für die Schallgeschwindigkeit $c(20,95^\circ) = 1,3179 \cdot 10^3$ cm/sec erhalten. Dieser Wert ist das arithmetische Mittel aus 19 Messungen bei derselben Temperatur. Die Streuung einzelner Messungen ist $1,6 \cdot 10^2$ cm/sec. Nach den Messungen von E. B. Freyer, J. C. Hubbard und D. H. Andrews mit Piercescher Methode ergibt sich für $c(20,95^\circ) = 1,3192 \cdot 10^3$ cm/sec.¹³⁾ Dieser Wert ist um 0,1% größer von dem gemessenen.

Ähnliche Resultate wurden für destilliertes Wasser erhalten. Wir werden diese in einer Tabelle wiedergeben und zum Vergleich die Werte, die sich aus den Messungen von J. C. Hubbard und A. L. Loomis ergeben,¹⁴⁾ beifügen,

¹³⁾ Landolt-Börnstein: Physikalisch-Chemische Tabellen II. Erg. Bd. 1635 (1931).

¹⁴⁾ J. C. Hubbard and A. L. Loomis: The Velocity of Sound in Liquids at High Frequencies by the Sonic Interferometer, Philosophic. Mag. (7) 5, 177 (1928).

V. Lopaić: Ultraschallinterferometer mit veränderlicher Frequenz.

17

Temperatur	v cm/sec	Hubbard, Loomis
20,90	$1,4844 \cdot 10^5$	$1,4869 \cdot 10^5$
20,95	1,4853	1,4870
21,65	1,4887	1,4892
23,60	1,4931	1,4946

Das sind Einzelmessungen oder Mittel aus einer kleinen Zahl der Messungen.

Von einem gewissen Interesse ist das Resultat für den absoluten Alkohol. Es ist für die Temperatur von $23,30^\circ\text{C}$ gemessen $v = 1,1496 \cdot 10^5$ cm/sec. Dieser Wert ist wesentlich kleiner von dem Werte, welcher der Messungen von Freyer, Hubbard und Andrews entspricht,¹¹⁾ aus welchen Werte man durch Interpolation zu $v(23,30^\circ) = 1,1565 \cdot 10^5$ cm/sec gelangt. Bei unseren Messungen wurde „Alcohol absolutus“ der Firma Merck verwendet.

Die Methode des Ultraschallinterferometers mit veränderlicher Frequenz in der hier beschriebenen Ausführung arbeitet nicht mit jenem Genauigkeitsgrade, welcher von der durch viele Forscher verbesserten Pierceschen Methode erreicht ist. Das ist auch verständlich, wenn die angewandten technischen Mitteln in Betracht genommen werden. Die angeführten Messungen aber zeigen deutlich ihre Verwendbarkeit und erregen die Hoffnung, daß die Genauigkeit weiter gesteigert werden kann. Der Verfasser hält diese Methode besonders geeignet für Messungen bei Temperaturen, die stark von der Zimmertemperatur abweichen (Die obere Grenze für Anwendbarkeit dieser Methode dürfte mit der Temperatur, bei welcher die piezoelektrischen Effekte des angewandten Kristalls schwinden, gegeben sein) deswegen, weil hier die mechanischen Veränderungen im Interferometer während der Messung entfallen sind. Demnach kann in einem geeigneten Thermostat das ganze Interferometer auf jener Temperatur gehalten werden, bei welcher die Messung zu erfolgen hat. Bei der Pierceschen Methode muß die Mikrometerschraube, mittels welcher der Reflektor verschoben wird, zugänglich sein. Vorliegende Arbeit war die erste Etappe in der Bemühung eine Methode für präzise Schallgeschwindigkeitsmessungen in Flüssigkeiten bei höheren Temperaturen zu schaffen.

KAKO SAM IZVEO SEIBTOVE POKUSE

Vatroslav Lopašić, Zagreb.

Iz Fizikalnog zavoda Sveučilišta.

(Preštampano iz »Nastavnog Vjesnika«)

Već je prošlo skoro 40 godina, što je G. Seibt izveo i opisao pokuse,¹ koji nose njegovo ime. Nastali su u ono romantično doba telegrafije bez žica, a i dobili su pobudu s tog područja. A. Slaby, poznati pionir radiotehnike, na jednom je predavanju demonstrirao uzvojnici, kojom se visokofrekventna napetost, koja tu uzvojnici pobuđuje na resonantno titranje, mnogo puta poveća.² Slaby ju je nazvao »multiplikator«. To je u stvari bio Teslin transformator sa svjesnom primjenom pojava resonancije. Seibt je bio tada Slabyjev asistent i on je napisao teoriju multiplikatora, kako se to vidi pod ³. Malo iza toga upozorio je Francuz Blondel,³ da je uzvojnica-multiplikator poznata u Francuskoj već otprije kao Oudinov resonator; nova da je samo Seibtova teorija.

Seibtu je iz njegove teorije multiplikatora izašlo, da taj može resonirati na vrlo mnogo frekvencija, koje su mnogokratnici jedne osnovne frekvencije. Da to ispita, načinio je dugačku uzvojnici, na kojoj se mogu te mnogobrojne resonancije lakše opažati. Tako je nastala ona 200 do 300 cm duga Seibtova uzvojnica.

Multiplikator je danas kao radiotehnička sprava muzejski predmet. Čemu onda pisati o Seibtovim pokusima i o njegovoj uzvojnici, kad je ona zapravo taj starinski multiplikator? Danas se služimo Seibtovom uzvojnicom, da objektivno pokažemo ono, što je prije 40 godina služilo za tumačenje djelovanja multiplikatora, a to su elektromagnetski valovi uzduž dugačke uzvojnice. Električni valovi uzduž ravnih žica putuju brzinom svjetlosti. Njihova je dakle dužina jednaka onoj, što je imaju, kad su slobodni u prostoru (Lecherov sistem žica!). Uzduž Seibtove uzvojnice putuju ti valovi polaganije, pa su u istoj mjeri i kraći od slobodnih valova iste frekvencije, a to je zgodno za eksperimentiranje. Sa druge je strane titranje Seibtove uzvojnice interesantan teoretski problem, koji čeka na potpunije rješenje.

Evo na sl. 1. uređaja za Seibtove pokuse. Uzvojnica L i kondenzatori C i C' čine električni titrajni krug. On je prekinut iskrištem I , da se mogu kondenzatori nabiti iz induktora

¹ G. Seibt: Zur Theorie des Multiplikators für schnelle elektrische Schwingungen, E T Z, 22, str. 580.—584., 1901.

G. Seibt: Elektrische Drahtwellen, E T Z, 23, str. 409.—412., 1902.

G. Seibt: Neue Vorlesungsversuche über schnelle elektrische Schwingungen. Physik. Zft., 4, str. 99.—104., 1903.

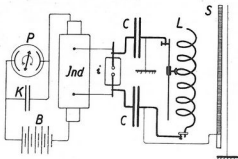
² A. Slaby: Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie, E T Z, 22, str. 38.—42., 1901.

³ Blondel, E T Z, 22, str. 688., 1901.

2

Ind. Kad električna iskra probije uzduh među kuglicama iskrišta, krug je zatvoren i energija, nagomilana u kondenzatorima, istira njišući se između energije električnog polja kondenzatora C i C te energije magnetskog polja uzvojnice L .

Tako djeluje taj već dugo poznati generator prigušenih visokofrekventnih titraja. Frekvencija je ovih titraja dana glasovitom Thomsonovom formulom. Pri izvođenju Seibtovih pokusa mora biti moguće mijenjati frekvenciju titranja. Zato je uzvojnica L načinjena tako, da se kliznim kontaktom može po volji uklopiti u krug veći ili manji dio njezinih zavoja. Time se mijenja samoindukcija u krugu, pa tako i frekvencija.



Sl. 1. Shema Seibtovog uređaja

S je Seibtova uzvojnica. Njena je osobitost u tome, da je duga prema svojem promjeru. Takova je uzvojnica sustav, u kome se mogu pobuditi elektromagnetski titraji. No ona se bitno razlikuje od kruga, koji sastoji od kondenzatora i uzvojnice. U ovome imamo napose kapacitet u kondenzatoru, a napose samoindukciju u uzvojnici, dok se uzduž žltave Seibtove uzvojnice i kapacitet i samoindukcija prožimlju. Svakom dakle centimetru dužine uzvojnice treba pripisati i neki kapacitet i neku samoindukciju. Zato ovakova uzvojnica može resonirati na mnoštvo (teoretski bezbroj) frekvencija određenih podacima uzvojnice, dok krug s odijeljenim kapacitetom i samoindukcijom može slobodno titrati samo jednom frekvencijom.

Da se uzvojnica S pobudi na titranje, valja joj dovesti energije iz generatora visokofrekventnih električnih titraja. Zato se ona nekako veže s krugom, koji se sastoji od uzvojnice i kondenzatora, pa će se svaki put, kad ovaj zatitra, i ona pri-

siliti na titranje. Na sl. 1. je nacrtano galvansko vezanje. To znači, da je S jednim svojim krajem spojena žicom s jednom točkom na krugu, u kojoj vlada visokofrekventna napetost prema zemlji, kad krug titra. Takove su sve točke kruga osim one, koja je baš spojena sa zemljom. Da se dobije maksimalna napetost za pobuđivanje uzvojnice S , valja spojiti jedan krajni oblog kondenzatorske serije sa zemljom, a drugi s uzvojnicom S . Tako su spojevi i nacrtani.

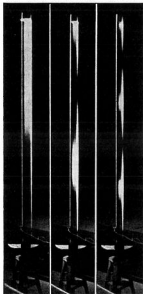
Ako je frekvencija titraja u krugu jednaka osnovnoj frekvenciji uzvojnice S , onda je amplituda napetosti između bilo kojeg mjesta uzvojnice S i zemlje veća od one, kojom se uzvojnica pobuđuje, a najveća je na slobodnom kraju uzvojnice. Seibt je očigledno pokazao razdiobu napetosti uzduž uzvojnice tako, da je učvrstio po uzvojnici u jednakim razmacima male ne šiljke. Prstanje elektriciteta s tih šiljaka omogućuje, da stvorimo neki sud o razdiobi napetosti. No brzo je našao je jednostavnije i zgodnije sredstvo od šiljaka, a to je tanka žica spojena sa zemljom i napeta uzduž uzvojnice u daljini od nekoliko centimetara (5—10 cm). Velike su napetosti između uzvojnice i žice uzrok snažnom izbijanju elektriciteta iz žice prema uzvojnici. To je izbijanje ondje jače, gdje je napetost veća, dakle najjače pri slobodnom kraju uzvojnice, a najslabije ili nikakovo pri onom kraju, koji je vezan na titrajni krug. Takav je pojav, kad je uzvojnica pobuđena u svojoj osnovnoj frekvenciji. Tada je njena dužina jednaka četvrtini dužine elektromagnetskog vala uzduž uzvojnice. Kaže se, da ona titra jednim čvorom i jednim trbuhom napetosti. U spoju, kakav je na sl. 1., može se S pobuditi i tako, da je njena dužina ili tri ili pet ili koji veći neparni broj četvrtina dužine vala. Tada uzvojnica titra sa dva čvora i dva trbuha ili tri čvora i tri trbuha napetosti i t. d. Sl. 2. su tri fotografije iste uzvojnice i redom prikazuju pojav, kad uzvojnica titra na prvi, onda drugi, pa treći način. Trbusi su napetosti ondje, gdje je prstanje najjače. Te sam fotografije dobio tako, da sam snimio na istu ploču napose uzvojnici, a napose svjetlost od električnog izbijanja.⁴

Sl. 3. je snimka čitavog uređaja, kojim sam radio. Uzeta je iz ptičje perspektive. Na stolu stoje redom prekidač P (slova se odnose na sl. 1.), induktor Ind , u podlogu ugra-

⁴ Seibt je priopćio u svojoj radnji: *Neue Vorlesungsversuche über schnelle elektrische Schwingungen*, Physik. Zft., 4, str. 99.—104, 1903., tri crteža pojava svjetlosti uz dugu uzvojnici, kad rezonira na različite načine. Jedan je od tih crteža načelno krivo načinjen. To je Seibt malo iza publikacije ove radnje opazio, pa je na tu pogrešku upozorio (Physik. Zft., 4, str. 142., 1903.). Unatoč tome nekoliko je priznatih knjiga preuzelo tu sliku. Tako se ona može naći u Grimsehl's *Lehrbuch der Physik* (R. Tomaschek), II (1), 1936, kao sl. 767, na str. 554. Izbacena je tek iz najnovijeg osmog izdanja (1938.), gdje je otisnuta jedna prilično slaba fotografija Seibtove uzvojnice u radu. Slično je i u glasovitoj Müller-Pouilletu.

4

den kondenzator K , zatim dvije moderne lajdenske boce C i C s iskrištem I u kutiji od crnog stakla i konačno uzvojnica L . Seibtova uzvojnica stoji s desne strane na posebnom stoliću. Uređaj je snimljen u pogonu. Na slici se vidi, da je induktor priključen na unutarnje obloge boca, dok je uzvojnica L spo-



Sl. 2. Prve tri resonancije Seibtove uzvojnice

elektrolitički prekidač) iskre do 30 cm. Dobro je radio i jedan manji induktor.

Iskrište je sasvim jednostavno: naprosto dvije cinčane kuglice. Ono je zatvoreno, da ne smeta ni svjetlost ni buka od iskara. Razmak je kuglica bio oko 1 cm. Koliki se može uzeti, zavisi od boca, a i od induktora. Da ovakovo iskrište dobro radi, ne smije biti frekvencija prekida velika (20 do 30 u sek.), inače nastane električni luk među kuglicama. Upotreblijeno

jena s vanjskim oblozima.

Za dobar uspjeh ovih pokusa važan je siguran rad prekidača P . Upotrebljavao sam Teslin prekidač s mlazom žive, koji radi izvanredno dobro i pravilno. U tom prekidaču štrca živa u dva suprotna smjera (dvostruka strelica u prekidaču P) iz dviju radijalnih cijevi učvršćenih na osovinu, koju brzo okreće maleni elektromotor (gornji dio prekidača na sl. 3.). Kako se vrti osovina, vrti se i smjer mlazova, pa oni čas pogode čas promaše polukružne željezne ploče u prekidaču. Time se čas spaja čas prekida struja, što je baterija B šalje u induktor Ind . Neko sam se vrijeme služio i jednostavnim elektromagnetskim prekidačem (Wagnerov batič), ugrađenim na induktoru. Rezultati su bili dobri.

Induktor, koji se vidi na sl. 3., srednje je veličine. Između šiljka i ploče daje uz malen broj prekida u sekundi (ne-

5

sam iskršte morao oprati vodom nakon svakih 20 minuta rada.

Naročitu pažnju treba obratiti kondenzatorima C i C, koji valja da su barem približno jednaki. U prvom redu oni moraju izdržati visoku napetost, na koju ih induktor nabije. Nadalje je vrlo važno, da su spojevi s oblozima kondenzatora solidni. To nije lako postići pri starim tipovima lajdenskih boca. Takove boce imaju spoj između unutarnjeg obloga i štapa načinjen lančićem ili gipkom žicom, koji tek diraju nutarnji oblog pri dnu boce. To je sasvim nedovoljno i može biti pogubno za bocu, jer se ona iskrama između lančića (ili žice) i unutarnjeg obloga toliko mjestimice ugrije, da prsne. Ako se to i ne dogodi, to stalno iskaranje po unutrašnjem oblogu kvari taj oblog. U takvom sam slučaju dobio upotrebljiv spoj tako, da sam na kraj štapa priložio limenu ploču, a po dnu boce prostro nekoliko slojeva staniola i onda dobro pritiskao ploču na njih. S vanjskim ćemo oblogom dobiti siguran spoj, ako bocu čvrsto opasemo vrpcom od tankog lima, koju podložimo staniolom, da se ne ozlijeđi boca. Bocu, koja nije



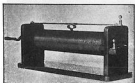
Sl. 3. Praktična izvedba Seibovog uređaja

spojena sa zemljom, treba izolirati tako, da se stavi na nekoliko cm debelu parafinsku ili odeblju drvenu ploču. Na sl. 3. vide se vrlo lijepe i dobre moderne boce, kakove ih danas pravi tvrtka Schott & Gen. u Jeni. Načinjene su od naročitog »minose« stakla, koje ima veliku dielektričnu konstantu (8) i veliku električnu čvrstoću (2500 KV/cm). Oblozi su od bakra elektrolitički staloženog na staklo, a spojevi s oblozima vrlo solidni. Svaka podnosi napetost 20 KV, a kapacitet je pojedine 4.400 cm.

Sl. 4. je snimka uzvojnice L. Opisat ću, kako sam je konstruirao. Kao tijelo, na koje će se uzvojnica namotati, uzeo

6

sam drveni valjak dužine 50 cm, a promjera 10 cm. Za namatanje sam upotrijebio bakrenu žicu promjera 0,3 cm. Da se žica ne bi sklizala po valjku, urezan je u valjak plitak spiralni žlijeb s razmakom 0,635 cm među zavojima žlijeba (4 zavoj na engleski palac). Žica je položena u taj žlijeb. Početak je žice spojen s osovinom, koja se vidi na sl. 4. Na tu osovinu pritiskuju 3 pera iz elastičnog lima i tako imamo spoj s početkom uzvojnice. Kraj uzvojnice učvršćen je čavličima na valjku. U svemu je položeno 66 zavoja. Osovine valjka treba dobro centrirati, da valjak ne pleše, kad se okreće. Po uzvojnici klizi, kad se ona vrti, klizaljka, koja onda putuje po vodilici i tako uklapamo više ili manje zavoja u krug. Spoj s klizaljkom imamo na vodilici. Najteže je bilo u čitavom poslu načiniti dobru klizaljku, koja daje siguran kontakt i onda, kad se uzvojnica okreće. Nakon mnogih pokušaja načinjena je pouzdana klizaljka. Glavni je njezin dio mjedeni žlijeb dužine 3 cm, koji dobro leži na zavoju žice (spiralni je narez na valjku plitak, pa žica strši više nego polovinom svoje debljine iz valjka). Pero, načinjeno od dvije pruge elastičnog mjedenog lima, pritiskuje, upirući se o vodilicu, žlijeb na zavoj. Vodilica ima pravokutni profil. Razmak između vodilice i uzvojnice ne smije biti premalen, da ne nastane iskra između nje i kraja uz-



Sl. 4. Uzvojnica za mijenjanje samoindukcije

vojnice, koji izlazi na osovinu (2,8 cm kod ovog primjerka). Kao izolator upotrebljeno je samo drvo. U praksi se poradi toga nisu pojavile nikakove smetnje.

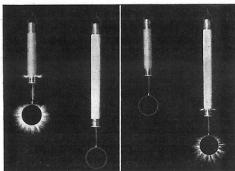
Upotrebljenim bocama i ovom uzvojnicom određeno je područje frekvencija, koje se u titrajnom krugu dobiju. Prema njemu treba udesiti dugačku uzvojnica tako, da bar prve tri njezine resonancije padnu u to područje. Osnovna se frekvencija Seibtove uzvojnice računa po formuli

$$f = \frac{c \sqrt{2 \ln l / r}}{8 \pi r n l} \frac{1}{\text{sek}},$$

gdje je c cm/sek brzina svjetlosti u praznom prostoru, l cm dužina uzvojnice, r cm polumjer uzvojnice, a n broj zavoja na centimetar uzvojnice; tada je f broj titraja u sekundi. Ta je formula samo približna, pa se ne treba čuditi, ako se mjerenja frekvencija znatno razlikuje od računane. Ipak je od koristi, jer daje neku orijentaciju.

Kao tijelo, na koje ću namotati uzvojnica S , uzео sam šuplji valjak od ljepenke promjera 4 cm, a dužine 300 cm.

Takovu sam izvanrednu dužinu mogao uzeti zato, jer je pre-davaonica, u kojoj se tom uzvojnicom eksperimentira, vrlo visoka. U običnim se školskim sobama ne može uzeti duža od 200 cm. Valjci se od ljepenke mogu nabaviti u radiotehničkim trgovinama u komadima dužine 100 cm. Trebalo je dakle sastaviti tri takova komada. To je načinjeno 15 cm dugim drve-nim umecima, koji tijesno pristaju u valjke iznutra. Oni su još ulijepljeni stolarskim ljeplilom. Za namatanje je upotrebljena bakrena žica promjera 0,04 cm i dva puta omotana pamukom. Zavoji su položeni tijesno jedan uz drugi. Broj zavoja na cm uzvojnice je 12,5, polumjer zavoja 2,06 cm, a namotana dužina 279 cm.



Sl. 5. Resonancije dvije obješenih Seibsonovih uzvojnica

Kako je ova uzvojnica vrlo lagana (ljepenka!), nije tre-bala teškog podnožja. Ona stabilno stoji, kad se natakne na 12 cm visoki stup, koji strši iz sredine vodoravnog drvenog križa. Uzduž uzvojnice je napeta čelična žica promjera 0,03 cm. Ta je gore zakvačena o horizontalni drveni štapić, koji je učvršćen na drveni komad, koji se utakne u gornji kraj uzvojnice. Ovu žicu napinje maleno spiralno pero učvršćeno na podnožju. Udaljenost se žice od uzvojnice može mijenjati. Ostale se pojedinosti vide iz fotografija uzvojnice.

Ako se za ovu uzvojnicu računa osnovna frekvencija, iz-lazi $f=523,4$ kiloherca, a mjerenje daje 462,6 kiloherca, dakle znatno nižu frekvenciju. Ta se razlika daje donekle opravdati time, da okolni zidovi sobe povećavaju kapacitet uzvojnice, pa time snižuju osnovnu frekvenciju. Mjerenje je izvršeno bez

8

žice sa strane. Frekvencije, koje su mjerene za ostala dva slučaja prikazana u sl. 2., tek su približno triput odnosno petput veće od mjerene osnovne frekvencije. One su u stvari niže.

Seibt je opisane pokuse modificirao tako, da je namjesto jedne uzvojnice vezao s titrajnim krugom dvije, koje imaju različite osnovne frekvencije. Mijenjanjem se frekvencije titranja može udesiti, da resonira ili prva ili druga. Sl. 5. su fotografije takovih dviju uzvojnica u radu, i one su namotane na valjke od ljepenke. Promjer je valjka ovdje 5 cm, promjer žice 0,02 cm, broj zavoja na cm 27, a namotane dužine 20 i 40 cm. Jedan je kraj uzvojnice spojen s kvačicom, kojom se uzvojnica naprosto objesi o žicu spojena s titrajnim krugom, a drugi s krugom od žice, iz kojega u slučaju resonancije pršte iskre. Te uzvojnice dakle ne trebaju stalaka. Takovo vješanje uzvojnica omogućeno je njihovom malenom težinom. Vod, iz kojega uzvojnice dobivaju energiju za titranje, može se protegnuti iznad klupa za slušače, pa se na njega objesi više ovakvih uzvojnica različitih osnovnih frekvencija (na pr. tri uzvojnice). Mijenjajući frekvenciju možemo udesiti, da iskri bilo koja od njih.

Vatroslav Lopašić

KRISTALI KOJI ZVUČE, *Priručnik* 30 (1940), str. 208–215

KRISTALI KOJI ZVUČE

Napiseo Dr. Vatroslav Lopašić (Zagreb)

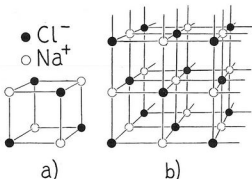
Sa 4 slike

Kristali se razlikuju od ostalih tjelesa time, što su u njima elementarne čestice složene po izvjesnom nacrtu. Ovaj nacrt obuhvata mali broj čestica (atoma, iona), a kristal nastaje tako, da se taj jednostavni poredaj na isti način ponavlja. Tako su kristali kuhinjske soli (Na Cl) sagrađeni iz elektro-pozitivnih natrijevih i elektro-negativnih klorovih iona¹⁾. Nacrt, po kojemu su ti ioni složeni vrlo je jednostavan: oni leže naizmjenice na vrsima kocke, kojoj je brid du-

¹⁾ Ioni su elektrificirani atomi. Kod spajanja natrija i klora preda atom natrija jedan od svojih 11 elektrona atomu klora, koji u neutralnom stanju ima 17 elektrona. Time od natrijeva atoma nastaje pozitivan, a od klorova atoma negativni ion, koji se radi privlačne električne sile među njima združuju u molekulu kuhinjske soli.

gačak $0,28 \text{ m}\mu$ ($1,000.000 \text{ m}\mu = 1 \text{ mm}$), kako je shematski prikazano u sl. 1a). Da dobijemo kristalić soli, koji se može na dlanu zapaziti, treba taj poredaj ponoviti bilijun bilijuna puta. Kod toga se redaju ioni onako, kako je prikazano u sl. 1 b). Tako nastaje prostorna mreža iona u kristalu, koju drže na okupu privlačne električne sile među ionima.

Kristali kremen (kvarc, SiO_2), turmalina, Seignette-ove soli i drugi, o kojima želim ovdje pisati, mnogo su zamršenije strukture. Poredaj njihovih iona izveden je po zamršenijem nacrtu, koji je ipak u tancine poznat, zahvaljujući istraživanjima kristala pomoću rent-



Sl. 1. a) Nacrt za poredaj iona; b) Prostorna mreža iona u kristalu kuhinjske soli.

gen kih zraka. No ovi kristali pokazuju radi osobitosti svoje građe fizikalna svojstva, kojih kristali kuhinjske soli nemaju. Ako na pr. kvarcov kristal (ili turmalinov, ili kristal Seignette-ove soli) stisnemo ili nategnemo, pojave se na njegovim ploham električni naboji: na jednim pozitivni, a na drugim negativni. Uklonimo li sile, koje naprežu kristal, iščeznu električni naboji s ploha kristala. — Kako da protumačimo ovaj pojav? Kad naprežemo kvarcov kristal, on se neznatno deformira. Deformira se dakle prostorna mreža njegovih iona. Kod te se promjene oblika može dogoditi, da se na nekoj graničnoj plohi kristala pomaknu negativni ioni (kisik) jače prema van, nego pozitivni (silicij), pak zato ta kvarcova ploha postane negativno električna. Kad naprezanje popusti, vraćaju se negativni i pozitivni ioni u normalni položaj, gdje im se učinci njihovih elektriciteta na okolinu kristala poništavaju. Kristal je prestao biti

Pis.

električan. Ako kod deformacije izađu pozitivni ioni napolje, onda se dotična ploha pozitivno elektrizira.

Kristali, koji postanu električni, kad im se promijeni oblik, zovu se piezo-električnima, a sam pojav piezo-električnim efektom. Otkrila su ga braća Pierre²⁾ i Jacques Curie 1880. god. i potanko ga istraživala više od 15 godina. Ta su istraživanja oni uspješno provodili, pak im je zato Akademija u Parizu podijelila 1895. god. naročitu nagradu.

Cim je otkriven piezo-električni pojav, zaključio je Lippmann na osnovu svojih teoretskih razmatranja, da taj pojav mora imati i svoj obrat, t. j., da piezo-električni kristali promijene svoj oblik, kad dodu u električno polje. Ta su se Lippmannova predviđanja eksperimentima na vlas potvrdila. Metode, kojima su te promjene oblika piezo-električnih kristala mjerene, vrlo su suptilne, jer su same promjene neznatne.

Prema tome možemo piezo-električni efekt u kratko ovako opisati: »Piezo-električni kristali (kao što su kvarc, turmalin, Seignette-ova sol³⁾, desna vinska kiselina, cinkov sulfid, i t. d.) postanu na nekim svojim graničnim ploham električni, ako im se promijeni oblik (direktni piezo-električni pojav). Ti isti kristali promijene oblik, ako se stave u električno polje (inverzni piezo-električni pojav). Oba pojava imaju svoj osnov u načinu, kako je sagrađena prostorna mreža iona u tim kristalima.«

Piezo-električni pojavi bili su mnogo godina predmetom laboratorijskih pokusa, no napretkom elektrotehnike pokazale su se razne mogućnosti za njihovu primjenu u praksi. Kod piezo-električnih sprava, koje se danas upotrebljavaju u tehnici i fizici, upotrebljavaju se redovno naročito brušeni kvarcovi kristali, a u novije doba i kristali Seignette-ove soli, dok je upotreba turmalina ograničena njegovom visokom cijenom. Ostali piezo-električni kristali ne dolaze u te svrhe u obzir. Kristali se bruse tako, da se na ploham dobivenim brušenjem postigne najjači moguć piezo-električni efekt. Tako izbrušeni kristali redovno imaju oblik pravokutne ili okrugle ploče, dok su na pr. prirodni kvarcovi kristali šesterostrane prizme. Kad se takva ploča stisne, postane ona na jednoj strani pozitivno, a na drugoj negativno električna. Ako se stavi u električno polje, okomito na površinu ploče, ona ili odeblija ili se stanji, prema tome koji smjer ima polje.

Navest ću nekoliko primjera za primjenu piezo-električnih kristala.

²⁾ Pierre Curie je bolje poznat radi svojih otkrića, koja je u zajednici sa svojom ženom Marie Curie učinio na polju radioaktivnosti.

³⁾ Seignette-ova sol je kalij-natrijeva sol (tartrat) vinske kiseline ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$), i zove se tako po ljekarniku Seignette-u iz Rochelle-a, koji ju je otkrio 1672. i prodavao kao purgativ. Kristali Seignette-ove soli uzgajaju se umjetno iz zasićenih rastopina, u koje se stavi mali kristalic te soli kao jezgra budućega kristala, a onda se rastopina dugo vrijeme polagano ohlađuje. To se uzgajanje vrši u Americi u industrijskim razmjerima, pak se tamo mogu kupiti veliki kristali Seignette-ove soli uz razmjerno nisku cijenu.

U tehnici eksplozivnih motora od velike je važnosti poznavanje načina, kako se mijenja tlak u cilindru, kad motor radi. Te se promjene tlaka registriraju indikatorima. U novije vrijeme dolazi do sve veće važnosti piezo-električni indikator radi toga, jer osobito vjerno prikazuje prilike u cilindru, pa makar se radilo o vrlo brzim promjenama tlaka. Kod ovoga indikatora tlak u cilindru izvodi deformacije kvarcove pločice, a te deformacije elektrificiraju pločicu (direktni piezo-električni efekt). Budući da se električni naboji na pločici mijenjaju onako, kako se mijenja deformacija pločice, a ta se mijenja onako, kako se mijenja tlak u cilindru, to vidimo, da se električni naboji mijenjaju po istom zakonu, po kojemu se mijenja tlak u cilindru. Te se promjene naboja piezo-električne pločice mogu razmjerno lako snimiti na papir (registrirati). Takve registracije dobivene na pojedinim motorima daju ne samo iscrpne podatke o radu tih motora, nego i pobude za njihovo usavršavanje.



Sl. 2. Shematski prikaz vage za vrijeme.

Zvuk je titranje uzduha. Ako ga želimo električki prenijeti, moramo ga pretvoriti u električno titranje. Ovo se pretvaranje vrši pomoću mikrofona. Mikrofon ima raznih vrsta, među kojima piezo električni mikrofon ne zauzima posljednje mjesto. Taj je podesan osobito za pretvaranje mehaničkih titraja čvrstih i kapljevityh tijela u električne. Piezo-električni mikrofoni se prave redovno iz kristala Seignette-ove soli, jer je kod nje piezo-električni efekt osobito jak. Da bude mikrofon osjetljiviji, sastavlja se više ploča Seignette-ove soli u jedan agregat. Na najosjetljivijem mjestu agregata učvršćena je čelična igla, kojom se dotakne tijelo, čije se titraje želi pretvoriti u električne. Titraji tijela prolaze kroz iglu na agregat, u kojemu se deformacijama kristalnih ploča dobivaju električni naboji odnosno napetosti, koje se mijenjaju onako, kako tijelo izvodi titraje. Registrirati promjenljive električne napetosti nije teška stvar. Tako možemo piezo-električnim mikrofonom odrediti titranje temelja jednoga stroja, ili njegovih ležaja, a to je često vrlo važan podatak za rad neke mašine. Sasvim slično je građen i piezo električni pick-up za električnu reprodukciju gramofonskih ploča.

Piezo-električni mikrofoni su nenadomjestivi kod vaga za vrijeme. Vaga za vrijeme je sprava, koja se danas mnogo upotrebljava u modernim tvornicama ura, a služi za ispitivanje i brzo reguliranje novih ura. Princip toga uređaja-predložen je shematski u sl. 2. N je

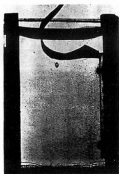
jedna po mogućnosti savršena ura. Ona kuca u onom tempu, u kojem bi željeli da kuca i ispitivana ura X. Ure N se dotiče igla piezo-električnog mikrofona P_1 , koji njene kucanje pretvara u električne impulse. Isto se tako i ure X dotiče igla jednog drugog piezo-električnog mikrofona P_2 , koji kucanje te ure također pretvara u električne impulse. Impulzi od jedne i druge ure uvode se u električnu spravu, koja je prikazana srednjim pravokutnikom. S električnog instrumenta te sprave možemo očitati, koliko zaostaju udarci ure X za udarcima ure N. Ako se taj vremenski razmak ne mijenja, onda obje ure idu jednako brzo. To se očituje tako, da kazaljka vage za vrijeme stoji na miru. Ide li prema većim vrijednostima, onda ura X zaostaje za normalnom urom N. Vremenska vaga omogućuje, da se odrede i male razlike u hodu (kao što je na pr. 3 sekunde u danu) u razmjerno kratko vrijeme (pola sata). Ne treba ni napomenuti, da se opažača, koji promatra kazalo vremenske vage, može nadomjestiti spravama za automatsku registraciju, koje podatke instrumenta neprestano bilježe na papir. Izvede li se ta registracija preko jednog čitavog dana, dobivamo savršen prikaz hoda jedne ure. Na osnovu takve registracije moguće je dati vrlo točnu ocjenu kvaliteta neke ure.

Kod piezo-električnih indikatora i piezo-električnih mikrofona iskorišćuje se direktni piezo-električni pojav. Inverzni se piezo-električni pojav upotrebljava onda, kad piezo-električni kristal služi kao izvor zvuka. Prije je spomenuto, da inverzni piezo-električni pojav sastoji u tome, da se piezo-električna pločica stanji odnosno odeblja, ako dođe u električno polje. To se polje proizvodi pomoću dvije metalne folije, koje su direktno na pločicu učvršćene. Kristal je dakle u električnom polju, kad između tih folija (oblog) vlada električna napetost. Ako je ta napetost promjenljiva, promjenljivo je i električno polje. Kod toga se debljina piezo-električne pločice mijenja onako, kako se mijenja električno polje, odnosno napetost među oblozima. Priključimo li dakle na obloge piezo-električne pločice napetost, koja u radioaparatu tjera zvučnik, to će pločica titrati u ritmu onoga govora ili glazbe, koju radioaparat u taj čas prenosi. Ti se titraji pločice prenose na okolni zduh i mi čujemo, kako piezo-električni kristal govori, svira ili pjeva. To je načelo piezo-električnih zvučnika, koji se prave od kristala Seignette-ove soli. Da se učinak pojača, slažu se i ovdje piezo-električne ploče u agregate.

Upotreba piezo-električnog zvučnika vrlo je slabo raširena, ako se radi o zvuku, koji naše uho čuje. Naprotiv za zvukove vrlo visokih frekvencija za nas nečujnih (t. zv. ultrazvuk; to su mehanički titraji s frekvencijama višim od 20.000 titraja u sekundi) piezo-električni kristali isključivo služe kao zvučnici, t. j. kao njihov izvor. Piezo-električnim pločicama se može proizvesti zvuk i od mnogo milijuna titraja u sekundi. Za tako visoke tonove naše je uho neosjetljivo, ma kako oni bili jaki. Ultrazvuk ne dopire u ušnu daleko. Nestaje tim brže, čim mu je frekvencija viša. U tekućinama se on vrlo dobro širi, premda se i tu apsorbira to brže, što mu je

frekvencija viša. Tako ultrazvuk frekvencije od 40 do 100 hiljada titraja u sekundi služi za podvodnu signalizaciju među brodovima. Takav se naime zvuk može upravititi kroz vodu u uskom svežnju kao i svjetlost iz reflektora. Time je garantirano, da nepozvani ne će vijest, koja se na taj način prenosi, prislušivati. Za primanje služi dakako piezo-električni mikrofon, koji titraje vode pretvara u električne titraje. Ultrazvuk je prvi put proizveden piezo-električnim kristalom načinio Francuz Langevin, 1917 god. To je poznati pariški profesor, koji je taj ultrazvuk upotrebio za otkrivanje njemačkih podmornica. Danas je primjena ultrazvuka upravo golema ne samo u fizici, nego i u kemiji i biologiji.

Ultrazvuk se ne može čuti, no ima načina, kako se mogu valovi ultrazvuka vidjeti i fotografirati. Jedan od tih načina jest metoda Dvořákovih šlira⁹⁾.

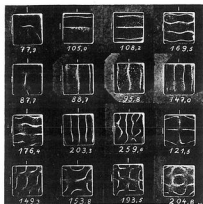


Sl. 3. Ultrazvučni valovi u ksilolu (Original).

Sl. 3. jest takva snimka ultrazvučnih valova u ksilolu, koju sam snimio nešto promijenjenom metodom. Piezo-električna pločica, iz koje izlaze ultrazvučni valovi, vidi se na desnoj strani, i to jedan njezin brid. U ovom konkretnom slučaju šalje ona u ksilol svake sekunde tri milijona valova, koji se vide na lijevo od pločice kao svijetle i tamne pruge. Razmak tih pruga u samome ksilolu iznosi 0,23 mm.

⁹⁾ Dr. Vinko Dvořák (1848.—1922.) osnovao je Fizikalni zavod zagrebačkog sveučilišta i bio je sveučilišni profesor fizike od 1876. do 1912. god.

Od osobitog su interesa titraji piezo-električnih pločica u njihovim frekvencijama zato, jer su ti titraji izvanredno jaki, a njihova je frekvencija praktički posve stalna. Ako piezo-električnu pločicu lakim udarcem stavimo u titranje i onda prepustimo samu sebi, tada će ona titrati jednom od svojih frekvencija. Tih frekvencija ima vrlo mnogo, no od njih je jedna najniža t. zv. osnovna. Ako je pločica prepustena sama sebi, njezini će titraji ubrzo prestati, no ima načina, da se piezo-električna pločica električkim putem podržava u titranju u jednoj od svojih frekvencija. Frekvencija tih ti-



Sl. 4 Lissajousovi likovi na jednoj kvarcovoj pločici.

traja je izvanredno stalna i ona zavisi o dimenzijama pločice. Ako je pločica tanka, te su frekvencije vrlo visoke, takve, kao što se upotrebljavaju u radiotehnici. Za neku pak radiostanicu je od velike važnosti, da dobro »drži svoj val«, a to znači, da neprestano emitira na jednoj istoj frekvenciji. Ta se stalnost frekvencije postizava tako, da emisijom upravlja jedna kvarcova pločica, koja titra onom frekvencijom, koju stanica ima emitirati. To je t. zv. pilot kvarc, jer on poput kormilara pazi, da stanica ne promijeni svoj kurs u moru frekvencija. Pilot kvarci se upotrebljavaju i za konstrukciju najfinijih astronomskih ura.

Titraji kvarcove pločice u njezinim frekvencijama mogu se istraživati metodom Chladni-evih slika. Ta je metoda dobro poznata u akustici. Ploča, koja titra, posipa se pijeskom. Taj pijesak

radi titranja ploče skakuće po njoj, dok se napokon ne skupi na onim mjestima ploče, koja su kod ovoga titranja na miru. Ta mjesta, t. zv. čvorovi titranja, jesu više ili manje pravilne linije, koje redovno čine lijep i simetričan lik. Plotice od kvarca posipaju se likopodijem, a onda se pobude na titranje u jednoj od svojih frekvencija. Likopodij se skupi po čvornim crtama. Sl. 4. daje zbirku fotografija tih likova, koje sam snimio na jednoj istoj kvarcovojoj ploči dimenzija $30 \times 30 \times 8$ mm³). Svakomu liku odgovara posve određena vlastita frekvencija i obratno. Vlastite su frekvencije napisane ispod svake pojedine slike, i to u hiljadama titraja u sekundi. Broj likova, koje sam na ovoj ploči dobio, vrlo je velik. Sl. 4. je tek mali izbor iz toga mnoštva.

Iz ovoga kratkog prikaza vidi se mnogostranost primjene piezo-električnog pojava. To je jedan primjer više, koji pokazuje, da često na oko neznatni pojavi, kako su se moguće nekim Curie-ovim suvremenici pričinjali piezo-električni pokusi, kasnijim razvojem nauke dolaze do znatne važnosti i u praksi.

Ulazni i oscilatorski krug modernog supera

Većini čitalaca bit će poznata osnovna ideja, po kojoj je konstruiran superheterodin ili kraće super. Ustoji tome mi ćemo je izložiti u toliko, u koliko sam je treba ponaovati, da uzmognemo preobraziti oscilatorski krug modernog supera.

U superu se glavno visokofrekventno pojačanje i selekcija primljenih signala postizava na jednoj stalnoj frekvenciji f_m , t. zv. međufrekvenciji, koja mora biti izvan područja frekvencija, što ih aparat prima. Kad našmo superon primamo radiostanicu, koja ima frekvenciju f , to onda sam super pomoću primljenih signala proizvodi u cijevi za mijenjanje umjereniju struju frekvencije f_m , koja je jednako modulirana, kao i signali frekvencije f , što ih primamo. To se preobrazbuje frekvencije f na stalnu frekvenciju f_m događa tako, da se u cijevi za mijenjanje struja elektrona istodobno upravlja i primljenim signalima frekvencije f , i stalnim umjerenim naponom frekvencije f_m , koja je za f_m viša ili niža od f . Dakle između tih frekvencija postoji ova veza:

$$f_m = f \pm f_n$$

Izmjenični napon frekvencije f_n proizvodi super sam u oscilatorskom krugu. Prema tome valja u superu ugoditi ulazni krug na frekvenciju f , a oscilatorski krug na frekvenciju f_m , za f_m različitu od f .

U prvim se je superima izabiralo stanice pomoću dva dugmeta: jednim se ugodao ulazni krug, a drugim oscilatorski. Značajno je bilo

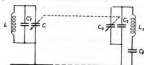
za te supere, koji su — usput rečeno — radili s vrlo niskom međufrekvencijom, da se je jedna te ista stanica mogla čuti na dva položaja oscilatorskog kondenzatora, naime kad je oscilatorski krug bio namješten na frekvenciju $f + f_m$ odnosno $f - f_m$.

Prije sedam petnaest godina činilo se, da će aparati s direktnim visokofrekventnim pojačanjem istisnuti supere. Kod tih se je aparata moglo razmjerno jednostavno staviti serijomjenjive kondenzatore za istu osnovicu, pa su oni time postigli veliku prednost pred superima: izbor stanica jednim dugmetom. Moglo bi se to i kod supera načiniti, kad bi rotor oscilatorskog kondenzatora dao posebni oblik, no u takovom superu ne bi mogli preklapati valna područja.

Našao se je međutim način, kako se može dimenzionirati oscilatorski krug supera uz pretpostavku, da je oscilatorski promjenjivi kondenzator potpuno jednak ulaznom i da su oba na istoj osnovici. Riješeno doduše nije idealno, no praktički potpuno zadovoljava. Treba samo s oscilatskim promjenjivim kondenzatorom spojiti u seriju odnosno paralelno po jedan stalni kondenzator: t. zv. pading odnosno triner, a oscilatorskoj zavojnici dati neki određeni induktivitet L_0 , različit od induktiviteta L ulaznog kruga. Spoj takovog oscilatorskog kruga imamo u sl. 1. dano. Ako su kondenzatori C_0 i C_1 te zavojnica L_0 dobro dimenzionirani, tad je u takovom superu (s jednim dugmetom za namješta-

RADIO-časopis za amaliere i tehničare

nje stanica) frekvencija oscilatora f_0 na tri mjestu skale točno za f_m viša od resonantne frekvencije ulaznog kruga. Na ostalim položajima, resonantna je frekvencija ulaznog kruga ili malo viša ili malo niža od frekvencije stanice, koju primamo, no ta razlika nije tolika, da bi bitno utjecala na amplitudu izmjenične struje pobuđene primanim signalima u ulaznom krugu, pa je prijem tih signala dobar, premda ulazni krug nije idealno ugodan.



Sl. I.

Odabiranjem vrijednosti L_0 , C_0 , C_1 mogu se spomenute tri točke po volji razmjestiti na skali jednog valnog područja. Ako je n najmanja, a N najveća frekvencija valnog područja, tada neka bude one tri resonantne frekvencije ulaznog kruga, za koju je on u točnom skladu s oscilatorskim, ovako raspoređene:

$$n < f_1 < f_2 < f_3 < N.$$

Dakle samo za ove tri frekvencije vrijedi točno:

$$\begin{aligned} f_1 &= f_1 + f_m \\ f_2 &= f_2 + f_m \\ f_3 &= f_3 + f_m \end{aligned}$$

gdje smo s f_m , f_m , f_m označili pripadne frekvencije oscilatorskog kruga. Te su frekvencije određene induktivitetom L_0 , kapacitetima C_0 i C_1 , te kapacitetom promjenljivog kondenzatora, koji za frekvenciju f_m ima vrijednost C_1 , za f_2 vrijednost C_2 , te konačno C_3 za f_3 . Tako je na pr.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 (C_1 + C_0) C_0}} \quad f_2 = \dots \quad f_3 = \dots$$

Povećavajući formulu važe za f_m odnosno za f_2 , pa ih zato nismo niti ispisivali.

Budući da su frekvencije f_1 , f_2 , f_3 unaprijed odabrane, a isto tako i međufrekvencija f_m , to su onda f_1 , f_2 , f_3 određene veličine, t. j. poznate. Netom napisani izrazi mogu dakle poslužiti, da se iz njih izračunaju veličine C_1 , L_0 , C_0 . To je moguće i zato, jer je frekvencijom f_1 određen i pripadni kapacitet promjenljivog kondenzatora u ulaznom krugu, a taj je isto tolik, koliko je i C_1 u oscilatorskom krugu, jer su po pretpostavci ti kondenzatori jednaki i na istoj osovini. Ako je namo L in-

duktivitet zavojnice ulaznog kruga, a C_1' trimmer, tada je

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L (C_1' + C_1)}} \quad f_2 = \dots \quad f_3 = \dots$$

Formule za f_1 i f_2 su analogne ovoj za f_3 . Ovim su formulama dakle određeni kapaciteti C_1 , C_2 , C_3 .

Vidimo, da je u izrazima za f_1 , f_2 , f_3 sve poznato osim C_1 , L_0 , C_0 . Razmjerno jednostavnim postupkom možemo te veličine odatle izračunati. Dobivamo:

$$C_1 = \frac{b(C_2 - C_3) \cdot C_2 - a(C_2 - C_3) \cdot C_3}{a(C_2 - C_3) - b(C_2 - C_3)}$$

$$L_0 = \frac{C_1 - C_2}{4\pi^2 a(C_2 + C_3)(C_2 + C_1)}$$

$$C_0 = \frac{C_1 + C_2}{4\pi^2 f_m^2 L_0 (C_1 + C_2) - 1}$$

gdje nam znači $a = f_m - f_m$, $b = f_m - f_m$.

Sad ćemo na jednom konkretnom primjeru pokazati, kako se to izračunavanje provodi i koliko je odstupanje ulaznog kruga. Zadatak neka bude ovakav:

»Promjenjivi kondenzator ima kapacitet 29 do 500 pF, međufrekvencija $f_m = 467$ kc/s. Treba proračunati ulazni i oscilatorski krug za područje 300 do 1500 kc/s.

U našem je dakle primjeru najniža frekvencija, koju još treba primati $n = 300$ kc/s, a najviša $N = 1500$ kc/s.

Rješenje:

I. ULAZNI KRUG

Potražiti ćemo najprije kapacitet trimera C_1' u ulaznom krugu. Taj mora biti tolik, da nam zadano valno područje bude razvučeno preko čitave skale. Budući da je početni kapacitet promjenljivog kondenzatora 20 pF, a konačni 500 pF, to imamo

$$\left(\frac{500}{20}\right)^2 = \frac{29 + C_1'}{C_1'}$$

a odatle: $C_1' = 40$ pF.

Induktivitet zavojnice ulaznog kruga dobivamo iz formule

$$L = \frac{1}{4\pi^2 n^2 K}$$

gdje nam K znači maksimalni kapacitet promjenljivog kondenzatora zajedno s trimmerom. U našem je primjeru $K = 500 + 40 = 540$ pF = $540 \cdot 10^{-12}$ F. Nadalje je $n = 300$ kc/s = $5 \cdot 10^5$ c/s. Dakle valja

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 25 \cdot 10^{10} \cdot 540 \cdot 10^{-12}} = \frac{1}{2^2 \cdot 540} = 187,63 \cdot 10^{-6} \text{ H} \approx 187,63 \text{ } \mu\text{H}$$

A sada ćemo rasporediti po našem području od 300 do 1500 kc/s one tri frekvencije, za koje

želimo, da frekvencija ulaznog kruga bude točno za $f_m = 467$ kc/s niža od frekvencije oscilatorskog kruga. Neka to budu na pr.:

$$f_1 = 540 \text{ kc/s}$$

$$f_2 = 920 \text{ kc/s}$$

$$f_3 = 1400 \text{ kc/s}$$

Na ove frekvencije redom resonira ulazni krug, kad promjenljivi kondenzator ima kapacitet C_1 , C_2 odnosno C_3 . Općenito valja za resonantnu frekvenciju ulaznog kruga

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C+C')}}.$$

No budući da je $500 \text{ kc/s} = 1/2 \pi \sqrt{LK}$, to podijelimo prethodnu formulu s netom napisanom dobivamo

$$\frac{f}{500} = \sqrt{\frac{K}{C+C'}}.$$

a odatle

$$C = \frac{1}{f^2} \cdot 500^2 \cdot 540 - 40 \text{ pF}.$$

Uvrstimo li ovamo za f vrijednosti f_1 , f_2 , f_3 , dobivamo

$$C_1 = 422,967 \text{ pF}$$

$$C_2 = 119,406 \text{ pF}$$

$$C_3 = 28,877 \text{ pF}.$$

Vrijednosti C_1 , C_2 i C_3 treba tako točno izračunati radi toga, jer se pomoću njih računaju veličine trimera, zavojnice i padinga u oscilatorskom krugu.

II. OSCILATORSKI KRUG

Kad ulazni krug resonira na f_1 , f_2 odnosno f_3 , mora biti vlastita frekvencija oscilatorskog kruga točno za 467 kc/s viša, t. j. mora biti

$$f_u = 540 + 467 = 1007 \text{ kc/s}$$

$$f_u = 920 + 467 = 1387 \text{ kc/s}$$

$$f_u = 1400 + 467 = 1867 \text{ kc/s}.$$

Predmo sada na računanje trimera u oscilatorskom krugu. Formula za C_1 je razlomak, koji ima i u brojniku i u nazivniku po dva člana. Račun treba provoditi tako, da se svaki od tih članova izračuna za sebe. Počnimo s prvim članom iz nazivnika, t. j. s a ($C_1 - C_2$). Veličinu a dobijemo ovako:

$$\begin{aligned} a &= f_3 - f_2 = (f_u + f_m) - (f_u - f_m) = \\ &= (1867 + 1007) - (1867 - 1007) \cdot 10^3 = \\ &= 2874 \cdot 860 \cdot 10^3. \end{aligned}$$

Faktor 10^3 dolazi odatle, što smo frekvencije izrazili u tisućnoj jedinici c/s, koja je 10^3 puta manja od kc/s.

Sad treba naći razliku $C_1 - C_2$. Upotrebimo li gore dobivene vrijednosti, imamo $C_1 - C_2 = (422,967 - 119,406) \cdot 10^{-12} = 303,471 \cdot 10^{-12} \text{ F}$. Ovdje smo opet pF pretvorili u F.

Konačno dobivamo a ($C_1 - C_2$) = $2874 \cdot 860 \cdot 303,471 \cdot 10^{-9} = 75007 \cdot 10^{-9}$. Isto tako izlazi b ($C_2 - C_3$) = $33851 \cdot 10^{-9}$, pa je a ($C_1 - C_2$) = $-b$ ($C_2 - C_3$) = $39156 \cdot 10^{-9}$.

Predmo sada na brojnik. Prvi ćemo član brojnika dobiti, ako veličinu b ($C_1 - C_2$), koju smo malo prije izračunali, pomnožimo s C_2 . Dobivamo

$$b$$
 ($C_1 - C_2$) $\cdot C_2$ = $428410 \cdot 10^{-12}$.

Na isti način izlazi

$$a$$
 ($C_2 - C_3$) $\cdot C_3$ = $216595 \cdot 10^{-12}$.

Dakle je vrijednost brojnika

$$b$$
 ($C_1 - C_2$) $C_2 - a$ ($C_2 - C_3$) $C_3 =$
= $21815 \cdot 10^{-12}$.

Konačno dobivamo za kapacitet trimera u oscilatorskom krugu

$$C_1 = \frac{21815}{39156} \cdot 10^{-12} = 54,095 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 54,095 \text{ pF}.$$

Pomoću dobivene vrijednosti za C_1 možemo sada izračunati induktivitet L_0 . Izlazi u našem slučaju

$$L_0 = 102,06 \cdot 10^{-8} \text{ H} = 102,06 \text{ } \mu\text{H}.$$

Konačno dobivamo kapacitet padinga

$$C_p = 502,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 502,85 \text{ pF}.$$

Ako su vrijednosti induktiviteta i kapaciteta u ulaznom i oscilatorskom krugu takove, kako smo ih gore izračunali, tad je sklad između tih krugova na tri mjesta idealan, t. j. kad ulazni krug resonira redom na 540, 920, 1400 kc/s, tad oscilatorski krug ima u svakom od tih slučajeva vlastitu frekvenciju za 467 kc/s višu. Kako je međutim za ostale položaje promjenljivog kondenzatora, t. j. koliki je nesklad u hodu obih krugova? To ćemo sada računski ispitati. Ako ulazni krug resonira na frekvenciju f , tad se kapacitet promjenljivog kondenzatora računa po formuli, iz koje smo izračunali C_1 , C_2 , C_3 . Mi ćemo potražiti vrijednosti C , koje pripadaju frekvencijama $f = 500, 600, 700, \dots, 1500$ kc/s, dakle u razmacima od 100 kc/s.

Iz poznatog kapaciteta C možemo onda izračunati frekvenciju f_0 oscilatorskog kruga, za koju valja

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 \left(\frac{C+C_1}{C+C_2} \right)}}.$$

U ovoj su formuli poznate sve veličine za desnu stranu. Međutim možemo paziti oko računa znatno pojednostavniti, ako uzmemo u obzir, da oscilatorski krug resonira na frekvenciju $f_u = 1007$ kc/s, ako promjenljivi kondenzator ima kapacitet C_1 . Podijelimo li formulu za f_0 a formulom za f_u , to dobivamo

$$\begin{aligned} f_0 &= f_u \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C_2 + C_1 + C_p} \cdot \frac{C + C_1 + C_p}{C + C_2}} \\ &= 1007 \cdot \sqrt{\frac{477,062}{979,912} \cdot \frac{C + 556,945}{C + 54,095}} \text{ kc/s}. \end{aligned}$$

Vrijednost kapaciteta C , koje se uvrstavaju u posljednju formulu, treba da su u pF. Tako dobivamo redom frekvencije oscilatorskog

RADIO-časopis za amateure i tehničare

kruga za različite kapacitete promjenljivog kondenzatora. Dakle možemo za svaku resonantnu frekvenciju f ulaznog kruga, našavši pripadnu kapacitet C promjenljivog kondenzatora, naći istodobnu frekvenciju oscilatorskog kruga. Rezultat ovakvog računa je prikazan u tablici. Prvi stupac sadrži frekvencije f , a drugi pripadne f_0 . U trećem je stupcu unesena vrijednost $f_0 - 467$ kc/s. To je frekvencija, koja super za odnosa položaj promjenljivog kondenzatora može primati. Naime razlika između oscilatorske frekvencije i frekvencije stanice, koju primamo, mora biti uvijek jednaka međufrekvenciji. Tako na pr. kad super prima frekvenciju 1104,3 kc/s, mora frekvencija oscilatorskog kruga biti $1104,3 + 467 = 1571,3$ kc/s. Ali u tom slučaju ulazni krug resonira na frekvenciju 1100 kc/s. On dakle nije baš idealno ugodan, jer je primana frekvencija za 4,3 kc/s viša od njegove frekvencije. Ta razlika između primane frekvencije i resonantne frekvencije ulaznog kruga unesena je u četvrti stupac naše tablice. Grafički je prikazana na sl. 2.

Iz tablice međutim možemo odmah razabrati još i ovo: naš super doista prima područje od 503,4 do 1493,5 kc/s, dakle malo više nego što se u zadatku traži. Svatko međutim, koji je praktički radio, smatrat će ovo suženje područja beznačajnim. Ako bi netko međutim želio da i frekvencije 500 kc/s i 1500 kc/s uključiti u primano područje, taj bi morao račun izvesti za područje od 499 do 1510 kc/s.

TABLICA

f (kc/s)	f_0 (kc/s)	$f_0 - 467$	Δf (kc/s)
500	970,4	503,4	+ 3,4
549	1007,0	540,0	0
600	1063,8	596,8	- 3,2
700	1162,3	695,3	- 4,7
800	1263,6	796,6	- 3,4
900	1366,4	899,4	- 0,6
999	1387,0	920,0	0
1000	1469,2	1002,2	+ 2,2
1100	1571,3	1104,3	+ 4,3
1200	1671,9	1204,9	+ 4,9
1300	1770,6	1303,6	+ 3,6
1400	1867,0	1400,0	0
1500	1960,5	1493,5	- 6,5

Kako se iz prethodnog vidi, za proračun oscilatorskog kruga u supru treba prilično vremena, a ima i dosta mogućnosti, da se to uvijek pri tome zabuni. Zato neće biti loše, ako

pokažemo, kako se možemo koristiti već provedenim računom uz malo promijenjene zahtjeve zadatka.

I. Uzmimo na pr. da netko ima promjenljiv kondenzator kapaciteta 18 do 450 pF. Kakove trimere, pading i zavojnice treba uz taj kondenzator uzeti za područje 500 do 1500 kc/s i $f_0 = 467$ kc/s?

Vidimo da je početni i konačni kapacitet ovog kondenzatora $\frac{1}{2}$ je početnog i konačnog kapaciteta kondenzatora, za koji je proračun proveden. Treba li sada proračun iznova načiniti?

Pokazat ćemo, da ne treba.

Omjer najmanje i najveće resonantne frekvencije ulaznog kruga određuje veličinu trimera u tom krugu. Imali smo prije formulu

$$\left(\frac{500}{1500}\right)^2 = \frac{20 + C_1'}{500 + C_1'}$$

Sad mora biti

$$\left(\frac{500}{1500}\right)^2 = \frac{18 + c}{490 + c}$$

Izjednačimo li desne strane ovih izraza, to dobivamo

$$\begin{aligned} \frac{18 + c}{490 + c} &= \frac{20 + C_1'}{500 + C_1'} = \\ &= \frac{0,9 \cdot (20 + C_1')}{0,9 \cdot (500 + C_1')} = \frac{18 + 0,9 \cdot C_1'}{450 + 0,9 \cdot C_1'} \end{aligned}$$

Odatle vidimo, da trimer treba umanjiti u istom omjeru, u kojem se smanjio početni i konačni kapacitet promjenljivog kondenzatora. Sada on iznosi 36 pF.

Budući da je resonantna frekvencija ulaznog kruga određena umnoškom $L \cdot (C + C_1')$, i budući da je sada vrijednost kapaciteta $\frac{1}{2}$ od one u izračunatom primjeru, to onda treba L u istom omjeru povećati, da taj umnožak ne promijeni vrijednost, t. j. induktivitet zavojnice u ulaznom krugu treba da je

$$\frac{187,63 \cdot 10^{-9}}{9} = 20,848 \mu\text{H}$$

Nadalje izlazi, da su kapaciteti C_1 , C_2 , C_3 također umanjiti 0,9 puta. To slijedi odatle, što su kapacitet K i C_1' tako umanjiti. Vrijednosti veličina a i b su iste kao i prije. Uzmemo li to dvoje u obzir, onda izlazi iz formule za trimer u oscilatorskom krugu, da taj mora biti $\frac{1}{2}$ vrijednosti iz proračunatog slučaja. Sada dakle mora imati kapacitet 48,683 pF.

Pogledajmo zatim formulu za L_0 . Brojnik se je umanjio 0,9 puta, a nazivnik $0,9 \cdot 0,9$ puta. Dakle treba prethodna vrijednost L_0 množiti s $\frac{1}{2}$, pa izlazi za induktivitet oscilatorske zavojnice 113,4 H.

Konačno iz formule za pading slijedi, da taj treba umanjiti 0,9 puta. Za njegov kapacitet dobivamo 452,56 pF.

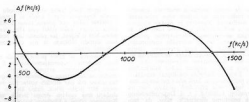
Možemo prema tome zaključiti:

Juni 1948.

Ako u jednom superu zamijenimo promjenjivi kondenzator nekim drugim, kojemu je početni i konačni kapacitet x puta odnosno kapacitet prijašnjeg kondenzatora, treba padingu i trimersima dati kapacitet x puta prijašnji, a zavojnicama u ulaznom i u oscilatorskom krugu induktivitete $1/x$ puta prijašnje. U primjeru, što smo ga gore promatrali, bilo je $x = 0,9 = 9/10$, a $1/x = 10/9$.

Odatle slijedi zaključak:

Ako u superu zamijenimo promjenjivi kondenzator nekim drugim, koji ima jednaki konačni, no nešto veći početni kapacitet, tad treba kapacitete trimera u ulaznom i oscilatorskom krugu za toliko umanjiti, za koliko je početni kapacitet novog kondenzatora veći, a ostalo ostaviti nepromijenjeno. S novim kondenzatorom je prijemno područje malo



Sl. 2.

2. Uzmimo, da promjenjivi kondenzator ima kapacitet 40 do 500 pF. Taj kondenzator ima dakle za 20 pF veći početni kapacitet od kondenzatora, za koji smo proveli račun.

Dademo li sada trimeru u ulaznom krugu kapacitet 20 pF, a L ostavimo 187,63 μ H, tad će najviša resonantna frekvencija tog kruga biti opet 1500 kc/s, no najniža je

$$1500 \sqrt{\frac{40+20}{500+20}} = 509,5 \text{ kc/s.}$$

a ne 500 kc/s. Ako nas ovo malo suženje valnog područja ne smeta, tad možemo dalje ovako zaključivati. Budući da su kapaciteti C_1 , C_2 , C_3 sada za 20 pF veći (to slijedi odatle, što $C_1 + C_1'$, $C_2 + C_2'$, $C_3 + C_3'$ moraju imati istu vrijednost kao i prije), to onda izlaz iz formule za trimmer u oscilatorskom krugu, da taj treba umanjiti za toliko, za koliko su se C_1 , C_2 , C_3 povećali, dakle za isto onoliko, za koliko smo umanjili trimmer u ulaznom krugu, t. j. za 20 pF.

Vrijednost L_0 i C_0 ostaju, kako se lako vidi, nepromijenjene.

uže; ne ide naime do tako niske frekvencije kao prije. Ako želimo to suženje izbjeći, treba provesti proračun iznova.

Diskusija izraza za C_1 , L_0 , C_0 mogla bi se nastaviti. Tako bi se na pr. mogli pitati, kako se mijenjanju te veličine, ako malo snizimo ili malo povišimo međufrekvenciju; ili, što se dogodi, ako odaberemo neke druge tri frekvencije f_1 , f_2 , f_3 , za koje treba da je sklad između ulaznog i oscilatorskog kruga idealan.

Nadalje bi trebalo izračunati C_1 , L_0 , C_0 za kratkovalno i dugovalno područje. Tu dakako treba račun u cijelosti provesti.

Napokon ne bi bilo bez interesa izvesti proračun za jednu nižu međufrekvenciju, na pr. 128 kc/s i pogledati, kakav je onda sklad između ulaznog i oscilatorskog kruga preko litave skale.

U to mi ne ćemo ovdje ulaziti, ali uvjereni smo, da će čitatelj moći i sami ove probleme riješiti prema uzoru na ovdje provedene proračune.

— val —

Maleni katodni OSCILOGRAF

DR. V. VATROSLAV LOPASIĆ:

Skoro da nema područja znanosti, tehnike odnosno industrije, na kojem nisu primijenili katodni oscilograf. Naročito je znatna njegova upotreba u radiotehnici; u jednu ruku on je bitni organ savremenog televizijskog prijemnika, a u drugu, on je mjerački instrument, koji može pratiti vrlo brze promjene struje odnosno napona. Pomoću njega možemo na pr. izmjeriti sve momentane vrijednosti, što ih neki napon poprmi unutar jedne milijuntine sekunde. Time se katodni oscilograf stavlja u red onih instrumenata, koji silno proširuju mogućnosti ispitivanja prirodnih pojava, kao na pr. mikroskop, teleskop i t. d. Dok mikroskop povećava prostorne dimenzije tako, da možemo motriti pojave na pr. unutar sićušne kapljice vode, dotle katodni oscilograf rastavlja događaje, koji su se odigrali unutar sićušnog vremenskog razmaka. S pravom bi ga dakle mogli nazvati mikroskopom za vrijeme.

Novijim razvojem nauke o gibanju elektrona pod utjecajem električnih odnosno magnetskih polja ne samo da je usavršena katodna cijev, ta jezgra katodnog oscilografa, nego je također ona prestala biti laboratorijski instrument i postala dosežna širokim slojevima elektrotehničara i radioamatera. Katodni oscilograf, koji ćemo u ovom članku opisati, to jasno pokazuje, jer njegova cijena jedva da doseže troškove za gradnju malenog radioaparata.

1. KRATKA POVIJEST KATODNE CIJEVI

Prva katodna cijev, koju je F. Braun upotrijebio (1897.) u oscilografske svrhe, jednostavna je građe (sl. 1.). Iz ravne hladne katode K izlazi široki svažan katodnih zraka, od kojih maleni okrugli otvor u zaslonu aa propušta tek uski pramen. Na mjestu, gdje taj pramen udara o fluorescentni zastor zz, vidi se svjetla mrlja. Ako sada pustimo, da kroz zavojnicu L teče izmjenična struja, koju želimo oscilografski ispitati, tad se mrlja na zastoru pomiče naprijed—natrag, jer ju uklanja magnetsko polje zavojnice. Uklon svjetle mrlje iz centralnog položaja razmjeran je jakosti struje u zavojnici. Ako se ta mrlja fotografira na ploču, koja se jednolično pomiče u smjeru odzoga prema dolje (smjer pomaka ploče okomit je na smjer pomaka mrlje!), dobiva se grafički prikaz jakosti izmjenične struje u ovisnosti o vremenu.

Napon, koji treba staviti između katode i anode Braunove cijevi kreće se između 50 000 i 100 000 volta, već prema tome, koliki je tlak plina u cijevi (oko 0,901 mm Hg). Nešto plina mora biti u cijevi, jer plinski ioni bombardirajući katodu izbijaju iz nje elektrone, dakle katodne zrake.

Braunova su cijev poboljšali na razne načine, no bitnu je promjenu načinio J. R. Johnson (1922.) uvevši grijanu katodu. Time je znatno snizio napon potreban za pogon cijevi, taj iznosi tek par stotina volta. I u ovoj cijevi mora biti nešto plina, samo što on u ovom slučaju ima sasvim drugu svrhu nego kod Braunove cijevi s hladnom katodom: on ovdje služi za koncentraciju svaženih katodnih zraka, t. j. fokusiranje katodnih zraka na fluorescentni zastor, dok je tamo služio za izbijanje katodnih zraka iz hladne katode.



Sl. 1. — Shematski prikaz Braunove cijevi.

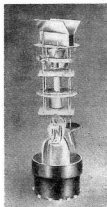
Johnsonova katodna cijev s plinom ne može se upotrijebiti za oscilografiranje visokih frekvencija, jer kod brzog pomicanja premena katodnih zraka prestaje djelovati spomenato fokusiranje pomoću plina. Te posljedice nema kod moderne katodne cijevi s visokim vakuumom (V. K. Zworykin, M. Ardame 1930.). Iz takove je cijevi plin isisan do krajnje mogućnosti, a fokusiranje se postizava pomoću naročitih elektroda, t. zv. anoda, koje imaju stalne pozitivne napone prema katodi. Elektrostatska polja, koja se stvaraju između pojedinih elektroda, tako djeluju na elektrone koji izlaze iz katode, da se oni sabere u jednoj sitnoj mrlji na fluorescentnom zastoru. Bitan uvjet za postizavanje ovakove koncentracije elektrona na zastoru jest, da elektroni izlaze iz jednog vrlo malenog područja katode. Konačni učinak elektrostatskih polja među anodama na elektrone, koji izlaze u divergentnom svaženju iz katode, može se usporediti s učinkom sabirnih leća na zrake svjetlosti, koje izlaze iz točkastog izvora. Zato se i ova spomenuta elektrostatska polja elektromskim lećama,

Novembar 1946.

Prema tome se fokusiranje katodnih zraka u modernoj katodnoj cijevi postizava pomoću elektronskih leća.

II. KATODNA CIJEV ZA NAS KATODNI OSCILOGRAF

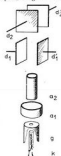
U našem »Malenom katodnom oscilografu« upotrebljena je vakuum katodna cijev Philips DG7-I. To je malena cijev, kojoj fluorescentni



Sl. 2. — Elektrode Philipsove katodne cijevi DG7-I.

zastor ima promjer 7,5 cm, a dužina joj je 16 cm. Unutarnju konstrukciju te cijevi prikazuje sl. 2., a također i crtež na sl. 3. Katoda k je indirektno grijana i spojena je s jednim krajem niti za grijanje. Oksidni sloj, koji emitira elektrone, nanesen je na vrlo malenom području tako, da elektroni izlaze praktički iz jedne točke katode. Katoda je okružena metalnim valjkom g , Wehneltovim cilindrom, koji ima na bazi mali otvor, kroz koji izlaze elektroni. Tom se cilindru daje negativni napon (negativan obzirom na katodu) i njime se upravlja emisija elektrona; šim je on jače negativan, tim manje elektrona izlazi kroz otvor na bazi cilindra. Prema tome Wehneltov cilindar djeluje onako kao i mrežica u običnoj cijevi, pa se zato često i naziva »mrežica«. Budući da svjetloča mrlje na fluorescentnom za-

storu zavisi među ostalim i o obilju elektrona, koji udaraju o zastor, to slijedi, da se mijenjanjem napona mrežice mijenja ta svjetloča. Ta mogućnost moduliranja svjetloče osnov je primjene katodne cijevi za proizvođenje slike u televizijskom prijemniku. — Pošto je snop katodnih zraka izasao iz otvora mrežice, prolazi on kroz elektrostatsko polje između mrežice i prve anode a_1 , koja ima oblik cilindra. Tim se poljem postizava prva koncentracija svežnja. Da bude mrlja na zastoru oštra, mora napon ove anode (mjeren prema katodi) biti izvjesni dio napona druge anode a_2 , kojom se



Sl. 3. — Polushematski prikaz elektroda cijevi DG7-I.

postizava konačna koncentracija i ubrzanje elektrona. Ta druga anoda ima stalni napon (maka 800 volta za našu cijev), dok se napon prve anode može regulirati (maka, 250 volta), da se dobije najbolja oština mrlje. Pri ne-



Sl. 4. — Otklon svežnja katodnih zraka električkim poljem.

malnoj upotrebi katodne cijevi spaja se druga anoda sa zemljom. Prema tome je katoda na velikom negativnom naponu prema masi aparature katodnog oscilografa. To treba naročito držati na umu, jer cijevi koje se u radioaparatu upotrebljavaju u prijemne svrhe imaju katode

RADIO-časopis za amateure i tehničare

na potencijalima, koji se znatno razlikuju od potencijala mase, a anode na visokim pozitivnim potencijalima.

Pošto su katodne zrake prošle kroz drugu anodu, putuju one dalje pravocrtno u uskom pramenu, koji konvergira prema zastoru. One zgrade zastor u sredini, ako je cijev u redu. Tu smo šutke pretpostavili, da su oba para defleksijskih pločica, kroz koja mora taj pramen proći, spojena sa zemljom. Pobudi li se međutim u prostoru među pločama, recimo d_1 d₁



Sl. 3. — Grafički prikaz napona vremenske baze.

električno polje (a to je onda, kad su te ploče na različitim potencijalima), onda se pramen na prolazu kroz taj par savija prema ploči, koja ima viši potencijal (sl. 4.). Nakon izlaza iz prostora među pločama putuje pramen opet dalje pravocrtno i zgrade zastor na mjestu S, koje je u daljini z od središta S zastora.



Sl. 6. — Sinusoida je beskrajna krivulja, u kojoj se jedan val neprestano ponavlja. Pošto je mrlja natrčala dio krivulje sadržan između granica 0 i 1, ona se vraća natrag na lijevi kraj zastora i rike sinusoidu dužje, dakle dio između granice 1 i 2. Ta se međutim slika potpuno poklapa s prvom.

Uklon u razmjeran je naponu među defleksijskim pločicama; t. j. dvostruki napon dat će dvostruki uklon, a trostruki napon trostruki uklon, i t. d. Ako se dakle stavi na ploče d_1 d₁ izmjenični napon, titrat će mrlja gore—dolje u ritma toga napona i svaki će čas njezin uklon iz središnjeg položaja biti razmjeran momentanoj vrijednosti tog napona. Budući da se to pomicanje mrlje zbiva vrlo brzo, to se ona za oko razvucе u svijetli pramac, kojim je dužina razmjerna razlici između maksimalnog pozitivnog i maksimalnog negativnog napona među pločama. Ako se radi na primjer o sinusoidalnom naponu, tad je dužina pravca razmjerna dvostrukoj amplitudi tog napona.

III. VREMENSKA BAZA

Da vidimo, po kakovom se zakonu mijenja izmjenični napon, koji pomiče svijetlu mrlja gore—dolje na fluorescentnom zastoru. Treba još saznati da ona jednolično putuje po zastoru

recimo od lijeva na desno. Tada ona upravo rike zakon napona u ovisnosti o vremenu. Tim pomicanjem mrlje u horizontalnom smjeru nadomješćeno je pomicanje fotografske ploče, koje je prije spomenuto. Ovim načinom promatranja promjenljivih napona omogućeno je ispitivanje i takvih napona, koji se vrlo brzo mijenjaju, jer se brzina, kojom se pomiče mrlja po zastoru, može kod velikih cijevi povisiti i na 10 km/s. To se pomicanje mrlje u horizontalnom smjeru može postići drugim parom defleksijskih ploča d_2 d₂, koje se spajaju s posebnim električnim uređajem, t. zv. vremenskom bazom, koji daje napon, koji raste jednolično s vremenom. Tad naime putuje i mrlja stalnom brzinom u horizontalnom smjeru.

Ako je istraživani napon periodičan, t. j. ako se kroz duže vrijeme na isti način ponaša, kao što je na pr. izmjenični napon gradske mreže, tad je zgodno načiniti vremensku bazu tako, da brzo baci mrlju s kraja njezine staze opet na početak, da ona započne svoje jednolično putovanje preko zastora iznova. Prema tome treba da se napon, što ga daje vremenska baza, vladu po zakonu pilinih zubaca (sl. 3.). Da se dobije mrlja na zastoru cijevi, mora biti frekvencija pilinih za-

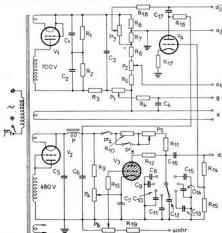
baca ili točno jednaka frekvenciji istraživanog napona ili $1/2$ te frekvencije ili $1/3$ te frekvencije ili $1/4$ i t. d. Uzmimo na pr. da je frekvencija pilinih zubaca upravo $1/2$ frekvencije nekog sinusoidalnog napona, koji nam uklanja mrlju gore—dolje i da je taj napon baš nula u času, kad mrlja započne svoje putovanje od lijeva na desno. Tada mrlja natrče točno dva vala tog napona putujući do desnog kraja zastora. Tada je međutim pilasti napon naglo baci na početak staze, da započne ponovo risati slijedeća dva vala sinusoida. Budući da je frekvencija pilinih zubaca točno $1/2$ frekvencije sinusoida, to će ova druga slika biti potpuno jednaka prvoj, jer započinje s jednakom fazom kao i prva. Dakle će ova druga dva vala pasti točno preko ona prva dva (sl. 6.). Na isto će mjesto doći i slijedeća dva vala i t. d. Na zastoru će dakle mirovati dva vala istraživanog napona. Ako je frekvencija pilinih zubaca $1/3$ frekvencije izmjeničnog napona, to ćemo dobiti na zastoru tri potpuna vala i t. d.

November 1946.

IV. ISPRAVLJAC ZA KATODNU CIJEV

Maksimalni anodni napon kod naše katodne cijevi iznosi 800 volta. Cijev radi dobro i s nižim naponom, recimo 500 volta, no svjetloća slike na zastoru je manja, jer su elektroni sada sporiji, pa im je energija manja. Prema tome treba tjerati katodnu cijev s najvećim dozvoljenim naponom, ako nam stoji na raspolaganju.

te zavojnice pozitivan, a donji negativan, nabije se serija kondenzatora C_1 i C_2 na $700 \cdot \sqrt{2} = 980$ volta. Da svaki od tih kondenzatora dobije upravo polovicu tog napona, spojen je paralelno s njima visokoomski razdjelivač napona (otpori R_1 i R_2). Budući da je anodna struja katodne cijevi vrlo slaba (oko 0,1 mA), to možemo postići zgodnim dimen-



Sl. 7. — Shema malenog katodnog oscillografa.

Sastavni dijelovi:

$R_1 = 4 \text{ M}\Omega$	$R_{16} = 0,4 \text{ M}\Omega$	$R_{18} = 0,2 \text{ M}\Omega$	$C_8 = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{17} = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$
$R_2 = 4 \text{ M}\Omega$	$R_{17} = 0,15 \text{ M}\Omega$		$C_9 = 0,15 \text{ }\mu\text{F}$	
$R_3 = 0,1 \text{ M}\Omega$	$R_{12} = 500 \text{ }\Omega$	$C_1 = 2 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{18} = 0,05 \text{ }\mu\text{F}$	$P_1 = 20.000 \text{ }\Omega$
$R_4 = 1 \text{ M}\Omega$	$R_{13} = 20.000 \text{ }\Omega$	$C_2 = 2 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{19} = 15.000 \text{ pF}$	$P_2 = 0,1 \text{ M}\Omega$
$R_5 = 0,1 \text{ M}\Omega$	$R_{14} = 4 \text{ M}\Omega$	$C_3 = 2 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{12} = 5.000 \text{ pF}$	$P_3 = 50.000 \text{ }\Omega$
$R_6 = 0,3 \text{ M}\Omega$	$R_{15} = 0,2 \text{ M}\Omega$	$C_4 = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{13} = 1.500 \text{ pF}$	$P_4 = 5.000 \text{ }\Omega$
$R_7 = 20.000 \text{ }\Omega$	$R_{16} = 0,1 \text{ M}\Omega$	$C_5 = 2 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{14} = 500 \text{ pF}$	$P_5 = 0,5 \text{ M}\Omega$
$R_8 = 20.000 \text{ }\Omega$	$R_{17} = 1.000 \text{ }\Omega$	$C_6 = 2 \text{ }\mu\text{F}$	$C_{15} = 150 \text{ pF}$	$P_6 = 50.000 \text{ }\Omega$
$R_9 = 0,5 \text{ M}\Omega$	$R_{18} = 4 \text{ M}\Omega$	$C_7 = 50 \text{ }\mu\text{F}, 50 \text{ V}$	$C_{16} = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$	

Potrebni napon od 800 volta daje ispravljač, koji ćemo sada opisati. Spoj ispravljača prikazan je u gornjem dijelu sheme na sl. 7. Sekundarna zavojnica transformatora daje elektivni napon 700 volta. Kad je gornji kraj

zioniranjem razdjelivača napona, koji daje ostale napone potrebne za pogon katodne cijevi, da je ukupna struja, što je mora ispravljač dati, vrlo slaba. U tom slučaju je dovoljno otporno gladeње pulzirajućeg napona na kon-

RADIO-časopis za amatore i tehničare

denzatorskoj seriji C_1 i C_2 . To se gladenje postizava otporom R_2 i kondenzatorom C_3 . Preko kondenzatora C_3 spojen je spomenuti razdjeljivač napona, koji daje napone za mrežicu i prvu anodu katodne cijevi. Na negativnom kraju razdjeljivača napona je potencijometar P_1 , kojim se može regulirati negativni napon mrežice, dakle svjetloća mljele. Taj se napon još gladi otporom R_4 i kondenzatorom C_4 . Pozitivni kraj potencijometra P_1 spojen je s katodom. Na potencijometar P_2 nadovezuje se otpor R_5 , a na njega potencijometar P_3 , s kojeg se uzima napon za



Sl. 8. — Shema spoja za snimanje karakteristike plinske triode.

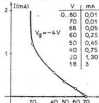
anodu a_2 . Prema tome se potencijometrom P_2 namješta oštrina svjetle mljele. Na potencijometar P_2 se nadovezuje otpor R_5 , koji je preko dva namjeka otpora R_7 i R_8 spojen s pozitivnim krajem kondenzatora C_5 . Točka, u kojoj se sastaju R_7 i R_8 , spojena je s a_2 i sa zemljom. Pad napona na otporima R_7 i R_8 premošten je potencijometrom P_3 . Donji kraj potencijometra je za nekih 15 volta negativan prema zemlji, a gornji za isto toliko pozitivan. Klizaljkom na P_3 može se uzeti kojegod od potencijala između tih granica. Pomoću tog napona može se, kako ćemo kasnije vidjeti, trajno ukloniti mljela bilo neito na lijevu, bilo neito na desno.

Ovaj ispravljač razlikuje se u više značajnih crta od običajno ispravljača u radionapratu. Dobro će biti, da to naročito istaknemo. Napon je ispravljača visok; na kondenzatorskoj seriji C_1 i C_2 imamo skoro 1000 volta, a polazeći napon između katode i anode ispravljačke cijevi V_1 kreće se između nula i 2000 volta. S druge strane jakost struje, što je mora ispravljač dati, iznosi samo 1,5 mA. To sa činjenice, koje treba uzeti u obzir pri izboru ispravljačke cijevi. Ako ne raspolažemo sa specijalnom cijevi, možemo si pomoći, kako je bio slučaj kod naše aparature, s jednom starom triodom, koja ima anodu izvedenu na vrhu balona, u našem slučaju cijev Philips A 433. Mrežicu te cijevi treba spojiti s katodom. Nadalje valja istaknuti, da je pozitivni kraj ispravljača spojen sa zemljom. To naročito treba uzeti u obzir kod transformatora. Donji kraj visokonaponske zavojnice nalazi se trajno na napnu od —1000 volta prema zemlji, a napon gornjeg kraja palazira, kako je već prije spomenuto i na

časove postizava napon —2000 V prema zemlji. Prema tome treba da je taj kraj transformatorske zavojnice na površini, a donji kraj treba dobro izolirati od ostalih namotaja transformatora. Kondenzatori C_1 , C_2 , C_3 su papirnati i treba da imaju ispitni napon barem tri puta veći od radnoga. Potencijometar P_1 ima napon od približno —800 volta prema zemlji i na to valja mialiti pri montaži toga potencijometra. Napon, na kojemu se nalazi potencijometar P_2 je za nekih 200 volta manji.

V. PLINSKA TRIODA U SLUŽBI VREMENSKE BAZE

Preostali dio sheme u sl. 7. predočaje vremensku bazu. U našem slučaju je to oscilator, koji daje napon, koji se mijenja po zakonu zuba pila. Najvažniji element tog oscilatora je cijev V_2 . Ta se cijev bitno razlikuje od obično indirektno grijane triode u tome, što u njezinom balonu ima nešto plamenitog plina, bilo argona, bilo helija. Upotrebljena je Philipsova cijev 4665 s argonom. Da se upoznamo s djelovanjem te cijevi, smislićemo karakteristiku te cijevi i to anodnu struju u ovisnosti o anodnom naponu za izvijeni stalni prednapon mrežice. U tu svrhu treba načiniti spoj prema sl. 8. Otpor od 0.2 MΩ u anodnom krugu je bitan, kako ćemo odmah razabrati. Neka je prednapon mrežice —4 volta. Povećavamo sada počevši od nula anodni napon tako, da po-



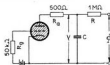
Sl. 9. — Karakteristika plinske triode.

većavamo napon Φ . Dok anodni napon V raste od nula do 60 volta, anodna je struja nula. Kod 20 volta počinje teći anodna struja 0.01 mA. Kad dalje povećavamo napon Φ , anodna struja raste, no anodni napon naglo opada, kako se vidi iz tablice i iz grafičkog prikaza u sl. 9. Kad cijev počne voditi struju, onda elektroni na svojem putu od katode do anode ioniziraju plin i time se broj nosioca anodne struje naglo povećava, pa zato unutarnji otpor cijevi postane manji: cijev je sada „upalila“. Kad cijev upali, razvije se onako velika anodna struja, kako je dopušta otpor u anod-

November 1948.

nom kruga. Da toga otpora nema, struja bi porasla toliko, da bi razorila cijev. Kod naše cijevi smije srednja vrijednost struje biti najviše 3 mA, a momentana 300 mA. Kad struja postigne iole znatniju vrijednost, padne anodni napon na nekih 20 volta. Taj napon ne zavisi o tome, koliki je prednapon mrežice. S druge strane napon, kod kojega cijev pali zavisi o naponu mrežice i on se povećava za 21 volt, ako prednapon mrežice povećamo za -1 volt.

U sl. 10. prikazan je načelni spoj plinske triode za dobivanje napona, koji se vladu po zakonu zubaca pile. Napon Φ neka bude na pr. 600 volta. Taj napon nabija kroz otpor R kondenzator C . Paralelno s tim kondenzatorom je spojena plinska trioda. Budući da je napon V na kondenzatoru počeo rasti od vrijednosti nulta, to plinska trioda ne vodi struje i sav elektricitet, koji dolazi kroz otpor R , sabira se u kondenzatoru C . Prema tome napon V raste po eksponencijalnom zakonu, koji se na ovom početku malo razlikuje od zakona pravca, ako je napon Φ dovoljno visok. Napon V raste do napona paljenja plinske triode. Taj napon, kako smo malo prije vidjeli, zavisi o prednaponu mrežice. Kad cijev upali, razvije se vrlo jaka anodna struja, jer je otpor R , koji je ima ograničiti na vrijednost ispod 300 mA, malen i ta struja naglo isprazni kondenzator C , jer elektricitet prespore dolazi kroz otpor R , a da bi mogao nadoknaditi gubitak napona kondenzatoru uslijed jake anodne struje plinske triode. Budući da je kondenzator izgubio svoj naboj, to više nema mogućnosti, da održava anodnu struju i plinska trioda ugasi.



Sl. 10. — Principijelni spoj vremenske baze s plinskom triodom.

$R = 1 \text{ M}\Omega$; $C = 0.5 \text{ }\mu\text{F}$; $R_2 = 500 \text{ }\Omega$;
 $R_3 = 50000 \text{ }\Omega$.

Sad počne igrati iznova. Opet se na kondenzatoru C sabire naboj i zato napon V raste u prvom približnosti jednolično s vremenom, dok ne dosegne napon paljenja i t. d. Prema tome napon V raste polagano od nekih 20 volta do napona paljenja, recimo do 70 volta, zatim naglo padne opet na 20 volta, da počne iznova rasti i t. d. Prema tome se izmjenična komponenta napona V vladu po zakonu pile.

Frekvencija pilnih zubaca zavisi o naponu Φ , veličini otpora R i kondenzatora C , te o amplitudi promjena napona V . Budući da u oscilografskoj praksi trebamo različite fre-

kvensoje, to u praktičnoj izvedbi vremenske baze mora postojati mogućnost, da se otpor R , kapacitet C i prednapon mrežice može mijenjati. Sada ćemo prikazati, kako se to može izvesti.

VI. PRAKTIČNA IZVEDBA VREMENSKE BAZE

Shema vremenske baze našeg katodnog oscilografa prikazana je u donjem dijelu sl. 7. Stalni napon Φ daje ispravljač. Budući da je ukupni potrošak anodne struje malen (oko 7 mA), to je dovoljno uzeti jednosmjerno is-



Sl. 11. — Trapezna deformacija.

pravljanje. Sekundarna zavojnica, koja daje efektivni napon 480 volta, namotana je na istoj jezgri, na kojoj je i zavojnica ispravljača za katodnu cijev. Kao ispravljačka cijev upotrijebljena je stara trioda Telefunken RE 154, a isto tako se mogu upotrijebiti Philipsove cijevi B 401, B 406 ili što slično. Mrežicu tih cijevi treba u ovom slučaju spojiti s anodom. Budući da napon na kondenzatoru C_3 iznosi oko 670 volta, to on mora biti dobre kvalitete i imati visoki ispitni napon. Inače je taj ispravljač potpuno neozbiljan i negativni mu je pol spojen s «masom». Glavljenje pulsirajućeg napona na C_3 postizava se pregriznikom P i kondenzatorom C_4 . Ako bi željeli upotrijebiti elektrolitičke kondenzatore u tu svrhu, onda bi morao napon biti manji i morali bi uzeti u obzir potrošak struje tih kondenzatora. U tom slučaju ne bi izišli s tako jednostavnom ispravljačkom cijevi. Pregriznika treba da ima veliku samoindukciju, jer valovitost anodnog napona daje neugodno smetnje u radu vremenske baze. Napon na kondenzatoru C_4 je napon Φ , kojim se hrani vremenska baza.

Kad je prekidač pr_2 sklopljen (na istoj osnovici s potencijometrom P_4), nabija se kroz stalni otpor R_{12} , potencijometar P_3 i otpor R_{13} , jedan od kondenzatora C_6 do C_{12} . Kad se je taj nabio, do napona paljenja plinske triode P_{12} isprazni se on kroz tu cijev u elektrolitički kondenzator C_5 , velikog kapaciteta. Taj se kondenzator trajno prazni kroz dio potencijometra P_4 i ta struja pražnjenja skupa sa strujom, koja dolazi kroz otpor R_1 daje potrebni prednapon za plinsku triodu. Poslije nam klizaljke na potencijometru P_4 može se taj prednapon povećati ili umanjiti i time se povećati ili umanjiti amplituda napona pilnih

RADIO-časopis za umetere i tehničare

zubata na kondenzatoru C_6 . Frekvencija tog napona mijenja se pomicanjem klizaljke na potencijometru P_5 . Ta je promjena frekvencije suprotna, dok se preklopnikom može birati jedan od kondenzatora C_5 do C_{11} i time se mijenja frekvencija u skokovima. Prekidanjem pr_2 može se otpor R_{15} kratko spojiti i tako podvući potpuno područje varijabilnosti potencijometra P_5 . Taj otpor nije potreban, ako raspolažemo s potencijometrom od 1 MF, koji podnosi struju potrebnu za nabijanje kondenzatora C_6 . Otporom R_{15} određena je sornja granica te struje (u našem slučaju 3 mA).

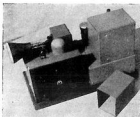
Izmjenična komponenta zubastog napona privodi se preko kondenzatora C_{11} jednoj od defleksionih pločica, kojima se dobiva uklon u horizontalnom smjeru. Kroz visokoomski otpor R_{16} i otpor R_{12} spojena je ta pločica sa zemljom. Prema tome je srednji potencijal te pločice automatski jednak potencijalu zemlje, ako je vodljivost kondenzatora C_{11} vrlo mala prema vodljivosti otpora R_{12} . Budući da kondenzator C_{11} i otpor R_{12} moraju biti veliki, da bude vremenska konstanta $R_{12} \cdot C_{11}$ velika prema najvećem trajnom vremenu zubastog napona, koji treba pomoću ovoga kondenzatora i otpora pomicati na defleksionu pločicu d_2 , to je očito, da kondenzator C_{11} mora biti vrlo dobre kvalitete i mora imati čim manju vodljivost. Taj kondenzator i C_{12} , koji ima sličnu službu, treba naročito ispitati prije nego li se spoje u aparat.

Kako smo vidjeli, potencijal defleksione pločice d_2 ima srednju vrijednost nula. Njegova momentana vrijednost mijenja se od neke minimalne negativne vrijednosti do približno isto tolike pozitivne vrijednosti. Potrebno polje za uklon svežnja katodnih zraka mogli bi postići tako, da drugu defleksionu pločicu d_1 napreosto spojimo sa zemljom. Tako se doista i radi kod nekih katodnih cijevi, no kod naše DG 7-1 dobili bi u tom slučaju t. zv. trapeznu deformaciju oscilograma na zatoru. To se očituje u tome, da jedan te isti napon između drugog para ploča daje veći uklon u vertikalnom smjeru, kad je mrlja recimo na desnom kraju zatoru, od onoga, kad je na lijevom. Prema tome nije oscilogram nekog izmjeničnog napona stalne amplitude sadržan unutar jednog pravokutnika, nego unutar trapeza (sl. 11).

Trapeznu deformaciju neće biti, ako potencijal druge pločice, dakle pločice d_1 ima u svaki čas vrijednost jednaku no protivnu potencijalu pločice d_2 . Prema tome treba na pločicu d_1 dovesti isto tako veliki zubasti napon kao i na pločicu d_2 , samo taj napon mora imati protivnu fazu. Napon protivne faze dobiva se pomoću cijevi V_4 , koja je u običnom spoju otpornog pojačala, jer je kod takovog pojačala izmjenična komponenta potencijala anode uvijek protivnog znaka od izmjenične komponente potencijala mrežice. Doista, ako napon na mrežici pomate, onda

se pojača anodna struja, pa se prema tome povećava pad napona na anodnom otporu R_{a1} i time se potencijal anode snizi.

Da bude amplituda zubastog napona, koji privodimo pločici d_1 jednako velika kao i amplituda na d_2 , privodi se na mrežicu cijevi V_4 samo dio napona s pločice d_2 , nazivno toliko, koliki je omjer otpora R_{a1} prema zbroju otpora $R_{a1} + R_{a2}$. Time se kompenzira pojačanje, što ga daje cijev V_4 . To je pojačanje sniženo i time, što katodni otpor R_{k2} nije blokiran. U svrhu dobivanja zubastog napona protivne faze može se upotrijebiti svaka



Sl. 12. — Pogled na izgrađeni oscilograf.

cijev, koja ima maleni anodni kapacitet. Dakužno da treba paziti, da se u samoj aparaturi taj kapacitet nepotrebno ne povećava. Mi smo upotrijebili cijev Tangram AR 4107. Prema njoj su odmjereni i otpori u našoj shemi.

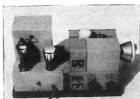
Otpor R_{18} nije spojen na zemlju nego na klizaljku potencijometra P_5 . Tim se potencijometrom može dati pločici d_1 neki stalni pozitivni ili negativni prednapon, dakle se može tim potencijometrom ukloniti mrlja malo ili na lijevo ili na desno.

Preostaje još da kažemo, koja svrhu ima potencijometer P_5 . Ako se na stezaljku označenu za *sinhr.* spoji izmjenični napon, koji ima točno istu frekvenciju kao što i napon, koji smo priključili na defleksione pločice d_1 (najbolje je to jedan te isti napon), onda se može potencijometrom P_5 dio toga napona dovesti na mrežicu plinske triode. Ako je frekvencija nametnutog napona približno jednaka jednom mnogokratniku vlastite frekvencije zubastog napona, tad će frekvencija zubastog napona sama uskočiti u taj mnogokratnik, t. j. ta će se frekvencija sinkronizirati s frekvencijom nametnutog izmjeničnog napona. Tako možemo na lak način postići da nam je frekvencija istažbi vanog napona točno neki mnogokratnik fre-

November 1946.

kvencije zubastog napona. To je vrlo važna stvar, jer kako smo prije vidjeli, samo u tom slučaju dobijemo na zasteru mirni oscilogram, koji predložaje neki cijeli broj valova istraživanog izmjeničnog napona.

Otpor R_{12} u mrežnom krugu plinske triode imade zadatak da ograniči mrežnu struju. Naime kad je cijev upalila, onda u prostoru među elektrodama cijevi ima mnogo plinskih iona i pozitivnih i negativnih. Budući da je mrežica negativna, namrznut će pozitivni ioni prema njoj i da nema otpora R_{12} , tekla bi vrlo jaka mrežna struja i to u negativnom smislu, ako smisao anodne struje u cijevi uzimamo kao pozitivan.



Sl. 13. — Pogled na izgrađeni oscilograf s druge strane.

Kondenzatori C_8 i C_{12} treba da su dobre kvalitete, jer čim je veća vodljivost tih kondenzatora, tim je dalje zakon, po kojem lagano raste zubasti napon, od linearnoga. K vodljivosti kondenzatora treba, kako jedan pogled na shemu pokazuje, pribrojiti i vodljivost preklopnika za biranje kondenzatora i vodljivost podnožja plinske triode, u koliko nije anoda te cijevi izvedena na vrhu balona. Uz naš izbor kondenzatora C_8 do C_{12} može se mijenjati frekvencija zubastog napona od 10 titraja u sek. do 40 000 titraja u sekundi. S odabranom plinskom triodom ne može se dalje ići prema višim frekvencijama. Leži to u naravi same cijevi. Ako se želi zubasti napon više frekvencije, treba se poslužiti plinskom triodom s helijem, kao što je Philipsova cijev 4696 ili treba načiniti vremensku bazu s vakuum cijevima.

Za dobitu zubastog napona važno je, da povratak mreže ne bude prebrz. Obično se uzima, da taj povratak traje $1/20$ onog vremena, što ga mreža treba da potragano pređe preko zastera. Trajanje tog povratka određeno je među ostalim i otporom R_{12} , pa tako vidimo, da on nema zadatak samo da ograniči anodnu struju plinske triode, nego o njemu zavisi i linearnost gibanja mreže u horizontalnom smjeru.

VII. NEKOLIKO OPCENTIH NAPOMENA

Često se oscilograf upotrebljava bez vremenske baze. U tom slučaju treba da su defleksione pločice $d_1 d_2$, koje se spajaju s vremenskom bazom izvedene na stezaljke tako, da se na njih može staviti neki drugi napon. To se preklapanje vrši posebnim preklopnikom, koji nije u shemi ucrtan. Tim se preklopnikom istovremeno prebacuje napon, što ga daje vremenska baza također na stezaljke tako, da se može taj napon dalje upotrijebiti. Ako ne trebamo zubastog napona, onda se prekidačem pr_2 prekine anodna struja plinske triode.

Kad se oscilograf stavlja u pogon, treba da je prekidač pr_2 otvoren, da ne bi plinska trioda dobila napon na anodu prije no što joj se katoda ugrijala. Time se produkuje život te triode. Prema tome je red za uklopavanje: Sklopi pr_1 i potečaj pola minute, pa zatim sklopi pr_2 .

Sl. 12. i sl. 13. prikazuju gotov oscilograf. Na ploči od izolatora montirani su redom potencijometri P_6 , P_8 i P_1 u gornjem redu, a P_9 , prekidač pr_1 i preklopnik za kondenzatore C_8 do C_{12} , te potencijometer P_4 u donjem redu (sl. 12.). U sl. 13. koja prikazuje oscilograf s druge strane, vidimo na lijevom dijelu šasije prekidač pr_2 , a na desnom gore stezaljke za priključak pločica $d_1 d_2$ i odmah ispod njih stezaljku sinka. Dolje su stezaljke za eventualni priključak pločica $d_1 d_2$. U sredini ispod ovih je stezaljka za priključak mase na zemlju, a ispod nje par stezaljka, na koje se može izvesti zubasti napon vremenske baze, za upotrebu izvan oscilografa.

Na saimkama se razabire, da je šasija izvedena u dva dijela. Na jednom je dijelu ispravljački dio, a na drugome vremenska baza i katodna cijev. To je učinjeno radi toga, da se prekine put raspršenim magnetskim silnicima, koje izlaze iz transformatora i prigušnice i koje bi mogle po šasiji od željeznog lima doći do katodne cijevi i na izazvati vrlo neugodne smetnje. Sam transformator je potpuno zatvoren u kutiju od željeznog lima. Katodna je cijev također oklopljena željeznom limom, koji ju štiti od magnetskih i električkih polja. Očito je, da treba sastojati, da je raspojeno magnetsko polje transformatora čim slabije. To će se postići, među ostalim i tako, da se pri dimenzioniranju transformatora uzme čim slabiji tok magnetske indukcije u njegovoj jezgri.

Kad smo se uvjerali, da je naš oscilograf dobio spoj i da se može postići čista mreža na zasteru (kad mreža miruje na zasteru mreža ona biva samo vrlo malog intenziteta), uklopili čemo vremensku bazu i ako ona dobro radi, naš je oscilograf spreman za najrazličitija ispitivanja, od kojih čemo nekoja najznačajnija prikazati u poslećem članku.

(Bakteriologische Abteilung des Zentralen Hygienischen Institutes und
Physikalisches Institut der Technischen Fakultät der Universität in Zagreb.)

Die Gewinnung einiger Antigene mittels Ultraschall.

(Das Streptokokken-Antigen C und das Vi-Antigen der Salmonella Ballerup).

Von H. WEISGLASS, V. LOPAŠIĆ und L. ČELJUSKA.

1. Einleitung.

Nach der Entdeckung des Ultraschalls und der wachsenden Erkenntnis, daß man damit starke mechanische Wirkungen erzielen kann, sind einige Bakteriologen auf den Gedanken gekommen, den Ultraschall zur Desintegration (1) oder Dissoziation (2) der Keime zu verwenden. Andere haben versucht, mittels des Ultraschalls verschiedene Antigene oder auch Enzyme (3) zu gewinnen.

Einige Forscher haben nach der Ultraschallung ein erhöhtes Agglutinationsvermögen und ein Nachlassen der Virulenz festgestellt. Es kann aber auch der entgegengesetzte Fall vorkommen. Unter den führenden Autoren auf diesem Gebiete seien *Floedorf* und *Chambers* erwähnt, denen es als ersten zu zeigen gelang, daß man mittels des Ultraschalls die labilen Komponenten aus den Bakterien extrahieren kann (4).

Um den Ultraschall zu erzeugen, bedienen sich einige dieser Forscher eines Vibrators aus Nickel z. B. (5), andere hingegen verwendeten Quarzplatten (6). Im ersten Falle handelt es sich um niedrige und im letzten um höhere Ultraschallfrequenzen.

Worin eigentlich die Wirkung des Ultraschalls auf Keime besteht, ist noch Sache der Diskussion (7). *Grabar* z. B. versucht die Wirkung der Flüssigkeit, in welcher die Keime suspendiert sind, der Kavitation in Tropfflüssigkeiten zuzuschreiben (8).

Unserer Meinung nach besteht das Wesentliche der Ultraschallwirkung auf Keime darin, daß im Ultraschallfelde ungeheure Accelerationen erzielt werden, die jenen der stärksten Ultrazentrifugen (bis 1 000 000 g) gleichkommen. Außerdem handelt es sich

beim Ultraschallfelde um eine wechselnde Acceleration. Mit unserer Apparatur wurde — wie dies später ersichtlich sein wird — eine Accelerationsamplitude bis zu 150 000 g erzielt.

2. Das Arbeitsziel.

Wir hatten uns in dieser Arbeit die folgenden Aufgaben gestellt:

1. Untersuchung der Wirkung des hochfrequenten Ultraschalls auf Streptokokken-Ketten;
2. Gewinnung der Streptokokken-Antigene;
3. Untersuchung der Wirkung hochfrequenten Ultraschalls auf die Vi-Antigene enthaltenden Salmonellen, und
4. Versuch der Isolierung der Vi-Substanz und Prüfung ihrer immunisierenden Wirkung.

3. Die angewandte Apparatur.

Bei unserer Apparatur wird der Ultraschall mittels einer aus Quarzkristall ausgeschnittenen piezoelektrischen Platte erzeugt (sogenannter X-Schnitt). Die Platte hat die Form eines Quadrates von 25 mm Seitenlänge und ist 0,8 mm dick. Wenn man diese Platte in ihrer Dicke zu resonanten Schwingungen anregt, strahlen aus 25×25 mm² Fläche Ultraschallwellen mit einer Frequenz von 3300 kHz aus. Der Ultraschall einer so hohen Frequenz kann durch die Luft nicht mehr als einige Millimeter dringen, da seine sehr kurzen Wellen stark absorbiert werden. In Tropfflüssigkeiten hingegen, wie z. B. Wasser, physiologischer NaCl-Lösung, verschiedenen Ölen usw., legt der Ultraschall sogar einige Meter zurück. Außerdem ist die ausgestrahlte Ultraschallenergie in Tropfflüssigkeiten beträchtlich größer als in der Luft. Es ist daher klar, daß für die Übertragung des Ultraschalls von der Quarzplatte auf keimhaltige Flüssigkeiten eine entsprechende Tropfflüssigkeit verwendet werden mußte. Wir haben uns zu diesem Zwecke des Paraffinöles bedient.

Die verwendete Apparatur ist halbschematisch auf Bild 1 dargestellt, während Abbildung 2 eine Aufnahme dieser Apparatur darstellt.

Der Oszillator mit zwei Elektronenröhren von 25 Watt, in gegenphasiger Schaltung erzeugt die für die Erregung der Quarzplatte nötige Hochfrequenzspannung. Die Frequenz des Oszillators kann in der Umgebung der resonanten Frequenz des Quarzes (3300 kHz) geändert werden. Die obere und untere

324

Weisglass, Lopašić und Celjuska.

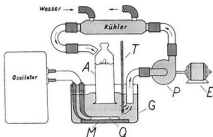


Abb. 1. Der Quarz (Q) liegt auf einer Messingunterlage (M), die sich in einem bis 3 cm Höhe mit Paraffinöl gefüllten Glas befindet. Die hochfrequente Energie wird dem Quarz aus dem Oszillator zugeführt. Eine durch den Elektromotor (E) mit regulierbarer Geschwindigkeit betriebene Pumpe (P) ist für die Kühlung des Öls dazwischengeschaltet. Sie befördert das erwärmte Öl aus dem Glas in den Kühler, dessen Mantel mit Leitungswasser gespeist wird. Das abgekühlte Öl wird der Ampulle (A), die den Ultraschallschwingungen ausgesetzt ist, zurückgeführt. Die Temperatur des Öls im Glas (G) wird mit dem Thermometer (T) gemessen. Solange sich die Quarzplatte in Schwingung befindet, sind die Oberflächen in der Ampulle und im Glase stark bewegt. Der Quarz, das Glas und die Ampulle erscheinen im Verhältnis zu Pumpe, Motor und Kühler in größerem Maßstabe.

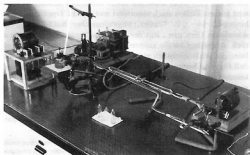


Abb. 2. Die angewandte Versuchsanordnung mit Kühlsystem.

Fläche der Quarzplatte sind metallisiert und dieser Metallüberzug bildet den Kondensator, auf welchem die Spannung vom hochfrequenten Oszillator aufgelegt wird, während sich der Quarz am Boden der Öl enthaltenden Schale befindet. Die Schwingungen werden vom Quarz auf das Öl übertragen, gehen durch den Cellophanboden der Ampulle und dringen in die keimhaltige Flüssigkeit ein.

Das Öl wird beim Durchdringen des Ultraschalls schnell erwärmt, so daß es gekühlt werden muß. Dies wird dadurch erreicht, daß eine kleine turbinenartige Saugpumpe das erwärmte Öl aus dem Glas in einen Kühler befördert, wo es vom Leitungswasser abgekühlt wird. Das abgekühlte Öl wird dann auf die Ampulle gegossen, damit auch sie gekühlt wird, da infolge der Absorption des Ultraschalls auch in der Flüssigkeit der Ampulle Wärme erzeugt wird. Diese Abkühlung ist für die Versuche mit Keimen von besonderer Wichtigkeit, da sonst schon nach einigen Minuten die Temperatur auf 40° C und darüber hinaus steigen und eine so hohe Temperatur die suspendierten Keime inaktivieren würde. Der rasche Temperaturanstieg hat seine Ursache in der großen Ultraschallstärke, welche in unserer Apparatur etwa 20 Watt beträgt.

Die Ausbreitung des Schalles durch ein Mittel ist eine adiabatische Erscheinung; an der Stelle der Kompression ist die Temperatur höher und an der Stelle der Dilatation niedriger. In der Luft und bei Gasen können diese Temperaturerhöhungen im starken Schallfeld beträchtlich sein (9). Bei Tropfflüssigkeiten (Öl, Wasser usw.) hingegen ist die Temperaturerhöhung gering und beträgt, z. B. bei der Druckamplitude von 1,5 Atmosphären, nur 0,1° C. Aus diesem Grunde können diese periodischen Temperaturveränderungen, die mit der Frequenz des Ultraschalls vorgehen, keine Wirkung auf die Keime haben.

Der Druck steigt in der Flüssigkeit bei oben erwähnter Ultraschallstärke von 20 Watt bis zu 3 Atmosphären an. An beliebiger Stelle in der Flüssigkeit, durch welche sich der Ultraschall ausbreitet, ändert sich der Druck derart, daß er 3 300 000mal in der Sekunde um 1,5 Atmosphären größer ist als der durchschnittliche Druck, und abwechselnd ebensoviel um denselben Betrag kleiner. Die Ultraschallwellen dieser Frequenz sind 400 Mikronen lang, und dies bedeutet, daß die Stellen des hohen und niedrigen Druckes nur 200 Mikronen voneinander entfernt sind. Demzufolge besteht in unserem Ultraschallfeld ein Druckunterschied von 3 Atmosphären im Abstände von 200 Mikronen. Dieser Druckunterschied hat eine Beschleunigungsamplitude von 150 000 g zur Folge. Dieser hochfrequenten Beschleunigung sind, bei Ausschaltung der Erwärmung, die Wirkungen des Ultraschalls auf Keime zuzuschreiben.

4. Die Arbeitsmethode und die erzielten Resultate.

Vor allem mußte ein Weg gefunden werden, um den Ultraschall durch den Boden der Ampulle zu leiten. Der Glasboden der Ampulle stellt ein großes Hindernis für die Ultraschallwellen dar, und die Stärke des Ultraschalls in der Ampulle ist viel geringer als im Öle. Wenn der Quarz ins Schwingen kommt, ist die Oberfläche sehr bewegt (wenn keine Ampulle da ist, steigt das Öl in Form einer Fontäne), wogegen die Oberfläche der Flüssigkeit in der Ampulle mit Glasboden nur eine schwache Bewegung erkennen läßt. Auf diese Weise kann keine wesentliche Wirkung des Ultraschalls auf die Keime erzielt werden.

Um den Ultraschall in der Ampulle zu verstärken, haben wir ihren Boden abgeschliffen und den dadurch entstandenen Rand nach außen umgebogen. Die derart zubereitete Ampulle wurde mittels einer 0,1 mm dicken Cellophanmembrane geschlossen. Durch einen solchen Boden dringt der Ultraschall sehr gut durch. Um die Dichtung des Bodens zu sichern, haben wir, bevor die Cellophanmembrane angebracht wurde (Abb. 3), den umgelegten Rand der Ampulle mit einer Celluloidlösung in Aceton bestrichen. Der Rauminhalt der Ampulle betrug etwas über 10 ccm. Die so zubereitete Ampulle wurde, vor dem Füllen mit der Keimsuspension, im Kochschen Topf sterilisiert, die obere Öffnung mit einem sterilen Wattepfropf abgeschlossen.



Abb. 3. Der untere Rand der Ampulle (A) ist gegen außen umgelegt und der Cellophanboden (C) mit Zwirn befestigt. Der umgelegte Rand war mit einer Celluloidlösung in Aceton gedichtet.

Experimenteller Teil.

a) Versuche mit den Streptokokken.

Vor allem wurden Versuche mit in destilliertem Wasser suspendierten Streptokokken N. Y. 5 (Dochez) gemacht. Wir wollten damit eine eventuelle Wirkung der Elektrolyte von physiologischer NaCl vermeiden. Die Dichte der Suspension betrug etwa 7 Milliarden Keime je ccm. Die Kultur wurde durch Verimpfung des Stammes in 50 ccm Glucose-Bouillon pH 7,3 und einer 18-

Die Gewinnung einiger Antigene mittels Ultraschall

327

stündigen Inkubation bei 37° C gewonnen. Die Bouillon wurde anschließend zentrifugiert und die Keime zweimal mit physiologischer Kochsalzlösung gewaschen, die gewaschenen Streptokokken in destilliertem Wasser suspendiert.

8 ccm dieser Suspension wurden in die im vorangehenden beschriebene Ampulle eingefüllt und eine Stunde lang beschallt, wobei wir besonders darauf bedacht waren, daß die Temperatur 37° C nicht überschreite. Während der Behandlung entnahmen wir der Ampulle das Material mittels einer Öse und machten mikroskopische Präparate, an Hand welcher wir feststellen konnten, wie das Reißen der Streptokokkenketten fortschreitet. Gegen Ende der Bestrahlung sahen wir an verschiedenen Stellen des Präparates ein mikroskopisches Bild, das Staphylokokken ähnelte, während Ketten nur noch hier und da vorkamen. Die Ähnlichkeit war um so auffallender, als wir vereinzelt auf gramnegative Kokken stießen, wie es in Staphylokokkenkulturen vorkommt. Diese vereinzelt Kokken in Traubenform waren größer als jene, die man gewöhnlich in Ketten vorfindet. Dieses mikroskopischen Bildes wegen dachten wir anfänglich an eine Verunreinigung des Materiales. Im Gefolge weiterer Versuche erwies sich dieser Zweifel als unbegründet, es handelte sich ausschließlich um Streptokokken.

Nach erfolgter Ultraschallbestrahlung wurde die Suspension gründlich zentrifugiert und dekantiert. Die dekantierte Flüssigkeit, in welcher wir mikroskopisch keine Kokken finden konnten, und die sich auf Blutagarplatten ausgesät als steril erwies, wurde durch ein Antistreptokokkenserum der Gruppe A (nach Lancefield) präzipitiert; der Ring entstand innerhalb 5 Minuten, das heißt, daß während der Beschallung der Streptokokken die für die Gruppenspezifität verantwortliche C-Fraktion frei wurde. Harris (10) gelang es, Streptokokken mittels Ultraschalls vollkommen zu desintegrieren, wobei er M- und T-Antigene gewann, die er durch fraktionierte Zentrifugierung abtrennte. Bei der von uns erlangten dekantierten Flüssigkeit konnte die M-Substanz nur in Spuren nachgewiesen werden.

Die mit Ultraschall bestrahlten Streptokokken wurden in der Folge noch im Dunkelfeld untersucht. Dabei haben wir bemerkt, daß viele Kokken in der Mitte durchbohrt erschienen, während deren herausgeschlagene zentrale Substanz in Form von Partikeln und Stöpseln zwischen den Kokken frei umherschwamm. Es schien, als ob die Kokken in der Mitte einen dunklen Punkt hätten, welcher, sobald sich der Kokkus in der Flüssigkeit umdrehte, verschwand (Abbildung 4). Da es sich um eine frisch zubereitete Suspension handelte, konnte ein autolytischer Prozeß nicht in Betracht kommen. So führte uns dieser Befund zur Vermutung, daß das Ausfallen der zentralen Substanz des Kokkus dem Umstande zuzuschreiben ist, daß sie ein größeres spezifisches Gewicht als der

328

Weisglass, Lopaić und Celjuska.



Abb. 4. Die Abbildung zeigt die durchbohrten Kokken. (Aufnahme 2 und 4 des Photolabors der Volksgesundheitsschule, Zagreb.) Vergrößerung 1050 $\times$.

periphere Teil hat. Das kam um so eher in Betracht, als beim angewendeten Ultraschallfelde die Kokken großen Beschleunigungen, die bis 150 000 Schwerkraft-Accelerationen betrugen, ausgesetzt wurden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man das Ausfallen der zentralen Substanz auch mittels gewöhnlicher Autolyse erreichen könnte.

b) Versuche mit *Salmonella Ballerup*.

Als zweite Keimart haben wir einen Stamm von *Salmonella Ballerup* (11) gewählt, die das somatische (O) Antigen XXIX, Vi und ein flagellares (H) Antigen Z 14 in der ersten, in der zweiten Phase jedoch kein Antigen hat.

Die Kultur des Stammes *Ballerup* wurde auf einen „doppelten Zucker“¹ ausgestrichen und 18 Stunden bei 37° C bebrütet. Anschließend wurde die Kultur mit destilliertem Wasser abgespült und die so gewonnene Suspension in die für den Ultraschallversuch bestimmte Ampulle gefüllt. Die Ultraschallbestrahlung dauerte eine Stunde, wobei die Temperatur die Grenze von 37° C nie überschritt, sondern durchschnittlich bei etwa 30° C lag. (Dies ist von besonderer Wichtigkeit, da die Möglichkeit besteht, daß eine höhere Temperatur die antigene Substanz, die sich durch die Wirkung des Ultraschalls auflöst, völlig vernichtet.)

Nach erfolgter Ultraschallbestrahlung wurde eine Öse der Suspension aus der Ampulle auf dem obengenannten Nährboden verimpft. Die 24stündige Kultur bewies, daß der dem Ultraschall ausgesetzte Stamm nicht abgetötet war. Die bestrahlte Suspension

¹ Dieser Nährboden enthält 1,5% Agar mit 0,05% Glucose, 1% Lactose und 3% Andradeschen Indikator.

wurde durch einen Seltz-Filter filtriert und erneut auf Sterilität geprüft. Ein ccm dieser klaren, keimlosen Flüssigkeit wurde in die Ohrvene eines Kaninchens eingespritzt, das sich 24 Stunden unwohl fühlte, jedoch bald darauf erholte. Dem Kaninchen wurde in Zeitspannen von 5 Tagen noch dreimal je 1 ccm Filtrat verabreicht, wobei ihm die zweite und die weiteren Injektionen nicht schadeten. Das Kaninchenserum agglutinierte schon am vierten Tage nach der ersten Einspritzung (auf den Objektträger) den für die Beschallung verwendeten Ballerup-Stamm und Stämme anderer Salmonellen, welche außer dem Vi-Antigen keine anderen gemeinsamen Antigene haben. Wir bedienten uns dabei eines im Laboratorium isolierten Stammes Ty. abd. (Nr. 5842), mit der antigenen Struktur IX, XII, Vi, d sowie eines Stammes Nr. 965 aus der Sammlung des Laboratoriums, der nur Vi-Antigen besitzt. Der Stamm 5842 agglutinierte mit dem O-Serum IX, XII, mit dem Vi-Serum und dem spezifischen Serum d gut. Der Stamm 965 agglutinierte nur mit dem Vi-Serum. Das Kaninchenserum agglutinierte somit 3 verschiedene Stämme, die außer dem Vi-Antigen nichts Gemeinsames haben. Bei einer Probetitration im Röhrchen agglutinierte das Serum den Stamm Ballerup in einer Verdünnung 1 : 500, den Ty. abd.-Stamm Nr. 5842 bis 1 : 75 und den Stamm 965 bis 1 : 50.

Um uns zu vergewissern, ob außer Vi- noch andere Antigene frei wurden, machten wir folgenden Absorptionsversuch:

Zwei Doppelzucker-Agarplatten wurden mit dem nur Vi enthaltenden Stamm 965 dicht beimpft. Nach 18stündiger Inkubation wurden die Keime von der Oberfläche abgeschabt und in 3 ccm des erwähnten Kaninchensерums suspendiert, während zwei Stunden im Thermostat bei 37° C inkubiert und nachher 24 Stunden im Kühlschrank bei + 5° C stehengelassen. Tags darauf wurde diese Mischung zwei Stunden bei 2000 Minutendrehungen zentrifugiert. Dieses Serum agglutinierte die Stämme 965 und 5842 nicht mehr. Das Anti-Vi war somit vollkommen absorbiert. Da das Serum den Stamm Ballerup jedoch noch agglutinierte, mußte es noch Anti-O oder Anti-H enthalten.

Die Titration zeigte, daß das mit Vi-Antigen absorbierte Kaninchenserum noch «O»-Ballerup in einem Titer 1 : 100 enthielt. Die Titration mit den Stämmen 5842 und 965 fiel negativ aus. Es wurden somit durch Ultraschall außer den Vi-Antigen auch somatische Antigene frei.

330

Weiglass, Lopasić und Celjuska...

Zusammenfassung.

Die Autoren beschreiben ihre Ultraschall-Apparatur, mit der sie eine Amplitude von 150 000 g erreichen. Die Beschallung von Streptokokken (N. Y. 5 Dochez) setzte die für die Gruppen-Präzipitation verantwortliche C-Substanz in Freiheit. Im Dunkelfeld erschienen die beschallten Kokken durchlöchert, die Zentralsubstanz ausgestoßen. Aus einem beschallten Salmonella-Stamm der Ballrup-Gruppe wurde ein immunisatorisch vollwertiges Vi-Antigen gewonnen; daneben fanden sich teilweise auch O-Antigene.

Résumé.

Les auteurs décrivent leur appareil à ultrasons qui leur permet d'atteindre une amplitude égale à 150.000 g. L'exposition aux ultrasons de streptocoques (N. Y. 5 Dochez) met en liberté une substance C responsable de la précipitation de groupe. Sur fond noir, les coques soumis aux ultrasons apparaissent perforés, la substance centrale étant éliminée. A partir d'une souche de Salmonelles du groupe Ballrup soumise aux ultrasons, un antigène Vi à pouvoir immunisant complet a été obtenu, et en outre parfois des antigènes O.

Summary.

The apparatus described by the authors can generate supersonic waves up to an amplitude of 150.000 g. Exposure of streptococci (N. Y. 5 Dochez) to such waves liberated the group specific C substance, and on microscopic examination by dark-ground illumination the cocci appeared riddled with holes and void of their inner substance. By treating a salmonella strain of the Ballerup group with supersonic waves, immunologically potent Vi antigen together with O antigens, was obtained.

Literatur.

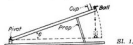
1. P. Graber und M. Rouger: Ann. Inst. Pasteur 71, 154 (1945). — 2. E. Rucci: Giorn. Batt. Immun. 41, 171 (1949). — 3. P. K. Stumpf, D. E. Green und F. W. Smith: J. Bact. 51, 487 (1946). — 4. L. A. Chambers und E. W. Flossdorf: Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 34, 631 (1936). — 5. O. R. Williams und N. Goines: J. Inf. Dis. 47, 485 (1930). — 6. R. Laporte und J. Loiseleur: Ann. Inst. Pasteur 71, 375 (1945). — 7. J. Loiseleur: Ann. Inst. Pasteur 71, 378 (1945). — 8. M. Rouger und P. Graber: Ann. Inst. Pasteur 73, 215 (1947). — 9. W. Stratton (Lord Raleigh): The Theory of Sound II. London (1896). — 10. T. N. Harris: J. Exp. Med. 87, 41 (1948). — 11. F. Kaufmann und E. Møller: Journ. Hyg. 40, 246 (1940).

Vatroslav Lopašić — Zlatko Janković

JEDAN POKUS S FIZIKALNIM NJIHALOM

Pod naslovom »Dimnjak koji pada — paradoks prostog pada«, opisao je R. M. Sutton¹⁾ pokus, koji bi trebao objasniti zapaženo otkidanje gornjeg dijela tvorničkih dimnjaka za vrijeme rušenja. Navodimo gotovo doslovno to mjesto:

»Pustimo li padati iz vertikalnog položaja štap, kojemu jedan kraj miruje na stolu, tada svaki djelić štapa opisuje luk kružnice. Središte oscilacije je ona njegova točka, koja ima isto ubrzanje kao i djelić, koji bi slobodno padao po istom luku: sve točke, koje leže iznad toga središta, padaju s većim ubrzanjima nego što su ona, koja bi postigle, da slobodno padaju po kružnim lukovima, koji njima pripadaju. Zbog toga dolazi konačno štap do položaja, ispod kojega vertikalna komponenta ubrzanja kraja štapa premašuje ubrzanje prostog pada. Za jednoliki štap bit će to za one kutove, za koje je $\cos^2 \Theta$ veći od $\frac{2}{3}$, odnosno Θ manji od 35° (sl. 1).²⁾



Da se navedene činjenice bolje predoče i samo prelamanje dimnjaka koji pada, objasni, možemo načiniti mehaničku spravu i to ovako: »Načinimo, da se štap dug jedan metar može okretati oko horizontalne osi, koja prolazi njegovim krajem tako, da se može slobodno vrtiti u vertikalnoj ravnini. U točki, otprilike 85 cm udaljenoj od osovine, smjestimo laku 8 cm visoku čašicu od papira. Na kraju štapa urežimo malenu udubinu, da u nju možemo smjestiti čeličnu kuglicu, kad štap podupremo kod 35° . Izbijemo li naglo uporanj i štap padne, kuglica će pasti u čašicu, premda je rub čašice započeo svoje gibanje iz točke, koja je bila viša od kuglice.«

¹⁾ R. M. Sutton: Demonstration Experiments in Physics, p. 89, Mc Graw-Hill Book Company, 1938.

²⁾ Sl. 1. je uzeta iz knjige navedene pod 1), str. 89.

Poteškoće pri izvođenju ovog pokusa, nazovimo ga Suttonovim, potakle su nas, da ga podrobno obradimo, teoretski i eksperimentalno.

I. Maksimalna visina čašice

Za daljnje razmatranje pretpostavljamo, da imademo jednoliki i tanki štap, koji se može okretati oko horizontalne osovine, koja je okomita na štap i prolazi jednim njegovim krajem. Na drugom kraju, koji je uzdignut nad horizontalnu ravninu, neka se nalazi materijalna točka. Iz ovog početnog položaja oba se tijela počnu gibati istodobno uslijed vlastitih težina. Gibanja neka se zbivaju međusobno neovisno. Štap pritom izvodi gibanje njihala, a materijalna točka slobodno pada.

Nastaje pitanje, u kojoj se visini h nad horizontalnom ravninom nalazi mat. točka, kad štap stigne u tu ravninu. Ta će visina biti neka funkcija početnog priklona Θ štapa prema horizontalnoj ravnini, t. j.

$$h = h(\Theta). \quad (1)$$

Za vrtnju krutog tijela oko čvrste osovine vrijedi

$$U \ddot{\vartheta} = M, \quad (2)$$

gdje $\ddot{\vartheta}$ znači kutno ubrzanje, U momenat ustrajnosti tijela, a M zakretni momenat, a sve te veličine određene s obzirom na osovinu vrtnje. U našem slučaju jednačba (2) poprima oblik

$$r \ddot{\vartheta} = -\frac{3}{2} g \cos \vartheta, \quad (3)$$

gdje r znači dužinu štapa, a ϑ ma kakav priklon. Integriranjem izraza (3) dobivamo

$$r \dot{\vartheta}^2 = -3 g \sin \vartheta + C. \quad (4)$$

Konstantu C odredit ćemo iz početnih uvjeta, a ti glase

$$\text{za } t = 0, \quad \vartheta = \Theta, \quad \dot{\vartheta} = 0. \quad (5)$$

Jednačba (4) tada prelazi u

$$r \dot{\vartheta}^2 = 3 g (\sin \Theta - \sin \vartheta), \quad (6)$$

ili

$$dt = - \sqrt{\frac{r}{3g}} \frac{d\vartheta}{\sqrt{\sin \Theta - \sin \vartheta}} \quad (7)$$

Jedan pokus s fizikalnim njihalom

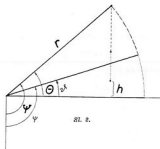
147

Negativni predznak dolazi zbog toga, što se kut ϑ umanjuje s vremenom. Stavimo li (sl. 2)

$$\vartheta = \psi - \frac{\pi}{2}, \quad \Theta = \Psi - \frac{\pi}{2}, \quad (8)$$

prelazi (7) u

$$dt = -\sqrt{\frac{r}{g}} \frac{d\psi}{\sqrt{\sin^2 \frac{\Psi}{2} - \sin^2 \frac{\psi}{2}}}, \quad (9)$$



Supstitucijom

$$\sin \frac{\psi}{2} = \sin \frac{\Psi}{2} \sin \varphi \quad (10)$$

prelazi (9) u

$$\sqrt{\frac{g}{2r}} dt = -\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\Psi}{2} \sin^2 \varphi}}. \quad (11)$$

Ovu jednadžbu trebamo integrirati u granicama od $\vartheta = \Theta$ do $\vartheta = \vartheta$. Zbog (8) i (10) imamo kao granice integrala

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi_2 = \arcsin \frac{\sin \frac{\pi}{4}}{\sin \frac{\Psi}{2}}, \quad (12)$$

(3)

148

Vatroslav Lopašić — Zlatko Janković,

Prema tome je vrijeme, potrebno da štap padne u horizontalnu ravninu, dano izrazom

$$\sqrt{\frac{g}{2r}} T = \frac{1}{\sqrt{3}} \int_{\varphi_2}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2} \sin^2 \Theta}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I(\varphi, \varphi_2). \quad (13)$$

Integral u (13) je normalni oblik eliptičkog integrala i iznos mu možemo odrediti iz tablica.

U isto vrijeme T prevalila je mat. točka put

$$s = -\frac{g}{2} T^2. \quad (14)$$

Prema tome je visina, u kojoj se ona nalazi

$$h = r \sin \Theta - \frac{g}{2} T^2, \quad (15)$$

ili s obzirom na (13)

$$\frac{h}{r} = \sin \Theta - \frac{1}{3} [I(\varphi, \varphi_2)]^2. \quad (16)$$

To je upravo tražena funkcionalna veza (1).

Budući da su desne strane u (13) i (16) bez dimenzija, vrijede one za svaki jednoliki štap. Možemo ih ovako tumačiti: desna strana u (16) znači visinu mat. točke, ali mjerenu duljinom štapa kao jedinicom dužine. Desna strana u (13) jest vrijeme padanja štapa izraženo novom vremenskom jedinicom. Ta nova vremenska jedinica je vrijeme potrebno da tijelo prosto padajući prevali put jednak dužini štapa.

Vrijeme potrebno da mat. točka stigne do horizontalne ravnine, dano je jednadžbom

$$r \sin \Theta = \frac{g}{2} \tau^2 \quad (17)$$

ili

$$\sqrt{\frac{g}{2r}} \tau = \sqrt{\sin \Theta}. \quad (18)$$

Iz (13) i (18) slijedi, da mat. točka zakasni za štapom ovoliko:

$$\sqrt{\frac{g}{2r}} (\tau - T) = \sqrt{\sin \Theta} - \frac{1}{\sqrt{3}} I(\varphi, \varphi_2). \quad (19)$$

(4)

Budući da smo u (16) našli funkcionalnu vezu (I), naša je slijedeća zadaća odrediti maksimum te funkcije. Traženu vrijednost daje tablica I. Prvi stupac znači početni priklon štapa Θ , drugi pripadne vrijednosti φ_2 prema (12) treći vrijednosti

Tablica I.

Θ	φ_2	$\frac{1}{\sqrt{3}} I$	IV	V
0°	90° 0' 0"	0,00000	0,0000	0,0000
2°	79° 25' 5"	0,15259	0,0342	0,0116
4°	75° 12' 23"	0,21592	0,0482	0,0231
6°	72° 5' 1"	0,26476	0,0586	0,0344
8°	69° 32' 29"	0,30620	0,0669	0,0454
10°	67° 22' 41"	0,34304	0,0737	0,0560
12°	65° 29' 18"	0,37671	0,0793	0,0660
14°	63° 48' 34"	0,40808	0,0838	0,0754
16°	62° 18' 0"	0,43776	0,0872	0,0840
18°	60° 55' 50"	0,46612	0,0898	0,0918
20°	59° 40' 47"	0,49350	0,0913	0,0985
22°	58° 31' 53"	0,52011	0,0919	0,1041
24°	57° 28' 19"	0,54618	0,0916	0,1084
26°	56° 29' 30"	0,57180	0,0903	0,1114
28° 0'	55° 34' 54"	0,597248	0,08793	0,11277
28° 20'	55° 26' 12"	0,601459	0,08745	0,11285
28° 40'	55° 17' 35"	0,605678	0,08694	0,11287
29° 0'	55° 9' 5"	0,609890	0,08639	0,11285
29° 20'	55° 0' 39"	0,614110	0,08581	0,11276
29° 40'	54° 52' 21"	0,618321	0,08521	0,11263
30°	54° 44' 8"	0,62254	0,0846	0,1124
32°	53° 56' 50"	0,64782	0,0801	0,1103
34°	53° 12' 40"	0,67321	0,0746	0,1060
36°	52° 31' 25"	0,69883	0,0678	0,0994
38°	51° 52' 51"	0,72470	0,0599	0,0904
40°	51° 16' 46"	0,75102	0,0507	0,0788
42°	50° 43' 0"	0,77793	0,0401	0,0639
44°	50° 11' 24"	0,80538	0,0281	0,0460
46°	49° 41' 50"	0,83369	+0,0145	+0,0243
48°	49° 14' 12"	0,86282	-0,0008	-0,0013

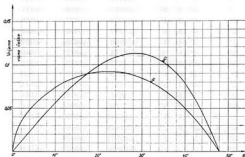
150

Vatroslav Lopašić — Zlatko Janković,

integrala $I(\Psi, q_2)^{20}$ podijeljene sa $\sqrt{3}$, a to su prema (13) vremena pada štapa. U četvrtom stupcu su numeričke vrijednosti desne strane (19), t. j. zakašnjenje mat. točke za štapić. Peti stupac sadrži iznose visina izračunane po (16). Sl. 3 grafički prikazuje posljednja dva stupca, pritom krivulja IV predložuje stupac IV, a krivulja V stupac V. Iz V. stupca vidimo da traženu maksimalnu visinu h dobivamo za početni priklon

$$\Theta_m = 28^\circ 40' \pm 5'. \quad (20)$$

Također i četvrti stupac pokazuje maksimum, ali kod manjeg početnog priklona (22°). Dakle najveće vremensko zakašnjenje ne podudara se s najvećim prostornim.



Sl. 3.

Odatle je očigledno, da priklon $\Theta = 35^\circ$, kojeg R. M. Sutton preporučuje, nije najpovoljniji za opisani pokus; jer za $\Theta = 35^\circ$ daje tablica I vrijednost $\frac{h}{r} = 0,1027$ kao najveću visinu čašice, dok je naprotiv za $\Theta = \Theta_m$, $\frac{h}{r} = 0,1129$ dakle otprilike za 10% veće.

²⁰⁾ Izračunavanje provedeno pomoću A. M. Legendre: *Tafeln der elliptischen Normalintegrale erster und zweiter Gattung*, F. Emde (Herausg.) 1931.

II. Relativna staza kuglice

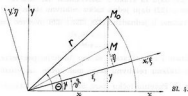
Hoćemo li ovaj »Paradoks prostog pada« eksperimentalno pokazati, tada će jedna kuglica prikazivati materijalnu točku, a sama čašica morat će imati stanovitu širinu, da u nju može pasti kuglica. Najveća visina, koju može tada imati čašica, ovisi o njenoj širini, jer čašica ne smije smetati gibanju kuglice. Da tu visinu odredimo, moramo poznavati put mat. točke u koordinatnom sistemu, koji je čvrsto povezan sa štapom. Tada možemo također odrediti i kut, pod kojim se kuglica približava rubu čašice. Pomoću toga kuta i širine čašice odredit ćemo korekturu njezine visine. S druge strane važno je za oblik udubine na kraju štapa, pod kojim kutom napušta kuglica štap, jer udubina ne smije smetati slobodan polazak kuglice. Nadalje, ako poznajemo relativnu stazu kuglice, možemo odgovoriti na pitanje, da li štap i kuglica pri gibanju smetaju jedno drugoga.

Odredit ćemo relativnu stazu mat. točke. Koordinatna ravnina mirnog sustava (XY) podudara se s vertikalnom ravninom, u kojoj se gibanja zbivaju. Ishodište neka mu je u osi, oko koje se vrti štap, a os X je horizontalna. Koordinatna ravnina relativnog sustava (X', Y') neka se također podudara sa vertikalnom ravninom, u kojoj se gibanja zbivaju. Ishodište neka mu je u osi, oko koje se štap vrti a os X' neka leži u štapu.

Na početku gibanja nalazi se mat. točka na slobodnom kraju štapa. U sistemu (X, Y) mat. točka opisuje pravac paralelan sa osi Y , budući da slobodno pada. Zbog toga je njezin položaj M u izvjesno vrijeme određen kutom γ , što ga njezin radius vektor zatvara sa osi X (sl. 4). Prema tome jednadžbe

$$\begin{aligned}x &= r \cos \theta \\y &= r \cos \theta \operatorname{tg} \gamma\end{aligned}\quad (21)$$

prikazuju put mat. točke u sistemu (X, Y); r znači dužinu štapa.



Iz sl. 4 neposredno izvodimo koordinate x' y' točke M

$$\begin{aligned}x' &= \frac{r \cos \Theta}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \Theta) = r \xi \\y' &= \frac{r \cos \Theta}{\cos \gamma} \sin(\gamma - \Theta) = r \eta,\end{aligned}\quad (22)$$

gdje je Θ kut, što ga štap u izvjesno vrijeme zatvara sa osi X . Sa ξ i η označit ćemo relativne koordinate točke M mjerene dužinom štapa kao jedinicom i njih ćemo dalje upotrebljavati. Jednadžbe (22) već predočuju traženu relativnu stazu, samo treba za γ i Θ uvrštavati istovremene vrijednosti: mogli bi dakle uzeti vrijeme kao parametar. Jednostavnije je međutim uzeti kut φ kao parametar. Prema (8) i (10) pripada odabranom φ neko Θ , koje izlazi iz

$$\sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\Theta}{2}\right) = \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\Theta}{2}\right) \sin \varphi. \quad (23)$$

Vrijeme, koje je potrebno, da štap stigne u taj Θ položaj, dano je jednadžbom

$$\sqrt{\frac{g}{2r}} t = \frac{1}{\sqrt{3}} \int_{\varphi}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2} \sin^2 \varphi}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I(\varphi, \varphi), \quad (24)$$

dakle kao funkcija φ . U taj čas nalazi se kuglica u visini

$$y = r \sin \Theta - \frac{g}{2} t^2 = r \sin \Theta - \frac{r}{3} [I(\varphi, \varphi)]^2. \quad (25)$$

Ispoređenjem (25) sa (21) dobivamo

$$\lg \gamma = \lg \Theta - \frac{1}{3 \cos \Theta} [I(\varphi, \varphi)]^2. \quad (26)$$

Tako smo i kut γ prikazali kao funkciju kuta φ . Jednadžbe (23) i (25) daju za svako φ istovremeni par kutova Θ i γ , koji uvršteni u (22) daju jednu točku relativne staze.

Uvažimo li jednadžbe (22), (23) i (26) možemo pisati

$$\begin{aligned}\xi &= \xi(\Theta, \varphi) \\ \eta &= \eta(\Theta, \varphi).\end{aligned}\quad (27)$$

Koordinate ξ i η prikazane su kao funkcije parametra φ i predočuju traženu relativnu stazu mat. točke za jedan početni priklon Θ . Početnu točku staze dobijemo, ako stavimo $\varphi = \frac{\pi}{2}$.

Jedan pokus s fizikalnim njuhalom

153

Da nađemo početni uspon mat. točke, odnosno kut, pod kojim se ona približuje rubu čašice, potražimo strminu staze (22). Slijedi

$$\frac{d\eta}{d\zeta} = \frac{\frac{d\gamma}{d\theta} \cos \theta - \cos \gamma \cos (\gamma - \theta)}{\frac{d\gamma}{d\theta} \sin \theta + \cos \gamma \sin (\gamma - \theta)}, \quad (28)$$

a iz (26) izlazi

$$\frac{d\gamma}{d\varphi} = \frac{2}{3} \frac{\cos^2 \gamma}{\cos \theta} \frac{I(\Psi, \varphi)}{\sqrt{1 - \sin^2 \frac{\Psi}{2} \sin^2 \varphi}}, \quad (29)$$

dok nam (23) daje

$$\frac{d\theta}{d\varphi} = \frac{2 \sin \frac{\Psi}{2} \cos \varphi}{\cos \frac{\Psi}{2}}. \quad (30)$$

Jednadžbe (29) i (30) daju s obzirom na (10)

$$\frac{d\gamma}{d\theta} = \frac{\cos^2 \gamma}{3 \sin \frac{\Psi}{2} \cos \theta \cos \varphi} I(\Psi, \varphi). \quad (31)$$

Izrazi (28) i (31) određuju strminu staze u svakoj njenoj točki.

Uzmimo napose $\varphi = \frac{\pi}{2}$, tada će zbog (28) biti $\theta = \Theta$, a zbog (26) $\gamma = \Theta$, a to odgovara početnom položaju. Ako te vrijednosti uvrstimo u (31), dobivamo neodređeni izraz oblika $\frac{0}{0}$. Pravu vrijednost odredit ćemo graničnim prelazom

$$\left(\frac{d\gamma}{d\theta} \right)_{\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}} = \lim_{\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}} \frac{d\gamma}{d\theta} = \frac{\cos \Theta}{3 \sin \frac{\Psi}{2}} \left[\frac{\partial I(\Psi, \varphi)}{\partial \varphi} : \frac{d(\cos \varphi)}{d\varphi} \right]_{\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}}. \quad (32)$$

Iz (32) slijedi s obzirom na (10)

$$\left(\frac{d\gamma}{d\theta} \right)_{\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}} = \frac{\cos \Theta}{3 \sin \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\Psi}{2}}, \quad (33)$$

a zbog (8) izlazi

$$\left(\frac{d\gamma}{d\theta} \right)_{\varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}} = \frac{2}{3}. \quad (34)$$

To je značajni rezultat. On izriče, da je prirast kuta γ , podijeljen prirastom kuta θ , na početku gibanja veličina nezavisna o početnom priklonu Θ . Stavimo li (34) u (28) i obazremo li se na početne uvjete, dobivamo

$$\left(\frac{d\eta}{dt}\right)_{\varphi=\frac{\pi}{2}} = -\frac{1}{2} \cotg \Theta. \quad (35)$$

Tako smo našli početni uspon relativne staze.

Odnos (35) možemo također i elementarno izvesti. U času $t = 0$, t. j. $\varphi = \frac{\pi}{2}$, još ni mat. točka ni štap nemaju brzine. Zbog toga je omjer početnih pomaka jednak omjeru početnih ubrzanja. Početno ubrzanje kraja štapa iz (3) jednako je

$$r\ddot{\theta} = -\frac{3}{2}g \cos \Theta \quad (36)$$

i ima smjer okomit na štap. Ubrzanje mat. točke g je u smjeru vertikale. U relativnom koordinatnom sustavu ima prema tome mat. točka ove komponente ubrzanja na početku gibanja

$$\begin{aligned} a_t &= -g \sin \Theta \\ a_n &= \frac{3}{2}g \cos \Theta - g \cos \Theta = \frac{1}{2}g \cos \Theta. \end{aligned} \quad (37)$$

Za početni uspon slijedi

$$\left(\frac{d\eta}{dt}\right)_{\varphi=\frac{\pi}{2}} = \left(\frac{a_n}{a_t}\right)_{\varphi=\frac{\pi}{2}} = -\frac{1}{2} \cotg \Theta. \quad (38)$$

Iz posljednjeg izraza (38), koji je sa (35) identičan, očito je, da će se mat. točka odvojiti od štapa za svaki početni priklon Θ . To se zbiva pod kutom $(\pi - \alpha)$ prema štapu. Uvedemo li dakle suplementni kut α (sl. 5), (35) će glasiti

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{2} \cotg \Theta. \quad (39)$$

Kod Suttonovog pokusa smije biti udubina na kraju štapa samo jedan dio polukugle, koja imade smjer (39) kao os. Samo u tom slučaju ne smeta štap polasku kuglice, koja predstavlja mat. točku. Ako pak hoćemo, da kuglica na početku pokusa (štap je dignut do priklona Θ) stabilno sjedi u toj udubini, mora biti

$$\alpha > \Theta. \quad (40)$$

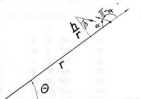
Taj uvjet s obzirom na (39) daje

$$\cos^2 \Theta > \frac{2}{3}, \quad \text{ili} \quad \Theta < 35^\circ 16'. \quad (41)$$

Jedan pokus s fizikalnim njlhalom

155

Kad bi htjeli izvesti pokus s većim početnim priklonom nego što je taj granični kut u (41), morali bismo upotrijebiti tijelo, koje bi se držalo na kraju štapa pomoću trenja.



Sl. 5.

Da odredimo strminu relativne staze mat. točke u času, kad štap stigne u horizontalni položaj moramo u (28) i (31) staviti $\vartheta = \theta$. Iz (28) slijedi

$$\left(\frac{d\eta}{dt}\right)_{\vartheta=\theta} = \frac{\left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right)_{\vartheta=\theta} - \cos^2 \gamma_0}{\sin \gamma_0 \cos \gamma_0}. \quad (42)$$

a (31) daje

$$\left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right)_{\vartheta=\theta} = \frac{\cos^2 \gamma_0}{3 \sin \frac{\Psi}{2} \cos \theta \cos \varphi_2} - 1 (\Psi, \varphi_2). \quad (43)$$

Sa γ_0 označili smo kut, koji odgovara vrijednosti $\vartheta = \theta$. Iz jednačbe (42) i (43) dobivamo

$$\left(\frac{d\eta}{dt}\right)_{\vartheta=\theta} = \cotg \gamma_0 \left[\frac{1 (\Psi, \varphi_2)}{3 \sin \frac{\Psi}{2} \cos \theta \cos \varphi_2} - 1 \right]. \quad (44)$$

Pritom treba uvažiti, da je

$$\cotg \gamma_0 = \frac{r}{h} \cos \theta. \quad (45)$$

Kut β , što ga relativna staza zatvara sa čašicom, dobivamo iz relacije

$$\cotg \beta = - \left(\frac{d\eta}{dt}\right)_{\vartheta=\theta}. \quad (46)$$

Ako je b promjer cilindričke čašice, kojoj je h os, tada izlazi kao prva približnost njzine reducirane visine

$$H = h - \frac{b}{2} \cotg \beta. \quad (47)$$

(11)

156

Vatroslav Lopasić — Zlatko Janković,

Tablica II.

Θ	α	β
0°	90° 0' 0"	0° 0' 0"
4°	82° 2' 19"	4° 0' 37"
8°	74° 18' 1"	8° 3' 29"
12°	66° 58' 8"	12° 15' 55"
16°	60° 10' 58"	16° 39' 31"
20°	53° 57' 52"	21° 26' 44"
24°	48° 19' 59"	26° 50' 15"
28°	43° 14' 23"	33° 21' 59"
32°	38° 39' 56"	42° 13' 10"
36°	34° 32' 7"	56° 54' 59"
40°	30° 47' 23"	90° 52' 32"
44°	27° 22' 25"	146° 31' 19"
46°	25° 49' 30"	167° 18' 39"
48°	24° 14' 15"	180° 30' 11"

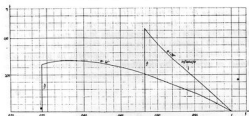
Tablica III.

		$\Theta = 28^\circ$			
φ	γ	θ	ξ	η	$-\frac{\Delta\eta}{\Delta\xi}$
90°	28° 0' 0,0"	28° 0' 0,0"	1,000 000	0,000 000	
89°	27° 58' 50,3"	27° 58' 15,5"	0,999 820	0,000 169	0,940
88°	27° 55' 21,3"	27° 53' 2,1"	0,999 283	0,000 674	0,939
87°	27° 49' 33,2"	27° 44' 20,9"	0,998 390	0,001 511	0,936
86°	27° 41' 26,4"	27° 32' 13,2"	0,997 148	0,002 674	0,936
85°	27° 31' 1,6"	27° 16' 41,0"	0,995 565	0,004 154	0,934
84°	27° 18' 19,4"	26° 57' 46,9"	0,993 650	0,005 937	0,931
83°	26° 46' 6,7"	26° 10' 5,6"	0,991 673	0,010 360	0,926
80°	26° 4' 57,1"	25° 9' 39,2"	0,983 934	0,015 812	0,918
78°	25° 15' 1,3"	23° 57' 3,9"	0,975 972	0,022 135	0,908
76°	24° 16' 31,6"	22° 32' 55,4"	0,968 131	0,029 186	0,901
74°	23° 9' 42,2"	20° 58' 0,5"	0,959 649	0,036 780	0,893
72°	21° 54' 48,2"	19° 13' 1,8"	0,950 656	0,044 769	0,882
70°	20° 32' 6,4"	17° 18' 43,5"	0,941 368	0,053 010	0,887
68°	19° 1' 54,9"	15° 15' 48,9"	0,931 984	0,061 384	0,892
66°	17° 24' 33,2"	13° 5' 0,4"	0,922 699	0,069 795	0,906
64°	15° 40' 23,0"	10° 46' 57,6"	0,913 706	0,078 178	0,932
62°	13° 49' 47,1"	8° 22' 18,2"	0,905 186	0,086 480	0,976
60°	11° 53' 11,4"	5° 51' 36,2"	0,897 309	0,094 726	1,048
58°	9° 51' 3,7"	3° 15' 26,8"	0,890 233	0,102 902	1,155
56°	7° 43' 54,1"	+0° 34' 17,0"	0,884 099	0,111 065	1,331
55°	6° 38' 36,3"	-0° 48' 1,6"	0,881 425	0,115 163	1,510
54°	5° 32' 15,4"	-3° 11' 25,0"	0,879 031	0,119 286	1,747

(12)

Jedan pokus s fizikalnim njihalom

157



Sl. 6.

Tablica II sadrži kutove α i β za različite početne priklone Θ . Tablica III prikazuje relativnu stazu za $\Theta = 28^\circ$. Prvi stupac sadrži vrijednosti parametra φ , drugi γ izračunan pomoću (26), treći δ pomoću (23). Dva slijedeća stupca sadrže ξ i η izračunane pomoću (22), dok je u posljednjem srednja vrijednost strmine među susjednim točkama krivulje. Sl. 6 prikazuje samu krivulju. Ona ide gotovo pravocrtno. Značajna je točka infleksije kod $\varphi = 70^\circ$. U sl. 6 također je nacrtana krivulja za $\Theta = 42^\circ$ (tablica IV). Ta je krivulja konkavna prema dolje.

Tablica IV.

 $\Theta = 42^\circ$

φ	γ	δ	ξ	η	$-\frac{\Delta\eta}{\Delta\xi}$
90°	42° 0' 0,0"	42° 0' 0,0"	1,000 000	0,000 000	
89°	41° 58' 25,9"	41° 57' 27,9"	0,999 589	0,000 228	0,555
88°	41° 53' 43,8"	41° 50' 38,4"	0,998 362	0,000 907	0,533
87°	41° 45' 54,0"	41° 38' 54,6"	0,996 327	0,002 036	0,550
83°	40° 43' 33,2"	40° 6' 58,5"	0,989 554	0,010 434	0,533
79°	38° 53' 8,7"	37° 28' 13,9"	0,954 418	0,023 570	0,503
73°	36° 13' 23,4"	33° 52' 14,4"	0,829 439	0,037 835	0,429
71°	32° 48' 17,9"	29° 29' 9,8"	0,882 668	0,051 187	0,353
67°	28° 37' 57,6"	24° 28' 31,6"	0,844 457	0,061 377	0,241
63°	23° 44' 5,5"	18° 56' 20,2"	0,809 606	0,067 402	0,170
61°	21° 1' 42,6"	16° 4' 13,3"	0,793 189	0,068 811	0,089
59°	18° 9' 44,6"	13° 5' 0,4"	0,779 641	0,069 239	+0,030
57°	15° 8' 56,7"	10° 1' 16,5"	0,766 638	0,068 589	-0,053
55°	12° 0' 15,3"	6° 53' 32,3"	0,756 737	0,067 697	-0,068
53°	8° 44' 48,5"	3° 42' 14,5"	0,748 979	0,066 054	-0,206
52°	7° 4' 59,1"	2° 5' 32,1"	0,746 018	0,065 181	-0,308
51°	5° 23' 58,3"	0° 27' 46,9"	0,743 688	0,064 234	-0,406

(13)

Staza za $\Theta = 28^\circ$ (tablica III) proračunana je, jer leži blizu staze za $\Theta = \Theta_m$. Da možemo zaključivati na tendenciju promjene ove staze s Θ , proračunana je još staza za $\Theta = 42^\circ$ (tablica IV) i također α i β za različite Θ (tablica II). Na osnovu ovih numeričkih podataka možemo odgovoriti na pitanje, pod kojim se uvjetima zbivaju gibanja kuglice i štapa međusobno neovisno u području $\Theta \geq \theta \geq 0$. Očigledno taj uvjet glasi

$$\frac{h}{r} > 0 \quad (48)$$

ili prema tablici I

$$\Theta < 48^\circ. \quad (49)$$

Kut $\Theta_g = 48^\circ$ jest granični kut za izvedivost Suttonovog pokusa.

III. Eksperimentalni uređaj

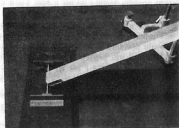
Na osnovi prethodnih razmatranja izgradili smo konačni uređaj za izvođenje Suttonovog pokusa i pritom smo nastojali ostvariti teoretski nađene najpovoljnije uvjete. Nazvali smo taj uređaj konačnim, jer smo već prije njega načinili dva druga. Međutim nastojeći ukloniti smetnje pri izvođenju pokusa s tim uređajima, proširivali smo teoriju pokusa, dok nije poprimala oblik, koji smo iznijeli u otsjecima I i II. Tako smo postepeno spoznavali uzroke smetnja, a zatim i način, kako ih se može ukloniti. Sada ćemo opisati tu konačnu aparaturu.

Štap je načinjen iz bukovine u obliku pravokutnog paralelepipeda dužine 100,0 cm, širine 4,0 cm i debljine 2,90 cm. Izabran je dobar komad drveta, za koji se je po izgledu moglo pretpostaviti, da ima jednoličnu gustoću. Naročita je pažnja posvećena osovini (sl. 7), oko koje se štap pri pokusu vrti. Ona je čelična i ima promjer 0,60 cm, a dužinu 14 cm. Osovina je zato uzeta tako duga, da se vrtnja štapa zbiva sa što većom točnošću u jednoj ravni. Osovina je učvršćena na štap tako, da njezina centralna linija prolazi krajem štapa okomito na njegovu dužinsku os, a paralelno s bridom 4,0 cm. Učvršćenje je izvedeno pomoću dvije pruge od mjedi, koje su vijcima pritegnute pri kraju štapa, a osovina je provučena kroz rupe u prugama i s njima spojena kositrom. Krajevi osovine ulaze u ležaje od žute mjedi, koji su učvršćeni na komadima kutnog željeza, pritegnutim vijcima na podlogu iz tvrdog drveta. Podloga ima oblik slova I, da se može dobro pričvrstiti na stol.

Jedan pokus s fizikalnim njihalom

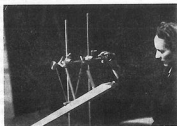
159

Sl. 7. Osovina i ležaj.



Štap je na slobodnom kraju koso podrezan i okovan pločicom od mjeđi tako, da je ravnina te pločice horizontalna, kad je štap priklonjen do $\theta = 28^\circ$. U pločici je udarcem načinjena sitna udubina, u kojoj stabilno sjedi čelična kuglica pri gornjem priklonu štapa (sl. 8). Promjer kuglice u našem slučaju iznosi $\frac{1}{2}$ inča. Štap smo podrezali tako, da središte kuglice stavljene u udubinu u pločici leži na centralnoj liniji štapa

Sl. 8. Kuglica na kraju štapa. Slika prikazuje čeliku i uređaj za ispuštanje štapa.



(15)

160

Vatroslav Lopasić — Zlatko Janković,

100,0 cm daleko od osi vrtnje. Time smo ispunili zahtjev, da daljina središta kuglice od osi u času $t = 0$ bude jednaka dužini štapa.

Čašica, u koju će kuglica pasti, načinjena je od celuloida i ima promjer $b = 1,3$ cm, visinu 8,20 cm. Ona je učvršćena na gornju površinu štapa tako, da je nataknuća na drveni čep, koji tijesno u nju pristaje i koji je vijkom pritegnut uz štap u daljini 88,30 cm ($= r \cos \Theta$) od osi. Stvarnu visinu čašice valja mjeriti od dužinske osi štapa. Budući da štap ima debljinu 2,90 cm, to je onda visina čašice $8,20 + \frac{1}{2} \cdot 2,90 = 9,65$ cm. Tu visinu zahtijeva međutim teorija za naš slučaj. Naime za $\Theta = 28^\circ$ daje tablica I vrijednost $\frac{h}{r} = 0,1128$. Budući da je $r = 100,0$ cm, dobivamo $h = 11,28$ cm. Prema formuli (47) treba tu visinu sniziti za $\frac{1}{2} b \cotg \beta = 0,99$ cm (β je uzeto iz tablice II). Dobivamo dakle $H = 10,29$ cm. U kutiju ove visine i odabranog promjera nesmetano bi ušla sitna čestica, koja bi započela padati istovremeno sa štapom. U našem slučaju središte odabrane kuglice izvodi gibanje takove čestice. Prema tome valja dalje sniziti čašicu za polumjer odabrane kuglice, t. j. za 0,64 cm. Dakle treba uzeti za visinu čašice $10,29 - 0,64 = 9,65$ cm, a tu smo visinu mi i odabrali.

Budući da smo komadić štapa otkekli, tamo učvrstili mjeđenu pločicu, dodali čašicu sa čepom i vijkom za njezino učvršćenje, opravdano je pitati se, da li je ovako preraden štap dinamički ekvivalentan s teoretski pretpostavljenim jednoličnim štapom dužine 100,0 cm. Da to ispitamo izvadili smo štap s osovinom iz ležaja i na krajeve osovine nataknući čahure, na kojima su bridovi, koji se podudaraju s centralnom linijom osovine. Tako smo mogli ispitati štap kao njihalo. Važno je ponajprije, da li težište štapa leži na dužinskoj osi štapa. To smo ispitili tako, da smo poduprli bridove horizontalnim podlogama i počekali, da se štap umiri, te isporođivali jedan njegov dužinski brid s viskom. U našem slučaju su se ta dva smjera dobro slagala, pa nije trebalo ništa mijenjati. Očito su mjeđena ploča na kosom kraju štapa i čašica kompenzirali odrezani komadić drveta. Zatim smo pustili da štap izvodi

malene njihaje i odredili reduciranu dužinu. Za nju je izašlo 66,60 cm, dakle neznatno manje nego što teorija traži za jedno-lični štap.

Najviše poteškoća smo imali pri ostvarivanju uređaja za ispuštanje štapa. Kako god stvar izgledala jednostavna, ipak je nemoguće na pr. štap ispustiti iz ruke tako, da bi pokus uspio, premda se osigurali nekom zaprekom, da je bio priklon točno $\Theta = 28^\circ$ u času ispuštanja. Ne vodi do cilja ni rezanje ili paljenje konca, kojim bi štap bio privezan. Razlog je tomu taj, što ni u jednom od ovih slučajeva štap ne počinje padati u $t = 0$ doista slobodno. Ili drukčije rečeno, ni u jednom od ovih slučajeva ne isčezne dosta brzo ona sila, koja je držala štap priklonjenim, pa se početak gibanja štapa zbiva ne samo pod djelovanjem težine, nego i pod utjecajem ostatka sile, kojom smo prije štap podržavali. To ima za posljedicu, ne samo da je gibanje štapa u samom početku nešto sporije nego se ni kuglica poradi toga ne odijeli od štapa i zato dobije od njega impuls u smjeru, u kojem se giba njegov kraj. Gibanje kuglice u tom slučaju nije slobodan pad, nego kosi hitac. Mnogi neuspjehi, što smo ih u početku imali, ukazivali su na to, da je valjano puštanje štapa u gibanje središnji problem čitavog pokusa, dok su trenje u osovine i sa uzduhom takve smetnje, od kojih se prva dade svesti na beznačajnu mjeru, dok druga poradi malenih brzina ne dolazi u obzir. Isto je tako i sa kuglicom. Njezin pad je s velikom približnošću slobodan (za onu dubinu, koja kod ovog pokusa dolazi u obzir), ako nam uspije učiniti, da je početak njezinog gibanja slobodan. Taj je uvjet ispunjen automatski, ako je početak gibanja štapa slobodan.

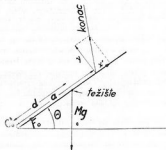
Sad ćemo opisati, kako smo postigli brzo iščezavanje sile, koja štap drži priklonjenim. Čvrsta zapreka priječi štap, da ne poprimi priklon veći od 28° . Štap dira zapreku (sl. 8) u neposrednoj blizini svojeg središta oscilacije, koje je u našem slučaju na $\frac{2}{3}$ dužine štapa od osi. U samom središtu oscilacije je sitna kvačica, za koju se priveže konac, baš dovoljno čvrst, da vukući okomito na dužinu štapa može ovaj prisloniti uz zapreku. Konac se zatim napinje dalje, dok ne pukne. Oslobođanje štapa je sada trenutno, ako nije prekratak komad konca, koji se napinje. Kod naše je aparature ta dužina konca oko 17 cm.

Mi ćemo sada motivirati netom opisani uređaj za ispuštanje štapa. Ponajprije smo istaknuli, da konac hvata štap u središtu oscilacije i da vuče okomito na dužinu štapa, te da se zapreka, o koju se štap upire, nalazi tik uz mjesto, gdje vezemo konac. Ovo sve nije uzeto nasumce, nego jednoznačno izlazi iz zahtjeva, da se pritisak ležaja na osovinu štapa ne smije promijeniti u času, kad isčezne sila, koja štap podržava u početnom priklonu.

Označimo li sa F i G komponente pritiska ležaja na osovinu u smjeru osi x' odnosno y' , to se lako nalazi za te komponente u času, kad je gibanje započelo⁴⁾

$$\begin{aligned} F &= M g \sin \theta \\ G &= M g \left(1 - \frac{d}{l}\right) \cos \theta, \end{aligned} \quad (50)$$

gdje je d daljina težišta štapa od osi vrtnje, a l reducirana dužina promatranog njihala. U našem slučaju $d = \frac{r}{2}$, a $l = \frac{2}{3} r$. Kad konac, privezan u daljini a od osi (sl. 9), podržava štap u mirovanju mora: 1) zbroj zakretnih momenata sila, koje dje-



Sl. 9.

⁴⁾ Ispravedi na pr.: E. J. Routh, Die Dynamik der Systeme starrer Körper, I., str. 93, Leipzig 1898.

Jedan pokus s fizikalnim njihalom

163

luju, biti nula i 2) zbroj komponentata sila, koje djeluju u smjeru osi x' odnosno y' , također nula. Dakle:

$$\begin{aligned} Y' &= -Mg \sin \theta = 0 \\ F_0 + X' - Mg \cos \theta &= 0 \\ G_0 + Y' - Mg \sin \theta &= 0. \end{aligned} \quad (51)$$

Ovdje smo s F_0 i G_0 označili pritisak ležaja na osovinu za vrijeme mirovanja štapa. Zahtijevamo li, da bude

$$\begin{aligned} F &= F_0 \\ G &= G_0, \end{aligned} \quad (52)$$

t. j. da se pritisak osovine ne promijeni u času, kad isčezne sila (X' , Y'), koja je do tada podržavala štap, to onda slijedi

$$\begin{aligned} X' &= 0 \\ a &= l, \end{aligned} \quad (53)$$

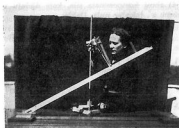
a time je dokazana naša tvrdnja, da konac treba učvrstiti u središtu oscilacije i da treba vući okomito na dužinu štapa. Kad ne bi ovaj zahtjev bio ispunjen dobio bi štap u početku gibanja udarac, jer se osovina, premda čvrsta, radi svoje dužine malo uvine djelovanjem sila.

Nadalje smo istakli, da ne smije biti prekratak komad konca, koji se nateže. Konac je elastičan i kad se napinje, on se protegne. To protegnuće je razmjerno dužini konca, dok veličina sile, kod koje konac puca, ne zavisi o dužini. Za vrijeme kidanja smanjuje se napetost u čitavom nategnutom dijelu konca, no to manje, što je konac duži, i uz primjerenu dužinu, vlakna se konca razidu, a da napetost konca praktički nije popustila. Zgodno je uzeti tako tanki konac, da je samom težinom štapa napet do blizu svoje granice čvrstoće, pa ga onda pri izvođenju pokusa treba još samo malo jače nategnuti, da pukne. Time se postizava vrlo miran polazak štapa, jer je njegov pritisak na zapreku bio malen.

Uzme li se u obzir, da je odabrani promjer čašice samo neznatno veći od promjera kuglice i da je uzeta maksimalna visina čašice, pa da unatoč tome pokus (sl. 10) s ovim uređajem uspijeva s vjerojatnošću 95%, to je onda očito, da nam je pošlo za rukom smetnje uvelike ukloniti. Za preciznost aparature je značajno, da pokus ne uspijeva, ako čašicu povišimo za 1 mm. Prema tome je pri eksperimentalnom određivanju visine čašice pogreška manja od 1%.

164

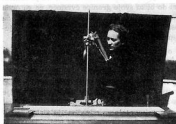
Vatroslav Lopašić — Zlatko Janković,



Početni položaj:
kuglica na kraju
štap, štap se spi-
re o zapreku, a
konac se napinje...



Konac je pušao:
štap i kuglica slobodno padaju...



Štap već miraje
na stolu, a kuglica
je spravo uletela
u čašicu!

SUMMARY

An Experiment with the Physical Pendulum

By V. Lopašić and Z. Janković

R. M. Sutton¹⁾ described under the title »Falling chimney-paradox of the free fall« an experiment which should show the observed breaking off of the upper end of tall chimneys whilst falling down. A uniform rod tilted at the angle Θ to the horizontal plane and a steel ball at its free end begin simultaneously their motions because of their weights. Beginning from an angle Θ the free end of the rod falls with a greater velocity than the ball and so the ball is in a certain height above the horizontal plane when the rod has reached it. To show this, a light cup of paper, into which the ball will fall, is fixed near the free end of the rod (fig. 1). R. M. Sutton proposes the angle $\Theta = 35^\circ$ for the performance of this experiment. To set the R. M. Sutton's apparatus in motion a prop is knocked out.

In the first part of our article we have undertaken the task to find the angle Θ at which the height h of the cup is maximal. Therefore we had to determine h as a function of Θ . Supposing a uniform and thin rod, the theory of pendulum gives us the relation (16) as the wanted function. The meaning of J in (16) is given by (13). The table I contains in column V the numerical values of h/r (r is the length of the rod) for various Θ . The diagram (fig. 3, curve V) shows this function. The table I gives the maximal height of the cup $h/r = 0,1129$ at the angle $\Theta = 28^\circ 40' \pm 5'$. Therefore the angle $\Theta = 35^\circ$ proposed by R. M. Sutton is not the most suitable one for the performance of the experiment. The expression (19) shows how much later is the ball than the rod in arriving into the horizontal plane. The numerical values of this delay for various Θ are given in the table I column IV and shown as the curve IV in fig. 3. It is evident that the time delay and the space delay do not fall together.

In the second part of our article we have found the path of the ball in a system $X'Y'$ rigidly connected with the rod. It is important to know this path because of angles at which the ball leaves the rod and approaches the cup. This path is

represented by (22) where we have to put in simultaneous values for γ and ϑ . We obtain these values from relations (23) and (26) by introducing the same value of φ . The slope of the path is given by the expression (28) into which we have to insert (31) for $\frac{d\gamma}{d\vartheta}$. The value $\varphi = \frac{\pi}{2}$ corresponds to the starting position of the rod. If we put this value of φ into (31) we obtain the indeterminate form $\frac{0}{0}$ for $\frac{d\gamma}{d\vartheta}$ for which, according to (32) and (33), we get the value (34) independent of the starting angle Θ .

The slope of the path at the beginning is represented by (35). The angle α at which the ball leaves the rod (fig. 5) follows from (39). If the starts of the ball and the rod are mutually independent then the notch at the free end of the rod, where the ball is sitting, can be only a part of a semisphere which has the direction α as axis. The necessary condition for the stability of the ball in the notch is $\Theta < 35^{\circ}16'$ derived from (41). The slope of the path at the brim of the cup is given by (42) which with (43) gives (44). The angle β between the path and the axis of the cup follows from (46). If b is the diameter of a cylindrical cup, the ball be very small, the corrected height H of this cup is represented by (47).

The table II contains the angles α and β at various Θ . The table III represents the path of the ball for $\Theta = 28^{\circ}$, and the table IV the one for $\Theta = 42^{\circ}$. These two paths are shown in fig. 6. We can infer from the numerical material given in tables II, III, IV that the limit angle for the performance of the Sutton's experiment is $\Theta_g = 48^{\circ}$.

In the third part of our article we have described our experimental arrangement which was made in accordance with the theoretical results exposed above. The angle $\Theta = 28^{\circ}$ was selected for this apparatus. The axis round which the rod rotates is represented in fig. 7. The trigger arrangement for setting the apparatus in motion is shown in fig. 8. A thread, just strong enough to hold the rod, is wound on the reel so that the rod is gently pressed against a strong iron bar. The angle Θ is then just 28° and the ball is put into the notch. A small part of the end of the rod is cut off so that the centre

of the ball is on the length axis of the rod and 100,0 cm far from the fulcrum. If the thread is strained to the breaking-point by winding it a little more, the rod and the ball are released instantaneously and very quietly.

If we request that the pressure of the bearings on the axis should not alter in the moment when the thread snaps, then follows that the thread is to be tied at the centre of percussion and strained perpendicularly to the rod length (See expressions (50), (51), (52), (53) and fig. 9).

The cup is made of celluloid and has the diameter $b = 13$ mm slightly greater than the diameter of the ball (0,5inch). The height of the cup is made according to the theoretical value.

The facts that the ball falls into the cup with 95% probability and that the experiment is unsuccessful if the cup is heightened for 1 mm, illustrate the precision of our apparatus. Therefore the error with our apparatus is not greater than 1%. Fig. 10. shows three stages of the experiment.

GLASNIK MAT.-FIZ. I ASTR.
Tom 35. — No. 3 — 1955.

THE ELECTROMAGNETIC CATENARY

Vatroslav Lopašić, Zagreb

It is proposed to find the equilibrium shape of a flexible, slender, and uniform wire carrying constant current I and suspended in a vertical homogeneous magnetic field.

If the strength of the magnetic field is zero and if we neglect the electromagnetic forces caused by the action of various elements of the wire upon each other, the shape of the wire is a common catenary. This is true if gravity very much outweighs the forces of the current I on itself, and it is not difficult to see when this supposition is fulfilled. These forces will be neglected in the following exposition.

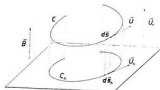


Fig. 1.

When the considered wire is suspended in a vertical magnetic field the curve C shall represent its equilibrium shape (Fig. 1) and C_0 the vertical projection of this curve into a horizontal plane. In order to write down the condition of equilibrium of an element of the wire we shall use the following symbols:

- ds an element of curve C assumed by the wire,
- u the unit vector giving the direction of ds ,
- ds_0 the element of curve C_0 corresponding to ds ,
- u_0 the unit vector giving the direction of ds_0 ,
- u the unit vector of vertical direction,
- B the magnetic flux density of the vertical magnetic field into which the wire is placed,
- T the tension in the wire at the considered elements ds .

The condition of equilibrium of an element ds is given by

$$-u_e w ds + I(ds \times B) + d(Tu) = 0 \quad (1)$$

where w is the weight of the wire per unit length.

The vector ds can be represented as a sum of a horizontal and a vertical component

$$ds = ds_h + ds_v = u_h ds_h + u_v ds_v. \quad (2)$$

The same can be done with the force $-Tu$ caused by the tension in the wire and pulling at the beginning of the element ds :

$$Tu = u_h T_h + u_v T_v. \quad (3)$$

If the expressions (2) and (3) are inserted into (1) we obtain

$$u_v (dT_v - w ds) + (u_h \times u_v) IB ds_h + T_h du_h + u_h dT_h = 0.$$

If we denote by r the radius of curvature of the element ds , the unit vector in the second term is given by

$$(u_h \times u_v) = -\frac{r ds u_h}{ds}$$

and consequently the condition of equilibrium takes the form

$$u_v (dT_v - w ds) + ds u_h (T_h - r IB) + u_h dT_h = 0. \quad (4)$$

Because the vectors in (4) are orthogonal this expression yields immediately

$$\begin{aligned} dT_v &= w ds, \\ T_h &= r IB, \\ dT_h &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

It follows from the last two expressions in (5) that the projection C_h is a circle since T_h is constant.

By using cylindrical coordinates with a vertical z axis passing through the center of the circle C_h we have

$$ds_h = r d\alpha, \quad ds_v = dz$$

and from (2) we get

$$\begin{aligned} u_h ds &= r d\alpha, \quad \text{or} \quad u_h = \frac{r d\alpha}{ds}, \\ u_v ds &= dz, \quad \text{or} \quad u_v = \frac{dz}{ds}. \end{aligned}$$

These expressions with (3) yield

$$\begin{aligned} T_h &= T \frac{r d\alpha}{ds}, \\ T_v &= T \frac{dz}{ds}. \end{aligned}$$

Consequently, the first two expressions in (5) can be written

$$\begin{aligned} d\left(T \frac{dz}{ds}\right) &= w \, ds, \\ T \frac{d\alpha}{ds} &= IB. \end{aligned} \quad (6)$$

By eliminating the tension T we have from (6)

$$IB \, d\left(\frac{dz}{r \, d\alpha}\right) = w \sqrt{\left(\frac{dz}{r \, d\alpha}\right)^2 + 1} \, d\alpha. \quad (7)$$

Integrating, and if the angle α is measured from the lowest point of the curve C , we get

$$\frac{dz}{d\alpha} = r \sinh \frac{w}{IB} \alpha.$$

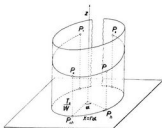


Fig. 2.

The second integration leads to

$$z = \frac{rIB}{w} \cosh \frac{w}{IB} \alpha - A, \quad (8)$$

where A is a constant depending on the position of the horizontal reference plane. This curve (8) can be called the electromagnetic catenary.

At the lowest point P_0 of the catenary the total tension T_0 is equal to T_A (Fig. 2). If we further write $x = r\alpha$ the equation (8) takes the form

$$z = \frac{T_0}{w} \cosh \frac{w}{T_0} x \quad (9)$$

which is the same as for the common catenary. The latter is a plane curve while the electromagnetic catenary lies in a vertical cylinder. On the other hand, the common catenary can be regarded as a special case if $IB = 0$.

The length of arc l of the electromagnetic catenary can be found in the usual way. If it is measured from the lowest point P_0 to P it is given by

$$l = \frac{rIB}{w} \sinh \frac{w}{IB} \alpha. \quad (10)$$

If the points P_1 and P_2 fall together then the electromagnetic catenary forms a closed loop. The total length L of the wire in this case is

$$L = 2 \frac{IB}{w} r \sinh \frac{w}{IB} \pi \quad (11)$$

and because it is a constant, we can determine the radius r

$$\frac{r}{L} = \frac{w}{2IB \sinh \frac{w}{IB} \pi}. \quad (12)$$

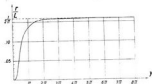


Fig. 3.

For a given length L there are several possible solutions corresponding to the loops wound once, twice, etc. round the lines of magnetic force on respective cylinders with radii r_1 , r_2 , etc. Here r_1 is given by the expression (12). Only this solution is stable since in this case a maximal flux is linked by the loop.

If we write

$$y = \frac{IB}{w}$$

we see from (12) that the radius r , measured by the loop length as the unit, depends only on this quantity y . For very small y -values r/L is zero, and for large ones it tends towards $1/2\pi$ which means that the limit shape of the loop is a horizontal circle. Fig. 3 gives the plot of r/L against y .

ELEKTROMAGNETSKA LANČANICA

Vatroslav Lopašić, Zagreb

Sadržaj

Traži se ravnotežni položaj gipke, tanke i jednolične žice, kojom teče stalna struja I i koja visi u vertikalnom homogenom magnetskom polju.

U ovom će se izvodu zanemariti međusobno djelovanje pojedinih dijelova žice. Krivulja C u Sl. 1. neka predočuje traženi oblik, a C_A je projekcija te krivulje u vodoravnu ravninu. Jedinичni vektori u i u_A daju smjerove elemenata ds i ds_A , a u_v ima vertikalni smjer. B je jakost magnetske indukcije, a T napetost u žici na mjestu elementa ds . Uvjet za ravnotežu tog elementa izražen je sa (1). Tu je w težina žice po jedinici dužine.

Služeći se izrazima (2) i (3), te prikazom jedinичnog vektora ($u_A \times u_v$) pomoću polumjera zakrivljenosti r elementa ds_A , taj se uvjet ravnoteže može pisati u obliku (4).

Budući da su vektori u (4) međusobno okomiti, ta se jednadžba raspada u sustav (5). Iz posljednjih dviju jednadžbi u (5) slijedi, da je projekcija C_A kružnica.

Upotrebom cilindričnih koordinata s vertikalnom osi z , koja prolazi kroz središte kružnice C_A , mogu se napisati izrazi za linijske elemente, odnosno komponente sile od napetosti u žici, u drugom obliku. Prema tome prve dvije jednadžbe u (5) prelaze u oblik (6).

Ako se iz izraza (6) eliminiše napetost T , dolazimo do jednadžbe (7), koja se daje neposredno integrirati. Kut α se mjeri od najniže točke krivulje C . Druga integracija vodi na (8). Konstanta A zavisi o položaju horizontalne ravnine, od koje se mjeri visina z . Krivulju C možemo nazvati elektromagnetskom lančanicom.

Napetost u žici kod najniže točke P_0 jednaka je T_0 , pa uvođenjem veličine x prema Sl. 2. izraz (8) prelazi u (9), a taj se oblikom podudara s izrazom za običnu lančanicu. Elektromagnetska lančanica, za razliku od ove, leži na kružnom valjku.

Dužina luka l od P_0 do P dana je izrazom (10), a za slučaj da točke P_1 i P_2 padnu skupa i lančanica čini jednostavnu petlju, dužina žice je prikazana sa (11). Odavle izlazi polumjer valjka, t. j. izraz (12). Omjer r/L zavisi samo o veličini y . Sl. 3 je grafički prikaz te zavisnosti. Za veliko y elektromagnetska je lančanica vodoravna kružnica.

Zavod za fiziku Tehničkog fakulteta, Zagreb.

(Primljeno 4. VII. 1955.).

GLASNIK MAT. - FIZ. I ASTR.
Tom 10. - No. 2 - 1955.

A NOTE ON THE WIRE LOOP METHOD FOR LOCATING THE MEDIAN PLANE IN A CYCLOTRON MAGNET

Vatroslav Lopašić, Zagreb

A loop of wire carrying constant current I , supported at one of its points by a hydrometer float, and placed between the poles of a cyclotron magnet, was used at the Chicago University to locate the equilibrium orbits of particles¹⁾. In this note it will be shown that the point of the loop attached to the float lies almost exactly in the median plane of the considered magnetic field, if a change of current I does not affect the height of float.

Because of the radial fall-off of the magnetic field in a cyclotron, only in the median plane the lines of magnetic force are exactly vertical; above and below it they bend inwards. Therefore, at a given distance r from the center of the magnetic field and at a given height Z above the median plane, there exists a radial component B_r of the magnetic field

$$B_r = \frac{r}{r} \frac{\partial B_z}{\partial r} Z. \quad (1)$$

The effect of this component on the shape of the wire loop can be neglected since it is very small in comparison with the vertical component B_z ; it has only influence on the position of the loop as it tends to move it away from the median plane. The vertical component of the force F resulting from B_z , and the total weight of the loop are balanced by the upthrust of the float. In the following we shall assume that the shape of the loop is an electromagnetic catenary²⁾. Now the force on loop F due to B_r will be found.

If an element of the loop ds is represented as the sum of its horizontal and vertical components then the force on this element can be written as follows:

¹⁾ H. L. Anderson, J. Marshall, L. Kornblith, L. Schwartz, R. Miller, Rev. Sci. Inst. **23**, 707, (1952).

J. W. Gollop, Notes on a Tour of American Fixed Frequency Cyclotrons, M. R. C. Radiotherapeutic Research Unit, London, Cyclotron Section Library No. 533, p. 9.

²⁾ V. Lopašić, Glasnik mat.-fiz. astr., T. 10 (1955) p. 189.

196

Vatroslav Lopasić, Zagreb,

$$\begin{aligned}
 d\mathbf{F} &= I (d\mathbf{s} \times \mathbf{B}_e) = I \left[(u_h ds_h + u_r ds_r) \times \frac{\mathbf{r}}{r} \right] \frac{\partial B_z}{\partial r} Z = \\
 &= I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z (u_h \times \frac{\mathbf{r}}{r}) ds_h + I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z (u_r \times \frac{\mathbf{r}}{r}) ds_r = \\
 &= -u_r I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z ds_h + u_h I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z ds_r
 \end{aligned} \quad (2)$$

where Z is the distance of the considered element from the median plane, u_r , u_h , and r/r unit vectors of vertical, horizontal and radial direction respectively. In consequence, the force $d\mathbf{F}$ has a vertical component dF_v and a horizontal one dF_h

$$dF_v = -I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z ds_h, \quad (3)$$

$$dF_h = I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z ds_r. \quad (4)$$

This force is represented in Fig. 1 where the cylinder in which the catenary lies is developed into a plane. In this figure it is supposed that the north pole is the lower one, and ds shows the direction of current in the loop.

If we denote by z the height above the horizontal reference plane of the electromagnetic catenary we have, with reference to Fig. 1

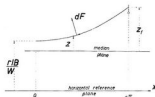


Fig. 1.

$$\begin{aligned}
 z &= \frac{r I B_z}{w} \cosh \frac{w}{r I B_z} \alpha, \\
 Z &= \frac{r I B_z}{w} (\cosh \frac{w}{I B_z} \alpha - \cosh \frac{w}{I B_z} \pi) + Z_f.
 \end{aligned} \quad (5)$$

After integration along the whole loop and taking into account that $ds_h = r d\alpha$, the expression (3) with (5) will yield

$$\begin{aligned}
 F_v &= -2\pi I \frac{\partial B_z}{\partial r} Z_f - \\
 &- 2 \frac{r^2 I^2 B_z}{w^2} \frac{\partial B_z}{\partial r} (\sinh \frac{w}{I B_z} \pi - \frac{w}{I B_z} \pi \cosh \frac{w}{I B_z} \pi).
 \end{aligned} \quad (6)$$

If the loop is attached to a float the equilibrium of forces in vertical direction is given by

$$K - W + F_v = 0 \quad (7)$$

where K is the upthrust of the float, W the total weight of the float and wire, and F_v the force given by (6).

The upthrust K can be represented by

$$K = -c Z_f + C \quad (8)$$

where C is a constant, and c depends on the bore of the float neck, the diameter of the vessel containing liquid, and on the specific gravity of the latter.

Now we are going to find the position of the float if a change of current I does not alter its height. This special height will be denoted by Z_f . Since in this case the upthrust K remains constant, the condition to be fulfilled is given by

$$\frac{\partial F_v}{\partial I} = 0 \text{ for } Z_f = Z_0 = \text{const.} \quad (9)$$

Before performing the derivation of the expression (6) it should be noted that the radius r changes with current I . Therefore, it should be substituted by

$$r = \frac{w}{I B_0} \frac{L}{2 \sinh \frac{w}{I B_0} \pi} \quad (10)$$

where L represents the total length of the loop, which is supposed not to change with I .

After some transformations the equation (9), taking account of (10), gives

$$Z_0 = L \frac{4 \xi^2 - 2(1 - \xi^2) \sinh^2 \xi - \sinh 2\xi}{2 \xi^2 \sinh 2\xi} \quad (11)$$

where the meaning of ξ is given by

$$\xi = \frac{w}{I B_0} \pi.$$

With a thin wire, and in the magnetic field of a cyclotron magnet it is easy to make

$$\xi \leq 10^{-2}.$$

Consequently, if we develop the hyperbolic functions in (10) into series, we get

$$Z_0 = \frac{7}{90} L \xi^3 \left(1 - \frac{71}{147} \xi^2 + \frac{449}{2205} \xi^4 - \dots \right). \quad (12)$$

We see from this expression that the height Z_0 lies between the limits

$$0 < Z_0 < \frac{7}{90} L \xi^3 \quad (13)$$

which means that Z_0 is practically zero.

198

Vatroslav Lopašić, Zagreb,

By integrating (4) along the whole loop it can be shown that the center of the circle, which is the projection of the loop into horizontal plane, practically coincides with the center of the magnetic field.

Physics Department of the Faculty of Technology, Zagreb.

PRILOG METODI ŽIČANE PETLJE ZA ODREĐIVANJE MEDIJANE RAVNINE CIKLOTRONSKOG MAGNETA

Vatroslav Lopašić, Zagreb

Sadržaj

Žičanu petlju, kojom teče stalna struja I i koja je poduprta u jednoj točki hidrometarskim plovkom, upotrebili su na Sveučilištu u Chicagu da odrede ravnotežne staze čestica u ondašnjem sinhrociklotronu¹). U ovom se prilogu pokazuje, da se točka u kojoj je petlja poduprta plovkom, nalazi malne točno u medijanoj ravnini magnetskog polja, ako promjena struje I ne utječe na visinu plovka.

Usljed radijalnog opadanja jakosti magnetskog polja u ciklotronu magnetske su silnice vertikalne samo u medijanoj ravnini; iznad nje i ispod nje one su svinute prema unutra. Zato u danoj daljini r od središta polja i u visini Z iznad medijane ravnine postoji radijalna komponenta magnetskog polja dana izrazom (1).

Utjecaj te komponente na oblik žičane petlje može se zanemariti; ona jedino nastoji da udalji petlju od medijane ravnine. Vertikalnoj komponenti sile F i težini žice drži ravnotežu uzgon plovka.

Oblik petlje je elektromagnetska lančanica²), a sila dF je dana izrazom (2). Ova sila ima vertikalnu i horizontalnu komponentu prema (3) i (4). U Sl. 1 je razvijen valjak na kojem leži lančanica i ucrtana sila dF .

Ako sa Z označimo visinu iznad medijane ravnine, onda jednadžba elektromagnetske lančanice ima oblik (5). Integracijom duž čitave petlje izrazi (3) i (5) daju vertikalnu komponentu (6).

Ravnoteža sila u vertikalnom smjeru dana je sa (7), gdje je K uzgon, a W težina žice i plovka. Uzgon se može prikazati izrazom (8), gdje su c i C konstante.

Ako promjena struje u petlji ne promijeni visine plovka, onda mora biti ispunjen uvjet (9). Pri izvođenju ove derivacije treba uzeti u obzir (10), t. j. da se polumjer petlje mijenja sa I . Tako se dobije izraz (11), koji daje visinu točke u kojoj je petlja pričvršćena na plovak. Budući da se ž. dade načititi malenim, razvojem izraza (11) u red dobivamo (12). Zanemariivši članove višeg reda izlazi ocjena visine Z_k , kako je dana u (13), t. j. ta je visina praktički jednaka nuli.

I izraz (4) može se integrirati duž čitave petlje. Iz ovoga razmatranja horizontalne komponente sile slijedi, da se središte kružnice, u koju se projicira petlja, vrlo dobro podudara sa središtem magnetskog polja.

Zavod za fiziku Tehničkog fakulteta, Zagreb.

(Primljeno 4. VII. 1955)

Medunarodna temperaturna skala

The International Temperature Scale

dr Vatroslav Lopačić

Pojam temperature u fenomenološkoj termodinamici i kinetičkoj teoriji. Statistički značaj temperature.

Apsolutna termodinamička temperaturna skala i njena teorijska osnova. Veličina stupnja temperature u apsolutnoj skali.

Medunarodna temperaturna skala i njena povijest i razvoj. Fundamentalne točke međunarodne temperaturne skale i njihova realizacija. Preput za mjerenje temperature izvanje fundamentalnih točaka. Standardni točkovi za realizaciju međunarodne temperaturne skale. Sekundarna temperaturna točka.

The concept of temperature in the phenomenological thermodynamics and kinetic theory. Statistical character of temperature.

Absolute thermodynamical temperature scale and the theoretical basis. The magnitude of temperature degree in the absolute scale.

The international temperature scale and its connection with the absolute one as well as the fundamental points of the international temperature scale and its realization, the rules for temperature measurement between fundamental points, the standard for realization of international temperature scale and the secondary temperature points.

Pojam temperature ide u red osnovnih pojmova fizike. To znači da se on ne može definirati drugim pojmovima, nego da ga stvaramo neposredno na osnovu našeg iskustva. Takva je situacija i s mnogim drugim fizikalnim veličinama, kao što su npr. sila, duljina, vrijeme, masa itd. Fizika se zadovoljava time da ustanovi propise za mjerenje spomenutih veličina tako da se one mogu izraziti mjernim brojem i mjercom (jedinicom za dotičnu veličinu). Tada su te veličine za fiziku dovoljno određene.

Kad neku fizikalnu veličinu umijemo mjeriti, onda je moguće tražiti vezu između te fizikalne veličine i ostalih veličina koje u nekom procesu sudjeluju, a to je prvi korak u iznalaženju fizikalnih zakonitosti. Fizikalne zakonitosti nastojimo izraziti u matematičkom obliku, u formuli u koje ulaze mjerene veličine prikazane kao opći brojevi. Prema tome svaki je takav opći broj produkt posebnog broja i mjere za dotičnu fizikalnu veličinu:

$$X = [X] [X]. \quad (1)$$

Fizikalna veličina X prikazana je kao produkt mjernog broja $[X]$ i mjere $[X]$. Ovaj prikaz fizikalne veličine omogućuje da se s njom mogu obavljati matematičke operacije koje se primjenjuju ne samo na mjerne brojeve nego i na mjere.

Principijelno mogli bismo za svaku fizikalnu veličinu odabrati nezavisnu (osnovnu) mjeru. Međutim, prikladno je tako postupiti samo za mali broj fizikalnih veličina. Tako se u mehanici definiraju osnovne mjere za duljinu (metar), masu (kilogram) i vrijeme (sekunda). Ostale se mjere izvedu na osnovu principa, da za veličine mjerene u mjerama sustava, koji se osniva na odabranim osnovnim mjerama, jednakost između mjernih brojeva $[X_i]$ glase jednako kao i jednakost između pripadnih fizikalnih veličina X_i . Tako npr. jednakost gibanja

$$F = ma \quad (2)$$

izriče fizikalnu zakonitost koja očigledno se može zavisiti o izboru mjera za silu, masu i akceleraciju. To znači da ova veza među fizikalnim veličinama vrijedi bez obzira kakvim se mjerama služimo pri promatranju nekog konkretnog slučaja. Međutim, ako sve veličine mjerimo mjerama istog sustava, onda s tog slučaja, prema spomenutom principu za definiranje izvedenih mjera, slijedi

$$[F] = [m] [a]. \quad (3)$$

Jednakost (2) može se pisati, ako se služimo relacijom (1), i ovako

$$[F] [F] = [m] [a] [a]. \quad (4)$$

Podijelimo li (4) s izrazom (3), onda slijedi veza među mjerama istog sustava

$$[F] = [m] [a]. \quad (5)$$

Ova jednadžba štamo ovako: ako neka sila daje masi $[m] = \text{kg}$ akceleraciju $[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, onda je ta sila $[F] = \text{N}$.

Vidimo, dakle, prednost sustava mjera. Ako se služimo mjerama istog sustava, onda se te mjere u svim formulama koje vežu fizikalne veličine, jednostavno skrate. Umetnuk mjera na lijevoj strani jednadžbe jednak je umetnuk mjera na desnoj, tako da je veza između mjernih brojeva jednakog oblika i s istim faktorima kao i pripadajućih veličina jednadžba.

Fizikalni sustav mjera — meter, kilogram, sekunda (MKS — sustav) — proširuje se u elektriciteti definicijom osnovne mjere za električnu struju amper, a u nauči o toplini definicijom temperaturnog stupnja. Naša pažnja je u ovom prikazu obraćana propisima koji određuju kako treba mjeriti temperatura. Međutim prije nego se posužavamo definicijama i propisima u vezi s mjerenjem temperature, pismostrit ćemo neke osnovne topline pojave i zakonitosti, na osnovu kojih se pojam temperature kao fizikalne veličine oblikovao.

Ako promatramo određenu količinu ugađa zarvoren u nekoj posudi, onda smatramo da nakon dovoljnog čekanja nastupi toplinska ravnoteža između stijena posude i zarvorenog plina. To, međutim, znači da je ukupni tok energije iz plina na stijene posude postao nula. Unutar samog plina ostalo je toplinsko (nesređeno) gibanje molekula, sudari molekula plina međusobno i s atomima posude. Zbog toga mijenja se energija pojedinih molekula, odnosno pojedinih mikro područja unutar plina; ukupni sadržaj energije čitave količine plina, unutarnja energija U , ostaje stalan. Prema tome, stanje toplinske ravnoteže određuje makrofizičaku veličinu, unutarnju energiju U . Isto tako u tom stanju određene su i daljnje makrofizičake veličine kao što su tlak p , volumen V , temperatura T , gustoća ρ , entropija S itd. Sve navedene veličine su varijable koje se mijenjaju, ako se mijenja ravnotežno stanje plina, npr. tako da se mijenja obujam V , ili da se odvođi toplina Q , ili da se primiješa neki novi plin. Sve se, međutim, varijable stanja vraćaju na svoje prvotne vrijednosti, ako se plin vrati u svoje prvotno stanje, pošto je prošao bilo kakav ciklus promjena.

Vjerdva da je unutarnja energija termodinamičkog sustava varijabla stanja, sadržana je u prvom principu termodinamike. Ta je vjerdva ekvivalentna vjerdvi da je toplina jedan od oblika energije

$$\begin{aligned} dU &= dQ - dA, \\ dU &= dQ - p dV + H dM + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

Unutarnja energija U termodinamičkog sustava povećava se dovođenjem topline Q , a smanji izdvojenjem rada A , bilo u obliku mehaničkog rada, elektromagnetske energije, kemijske energije itd. Ograničimo li se na mehanički rad, tada prvi princip poprima oblik

$$dU = dQ - p dV. \quad (7)$$

Činjenica je da je unutarnja energija U varijabla stanja izražena matematički, tako da je dU točan diferencijal, dok približnici na desnoj strani jednadžbe (6) odnosno (7) to nisu. Dovođenje topline dQ jednom sustavu povećava ukupni sadržaj unutarnje energije tog sustava. Pri tome nije isključen prijelaz dijela te topline u neki drugi oblik energije ili nekog drugog oblika u toplinu.

Svaki oblik energije koji stoji na desnoj strani jednadžbe (6) može se prikazati kao umetnuk dvaju faktora, dviju fizikalnih veličina, jedne intenzivne i druge ekstenzivne. Tako je mehanički rad $p dV$ umetnuk tlaka p (intenzivne veličine) i prirasta obujma dV (ekstenzivne veličine). Ako se termodinamički sustav nalazi u magnetskom polju jakosti H , a magnetski moment sustava poraste za dM , tad unutarnja energija U sustava poraste za $H dM$. Opet je prirast energije prikazan kao umetnuk intenzivne veličine H , jakosti magnetskog polja, i ekstenzivne veličine dM , prirasta magnetskog momenta.

Ovdje ćemo uklopiti kratko razmatranje koje će nam pokazati kako se može razdijeliti intenzivna veličina od svojeg ekstenzivnog para. Ako promatramo dva u svemu jednaka termodinamička sustava, pa varijable stanja prvog sustava označimo indeksom 1, a drugog indeksom 2, onda potpuna jednakost izričemo ovim nizom jednadžbi

$$\begin{aligned} U_1 &= U_2 \\ p_1 &= p_2 \\ V_1 &= V_2 \\ H_1 &= H_2 \\ M_1 &= M_2 \end{aligned} \quad \text{itd.} \quad (8)$$

Sve varijable stanja imaju u oba sustava jednake vrijednosti. — Ako sada ova dva sustava sastavimo u jedan, tada intenzivne varijable zadržte svoju vrijednost, dok ekstenzivne postanu dvostruke. Tako je za združeni sustav:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 = 2U_1 \\ p &= p_1 = p_2 \\ V &= V_1 + V_2 = 2V_1 \\ H &= H_1 = H_2 \\ M &= M_1 + M_2 = 2M_1 \end{aligned} \quad \text{itd.} \quad (9)$$

Prema tome vidimo da su unutarnja energija U , obujam V , magnetski moment M ekstenzivne veličine, a tlak p , te jakost magnetskog polja H intenzivne veličine.

Gledajući u svjetlu prethodnog razmatranja, zaključujemo da je temperatura interaktivna veličina. Dva posve jednaka termodinamička sustava imaju i jednake temperature

$$T_1 = T_2. \quad (10)$$

Kad se oni združe u jedan sustav, taj združeni sustav ima temperaturu

$$T = T_1 = T_2. \quad (11)$$

Vratimo se sada na matematičku formulaciju prvog principa termodinamike

$$dU = dQ - p dV + H dM + \dots \quad (12)$$

Ovdje se opravdano možemo pitati, koja se ekstenzivna veličina mijenja, ako se tijelo dovede toplina dQ kod temperature T . Ovo je ekvivalentno s pitanjem koja je ekstenzivna veličina sparena s temperaturom T , koja je intenzivna veličina.

Odgovor na pitanje daje razmatranje Carnotova kružnog procesa u svjetlu drugog principa termodinamike. Drugi princip termodinamike može se izreći na razne međusobno ekvivalentne načine. Tako npr.: „Prijelaz topline s tijela više temperature na tijelo niže temperature može biti jedini proces koji se događa u zatvorenom termodinamičkom sustavu, dok obrnuti prijelaz to ne može biti“. Ili ovako: „Ne može se načiniti toplinski stroj koji bi trajno radio samo pretvarajući toplinu jednog spremnika topline u mehanički rad.“ Ili ovako: „Carnotov kružni proces ima najveći stupanj djelovanja“.

Stupanj djelovanja Carnotova procesa

$$\eta = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \quad (13)$$

omjer je rada $A = |Q_1| - |Q_2|$, što ga toplinski stroj obavi u jednom svojem ciklusu, prema toplini $|Q_1|$ koja je primio od spremnika više temperature. Toplino $|Q_2|$ stroj je predao spremniku niže temperature i ta je toplina za pretvorbu u mehanički rad izgubljena.

Budući da je stupanj djelovanja Carnotova procesa najveći, to je on nezavisan o tvari, koja proces prolazi, itd. On zavisi samo o temperaturama toplinskih spremnika između kojih taj proces radi.

$$\frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} = 1 - f(T_1, T_2). \quad (14)$$

Funkcija

$$f(T_1, T_2) = \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \quad (15)$$

može se pobliže odrediti na osnovu drugog principa termodinamike.

Postojeći Carnotov proces, koji prima toplinu $|Q_1|$ iz toplijeg spremnika temperature T_1 , a hladnijem spremniku predaje toplinu $|Q_2|$ kod temperature T_2 , rastavimo u dva procesa tako da uklopimo troše spremnika topline s temperaturom T_1 . Prvi parcijalni proces ima stupanj djelovanja

$$\frac{|Q_1| - |Q_3|}{|Q_1|} = 1 - f(T_1, T_3), \quad (16)$$

a drugi parcijalni proces

$$\frac{|Q_3| - |Q_2|}{|Q_3|} = 1 - f(T_3, T_2). \quad (17)$$

Toplinu $|Q_3|$, koja prvi parcijalni proces predaje spremniku temperature T_3 , primanjuje drugi parcijalni proces koji je iz tog rezervoara prima, te prema tome treći rezervoar ne mijenja svoj energetski sadržaj. Budući da združeni proces ne može imati ni veći ni manji stupanj djelovanja nego oba parcijalna uzastopno izvedena, slijedi da drugi parcijalni proces

može predati rezervoaru temperature T_2 toplinu $|Q_2|$, koja je jednako velika kao i toplina koju predaje združeni proces.

Jednadžbe (15), (16) i (17) daju

$$f(T_1, T_3) = \frac{|Q_3|}{|Q_1|}, \quad (15')$$

$$f(T_3, T_2) = \frac{|Q_2|}{|Q_3|}, \quad (16')$$

$$f(T_1, T_2) = \frac{|Q_2|}{|Q_1|}. \quad (17')$$

Odatle slijedi

$$f(T_1, T_2) = f(T_1, T_3) \cdot f(T_3, T_2). \quad (18)$$

Ova se jednadžba može zadovoljiti postavkom

$$f(T_1, T_2) = \frac{F(T_2)}{F(T_1)}, \quad (19)$$

tada je naime

$$f(T_1, T_3) = \frac{F(T_3)}{F(T_1)}, \quad (20)$$

$$f(T_3, T_2) = \frac{F(T_2)}{F(T_3)},$$

pa je funkcionalna jednadžba (18) ispunjena.

Budući da je u postavci (19) funkcija F neodređena, to onda postoji mogućnost da se izbornom te funkcije definiše temperaturna skala koja je nezavisna o izboru temperaturne tvari.

Ako se postavi

$$F(T) = T, \quad (21)$$

tada je to ne samo najjednostavnija postavka, nego također ta postavka dovodi do slaganja ove skale sa skalom definisanom pomoću idealnog plina.

Prema tome je stupanj djelovanja Carnotova procesa

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (22)$$

Odatle slijedi

$$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (23)$$

Ako se umu u obzir predmaci toplina, tada je za Carnotov proces

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0. \quad (24)$$

Primijeni li se posljednja jednadžba na bilo koji reverzibilni kružni proces tako da se ovaj aproksimira mnoštvom parcijalnih Carnotovih procesa, tada za svaki parcijalni proces slijedi

$$\frac{dQ_1}{T_1} + \frac{dQ_2}{T_2} = 0. \quad (25)$$

Integrirano duž čitavog reverzibilnog kružnog procesa daje rezultat

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0. \quad (26)$$

Prema tome vidimo da je izraz pod znakom integrala totalni diferencijal

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (\text{rev}) \quad (27)$$

Veličina S je, dakle, ona ekstenzivna veličina koja se promijeni ako se tijelo kod temperature T dovede na reverzibilni način količina topline dQ .

Prema tome, primjenom drugog principa termodinamike možemo pisati za prirast unutarnje energije

$$dU = TdS - pdV + \dots \quad (28)$$

U ovom je izrazu dovedena toplota dQ prikazana kao umnožak intenzivne veličine, temperature T i prirasta ekstenzivne veličine dS , entropije, koja je varijabla stanja.

Jednadžbama (21) i (23) dana je veza između toplota, koje se izmjenjuju u Carnotovu kružnom procesu, i pripadnih apsolutnih temperatura spremišta topline u obliku omjera. Iz toga slijedi da ove jednadžbe ne određuju veličinu temperaturnog stupnja. Veličina temperaturnog stupnja određena je tako da je definirana temperatura trojne tačke vode

$$T_A = 273,16^\circ\text{K}. \quad (29)$$

Ovakvo definirana temperaturna skala je u termodinamičkim Kelvinskim stupnjevima.

Iz termodinamičke Kelvinske temperature razlaza se termodinamička Celsiusova temperatura po formuli

$$T^\circ\text{K} = t^\circ\text{C} + 273,15^\circ. \quad (30)$$

Objek temperaturne skale imaju jednake stupnjeve samo su im male razmaknute za $273,15^\circ$.

Ovakvo definirana temperaturna skala teško se ostvaruje. Zato je na osnovu zaključaka „Generalne konferencije za mjere i utege“ donesenih na sastancima god. 1927. i 1948. definirana međunarodna (praktična) Celsiusova temperaturna skala. Ta se definicija osniva na „fundamentalnim“ i „primarnim“ čvrstim tačkama, tj. vrlo čistim i talistima nekih tvari.

Ako je tlak standardni od $1013250 \frac{\text{din}}{\text{cm}^2}$, tad su temperature u međunarodnim (praktičnim) Cel-siusovim stupnjevima:

- | | |
|---|---------|
| 1. Ravnoteža između kapljevitog i plinovitog kisika (kisikova tačka) — 182,970 | |
| 2. Ravnoteža između leda i vode zasićenog vodušom (tačka leda, fundamentalna tačka) | 0. |
| 3. Ravnoteža između vode i pare (tačka pare, fundamentalna tačka) | 100 |
| 4. Ravnoteža između kapljevitog i plinovitog sumpora (tačka sumpora) | 444,600 |
| 5. Ravnoteža između krutog i kapljevitog srebra (tačka srebra) | 960,8 |
| 6. Ravnoteža između krutog i kapovitog zlata (tačka zlata) | 1063,0 |

U ovoj međunarodnoj Celsiusovoj skali trojna tačka vode ima temperaturu $0,01^\circ\text{C}$.

Između ovih čvrstih i fundamentalnih temperaturnih tačaka temperatura se interpolira po ovim propisima:

1. Područje od 0°C (tačka leda) do $630,5^\circ\text{C}$ (tačka antimona)

Temperatura se mjeri otporom žice od platine. Taj je otpor definiran u zavisnosti o temperaturi izrazom

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2). \quad (31)$$

Ovdje je R_0 otpor žice na tački leda, a konstante A i B određuju se mjerenjem otpora R_t kod tačke pare i tačke sumpora. Za izvedbu samog optomika od platinne postoje propisi i preporuke. Pri tome propisi moraju biti ispunjeni, što se vrijedi, međutim, za preporuke.

Temperatura $630,5^\circ\text{C}$ je „sekundarna čvrsta“ tačka. Ona je određena ravnotežom krutog i kapljevitog antimona uz standardni tlak. Tih sekundarnih tačaka utvrđeno je oko dvadeset na spomenutoj konferenciji god. 1948.

2. Područje od $-182,97^\circ\text{C}$ (tačka kisika) do 0°C (tačka leda).

U ovom je području temperatura definirana formulom

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3], \quad (32)$$

koja daje otpor platinske žice. Ovdje konstante R_0 , A , B imaju vrijednosti kako su određene za područje između tačke leda i tačke antimona, a konstanta C dobiva se mjerenjem otpora R_t kod tačke kisika.

3. Područje od $630,5^\circ\text{C}$ (tačka antimona) do $1063,0^\circ\text{C}$ (tačka zlata).

U ovom je području temperatura definirana formulom

$$U_t = a + bt + ct^2, \quad (33)$$

koja daje napon standardnog termoelementa od platinne i platin-rodija, kojemu je jedno spojište na temperaturi 0°C , a drugo na mjerenoj temperaturi t . Konstante u izrazu (33) određuju se tako da se izmjeri napon U_t kod tačke zlata, kod tačke srebra i kod tačke antimona. Pri tome se kao temperatura taljenja antimona uzima ona temperatura koju daje standardni platinjski termometar za konkretni uzorak antimona. Čistoća upotrijebljenog antimona treba da je takva, da njegovo talište ne bude ispod $630,3^\circ\text{C}$.

Slitina platinrodij ima 90 težinskih dijelova platine i 10 dijelova rodija.

4. Područje iznad $1063,0^\circ\text{C}$ (tačka zlata).

U ovom se području temperatura definira pomoću radijacije crnog tijela na osnovu formule

$$\frac{I_t}{I_{\infty}} = \frac{\exp\{c_1/\lambda(t + T_0)\} - 1}{\exp\{c_2/\lambda(t + T_0)\} - 1}. \quad (34)$$

U tom izrazu I_t odnosno I_{∞} izražavaju energije radijacije crnog tijela po jedinici valne duljine na jedinici površine crnog tijela u jedinici vremena pri odabranoj valnoj duljini λ . Pri tom je I_{∞} energija radijacije kod tačke zlata, a I_t kod temperature t . Konstanta $c_1 = 1.438 \text{ cm stupanj}$, dok je $T_0 = 273,15^\circ$

temperatura tačke leda u stupanjima Kelvina, λ , je valna dužina svjetlosti u vidljivom dijelu spektra.

Iskaldavanje standardnih termometara izvođe specijalni baždarski laboratoriji. Tamo se mogu provesti u život svi propisi i preporuke u vezi s ostvarenjem fundamentalnih i primarnih tačaka međunarodne temperaturne skale.

Na osnovu međunarodne Celsiusove skale definira se međunarodna Kelvinova skala pomakom nule za $273,15^\circ$ naniže. Prema tome je veza između Kelvinove međunarodne skale i Celsiusove međunarodne skale dana formulom

$$T^\circ\text{K}(\text{int.}) = t^\circ\text{C}(\text{int.}) + 273,15^\circ\text{C}. \quad (35)$$

Opravdano je sada pitati kakva je veza između međunarodne temperaturne skale i termodinamičke (apsolutne) temperaturne skale. Ako se želi neka temperatura izmjeriti u termodinamičkoj skali, onda se služimo plinskim termometrom. Novija mjerenja u *Massachusetts Institute of Technology* sastojala su se u tome da se upoređivala temperatura izmjerena pomoću plinskih termometara (termodinamička temperatura) s temperaturom standardnog termometra sa žicom od platine u području od tačke leda pa do tačke sumpora. Kao rezultat tih mjerenja sistematska diferencija između termodinamičke i međunarodne temperature prikazana je formulom

$$t(\text{term.}) - t(\text{int.}) = t(t - 100) (0,04217 - 7,481 \cdot 10^{-4}t) \cdot 10^{-4} \quad (36)$$

U ovom je prikazu pretpostavljeno da se obje skale podudaraju u fundamentalnim tačkama (tačka leda i tačka pare). Za tačku sumpora dobiva se termodinamička temperatura

$$t_s = 444,74^\circ\text{C}(\text{term.}) \quad (37)$$

Mjerenja u *Physikalisch-technische Reichsanstalt*, te u *Leiden* daju za područje između tačke kisika i tačke leda diferencije između termodinamičke i međunarodne skale koje su manje od $0,05^\circ$, pa su, prema tome, reda veličine pogreške mjerenja.

Za mjerenje temperatura ispod tačke kisika, $-182,97^\circ\text{C}(\text{int.})$, ne postoje međunarodni propisi. *Bureau of Standards* u *Washington* baždari platinske otporne termometre za to područje prema temperaturnoj skali koju su u tom laboratoriju ostvarili. Time je barem osigurana jednakost temperaturnih podataka u raznim mjerenjima koja se izvođe pomoću spomenutih termometara.

Na kraju možemo ovo izlaganje ovako sažeti:

Termodinamička ili apsolutna Kelvinova temperaturna skala određena je definicijskom jednačinom za stupanj djelovanja Carnotova kružnog procesa i fiksniranjem apsolutne temperature trojne tačke vode.

Na osnovu termodinamičke Kelvinove skale definira se Celsiusova termodinamička skala pomakom nule za $273,15^\circ$ naniže.

Međunarodna ili praktična Celsiusova temperaturna skala osniva se na dvije fundamentalne tačke i četiri primarne čvrste tačke za koje su temperature definicijom određene, zatim na propisima kako se temperature interpoliraju između tih tačaka, te između tačke zlata.

Međunarodna Kelvinova skala definira se na osnovu međunarodne Celsiusove skale pomakom nule za $273,15^\circ$ naniže.

Imamo, dakle, dvije termodinamičke skale: Kelvinovu i iz nje izvedenu Celsiusovu. Imamo i dvije međunarodne skale: Celsiusovu i iz nje izvedenu Kelvinovu. Razlike između pripadnih termodinamičkih i međunarodnih skala mogu se u većini praktičnih mjerenja zanemariti.

4. ČLANCI IZVAN FIZIKE

(matematičke zagonetke, hrvatski jezik i teologija)

Danko Žubrinić¹

INTERESI IZVAN FIZIKE



Sl. 4.1.: Profesor Lopašić u knjižnici Zavoda za primijenjenu fiziku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, u doba kada je s njim razgovarao prof. Žubrinić

Profesora Lopašića upoznao sam zahvaljujući glagoljci. Kolege s fakulteta koji su čuli za moj hobi, savjetovali su mi da mu se svakako javim. On je u to vrijeme, 1992. godine,

bio već desetak godina u mirovini. Na moj telefonski poziv profesor Lopašić ljubazno me je pozvao da ga posjetim u njegovu stanu u Vinkovićevoj ulici. U sobi je oko fotelje na dohvata ruke bilo mnoštvo knjiga – od rječnika raznih jezika, književnih djela, do matema-

¹ Redoviti profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.



Sl. 4.2.: Za svoj dnevni boravak, prof. Lopašić je izradio pločicu s natpisom JHVH (Jahve) starim hebrejskim pismom u prvom retku i SVETI SE IME TVOJE glagoljicom u drugom

tičkih knjiga. Osobito me je iznenadio njegov likovni rad na stolu. Radi se o pločici na kojoj je davno, svojom rukom, kaligrafski upisao riječi JHVH (Jahve) starim hebrejskim pismom u prvom retku, a glagoljicom u drugom SVETI SE IME TVOJE. Njegovo prijateljstvo s glagoljskom baštinom trajalo je već jako dugo. Bio je član *Društva prijatelja glagoljice* od njegova osnutka godine 1993., i jedan od njegovih najstarijih članova.

Govorio je njemački, engleski, francuski i latinski jezik. Svoje bavljenje matematikom, fizikom, književnošću, jezicima, kao i sam život, shvaćao je kao igru. Uvijek sam ga doživljavao mladenački znatiželjinim. Ovdje bih u svezi s time rado dodao i misao pokojnog akademika Branka Fučica: *Život je igra, ali nije igrarija!*.

Prijateljstvo prof. Lopašića s Brankom Benzijom

U veoma zanimljivim razgovorima doznao sam za ime Branka Benzije, profesorova prijatelja iz mladosti, rodom iz Sv. Jurja kraj Senja. S Brankom Benzijom je tridesetih go-

dina XX. st. studirao matematiku na zagrebačkom sveučilištu. Prof. Lopašić pripovijedao mi je da je njegov pokojni prijatelj bio profesor matematike na jednoj srednjoj školi u Beču, i u Austriji pisao pjesme latinicom i glagoljicom. Doznajući od prof. Lopašića adresu supruge Branka Benzije u Beču, javio sam se pismom gospođi Herti, Austrijanki, s molbom da mi pošalje kopiju zbirke pjesama, naslova *Kraj refula*, pisane senjskom čakavicom. Odmah po primitku pisma s kopijom knjige, sugerirao sam prof. Lopašiću da se ta veoma zanimljiva zbirka, »posvećena Hrvatima u Gradišću«, svakako objavi. Bila je sreća što sam se u to vrijeme upoznao s Jurjem Lokmerom, tada ravnateljem Sveučilišne knjižnice u Rijeci, koji je bio ujedno i predsjednik Društva Senjana i prijatelj Senja, te sa slikaricom Jadrankom Ostić iz Pule, koja je Benzijinu knjigu kaligrafirala vrlo lijepim glagoljičkim slovima.

I eto, zahvaljujući poznanstvu s prof. Lopašićem knjiga je, hvala Bogu, dosta brzo objavljena. Može se nabaviti u Čirilometodskoj knjižari blizu zagrebačke katedrale. Sam prof. Lopašić napisao je pogovor za knjigu *Kraj refula* Branka Benzije, a naslov je njegova pogovora znakovit: »Od smrti ne strt [latinicom], Ljudi umiru – misli ostaju [glagoljicom]«. Priredio je vrlo lijep i dosta opsežan esej o pjesmama prijatelja Branka Benzije².

Prof. Lopašić bio je veoma zabavan, duhovit i lucidan čovjek, a zračio je mirom i dobru dušnošću. Evo jedne njegove misli o bonaci iz eseja o pjesmama Branka Benzije objavljena u časopisu Marulić (čitati vrlo polako):

Kad je bonaca sve se smiri. Nema ni sitnih valića koji žustro bježe po površini mora. Dokle god može oko segnuti more je smireno i glatko

² Dostupan je na internetu na adresi www.hr/darko/etf/lop.html. Preko iste adrese dostupan je i prikaz prof. dr. Vladimira Muševića o njegovu prijatelju i kolegi prof. Lopašiću.



Sl. 4.3.: Sl. 4.3.: Branko Beuzia, profesor matematike u Senju i Betu.

kao i mirna duša otvorena da poput zrcala odrazi doživljaje u smiraju i ravnoteži dajući svemu pravu mjeru.

Naglašavao je da je istinsko stvaranje moguće jedino u »sabranoj duhu«. Aludirao je na sumnjive i nerijetko pogubne vrijednosti koje se djeci i omladini u Hrvatskoj serviraju putem raznih medija, od televizije i radija do novina.

Matematičke zagonetke

Prof. Lopašić 1970-ih godina dosta se intenzivno bavio matematičkim zagonetkama. Objavljivao ih je u Engleskoj, u časopisu *The Listener* (Slušatelj), tjedniku koji izdaje BBC, i koji se čita u cijelome svijetu. Radi se o zagonetkama u obliku križaljke, u koje se upisuju

brojevi. Ti su brojevi kao nepoznanice opisani s popratnim diofantskim jednadžbama prvog i drugog stupnja. Zgodno je bilo uz objavljene križaljke vidjeti naslov *Crossword by Slavko*, tj. *Slavkova križaljka*, pri čemu je »Slavko« inaćica njegova imena Vatroslav. Te *Slavkove križaljke* bilo su vrlo cijenjene. Za ilustraciju, u jednom osobnom pismu koje je glavni urednik časopisa *The Listener* poslao prof. Lopašiću u vezi s jednom njegovom križaljkom, govori se da je to »vraški ingeniozna matematička zagonetka« (*this is fiendly ingenious mathematical puzzle*). Godine 1979. prof. Lopašić bio je pozvan kao jedan od najistaknutijih zagonetača, suradnika tog BBC-jeva časopisa, na godišnji bal u London u povodu 50. obljetnice časopisa. Zamislite, bio je jedini pozvani s europskog kontinenta! Na žalost, profesor nije bio u mogućnosti otići na taj bal vodećih zagonetača u London.

Mojemu dragomu prijatelju i kolegi dr. Željku Hanjšu, glavnom uredniku časopisa *Matematičko-fizički list* za srednje škole, sugerirao sam da stupi u kontakt s prof. Lopašićem sa željom da i naši učenici upoznaju njegove zagonetke. I doista, prof. Lopašić surađivao je počevši od 1992. godine u tom časopisu, koji izdaje Hrvatsko matematičko društvo. U *Matematičko-fizičkom listu* objavljeno je nekoliko njegovih zapaženih problema u rubrici nagradnih natječaja. Osobito mi je simpatičan problem pod nazivom »Tajna poruka« u kojem su učenici trebali dešifrirati jedan slijed znamenaka u čijem opisu se pojavljuju primbrojevi i diofantske jednadžbe. Rješenje je Tajne poruke ovo: UREDNIK DAJE NAGRADE ZA DOBRA RJEŠENJA. Službeno matematičko rješenje ima više od jedne stranice, a zadatak je riješilo i vrijednim knjigama nagrađeno deset učenika (iz Krka, Karlovca, Samobora, Požege, Pule, Vela Luke, dvoje iz Sinja, i dvoje iz Zagreba). Često sam s dragim profesorom raz-

govarao o matematici. Godine 1982. profesor Lopašić otišao je u mirovinu, nakon 45 godina rada u fizici. U danima i godinama svoga umirovljenja opet se vratio svojoj staroj ljubavi – matematici, koju je uostalom i studirao prije više od sedamdeset godina, počevši od 1931. Sjećam se njegova oduševljenja skupom prirodnih brojeva: 1, 2, 3... (i zatim tri točkice). Znao je reći – »One tri točkice, znate, to je nešto čudno.« Bio je fasciniran beskonačnošću skupa prirodnih brojeva, njegovom nevjerojatnom složenosti, i ponavljao misao velikog matematičara Leopolda Kroneckera: »Prirodne brojeve stvorio je dragi Bog, a sve ostalo djelo je čovjeka«. Beskonačnost je i tema zadnje rečenice koju sam od njega čuo, nekoliko mjeseci prije smrti.

Na dohvat ruke redovito mu je bila i znamenita monografija *Uvod u teoriju brojeva* Godfreyja Harolda Hardyja i Edwarda Maitlanda Wrighta, objavljena u Oxfordu, koju je detaljno studirao. Upravo s nevjerojatnom vještinom rabio je programabilni džepni kalkulator, u kojem su se danima vrtjeli njegovi programi povezani s teorijom brojeva.

Rezultat Lopašićevih eksperimenata na kalkulatoru jest i vrlo zanimljiva slutnja o razdiobi jednog beskonačnog skupa racionalnih brojeva povezanog s faktoriizacijama, koju sam prenio nekim stručnjacima za teoriju brojeva u Zagrebu.

Treba istaknuti i to da je Vatroslav Lopašić često volio povlačiti paralele između matematike i umjetnosti.

Hrvatski jezik

Profesor je sa zanimanjem pratio i suvremena politička zbivanja, osobito dramatičnih ratnih godina velikosrpske agresije na Hrvatsku od 1991. do 1995. S velikom ljubavlju odnosio se prema svojoj Domovini. Bio je dubok

znalac hrvatske povijesti i hrvatskih jezičnih pitanja. Isticao je vrlo vrijedna i uzorna lingvistička djela prof. Zlatka Vincea, zatim djela svojeg dobrog prijatelja i poznatog pjesnika Olinka Delorka.

Nakon uspostave hrvatske države s velikim je nadama očekivao najavljivani *Rječnik hrvatskoga jezika* Vladimira Anića, u izdanju Novog Libera. Tom je knjigom, kao i njezinim novijim izdanjima, bio veoma razočaran. Okarakterizirao ju je kao rječnik hrvatsko-srpskoga jezika, a ne hrvatskoga jezika. Vrlo dokumentiran kritički osvrt o tom rječniku objavio je u opsežnom članku u *Večernjem listu* 2. veljače 1992., pod naslovom (vjerojatno redakcijskim) »Uvreda jeziku i Domovini«. Evo nekoliko zaključnih rečenica, objavljenih u vrijeme velikosrpske agresije na Hrvatsku:

Smatram da je Anićev Rječnik uvrjedio moju materinji jezik hrvatski, moju Domovinu. On ju je pokušao podrugovati taktikom trojanskog konja pokušavajući u njega prokrijumčariti stolašto i to je tome jeziku strano i neprihvatljivo. Zato smatram da je sveta obaveza i zadatak hrvatskih jezikoslovaca da nam daju istinski dobar i pouzdan rječnik hrvatskoga jezika, jer tu smo napadnuti. Treba se braniti i na toj fronti.

Profesor je u to vrijeme imao 81 godinu. Rekao bih da je iz kritičkog osvrta o Anićevu rječniku vidljiva i još jedna crta prof. Lopašića: njegova građanska odgovornost i hrabrost. Smatram to poticajnim primjerom. Isti je članak zbog svoje važnosti ponovno objavljen šest godina poslije u *Mjeriteljskom vjesniku*, službenom glasilu Hrvatskog mjeriteljskog društva, 1998., sv. 3 – 4, na str. 3248 – 52.

Ne mogu ne spomenuti samozatajnu i dragu gospođu Tereziju Lopašić, koja se radovala svakom posjetu, i u čijem sam društvu imao čast i zadovoljstvo provesti ugodne trenutke zajedno s nezaboravnim profesorom Lopašićem. U njihovom stanu na istaknutom mjestu postavljen je lik Majke Božje Bistričke, a oko

njega zapis vlastitom rukom prof. Lopašića, i sve glagoljicom, starim hrvatskim pismom:

DUŠO DUŠE HRVATSKE
ISUSOVA MATI
SUNCE NAŠIH STRADANJA
NE PRESTANI SJATI

(stihovi Jeronima Kornera, svećenika i pjesnika, 1909.–1976.). Profesor je rado čitao te lijepe riječi i zato ih je htio i blizu imati. Isti

taj tekst pisan latinicom stoji ispod lika Majke Božje u svetištu u Mariji Bistrici. O obiteljskom ozračju u kojem je rastao prof. Lopašić govori pismo Dušana Lopašića iz godine 1914. bratiću Jeronimu, Slavkovu ocu, kada je Vatroslav imao tri godine:

...Zato si pametno odgođivaj sina Slavka. Odgođi ga da bude imao znanaja, ponosa i poštenja. Bez moralne podloge nema života... (pročitano iz obiteljskog pisma).

Vatroslav Lopašić

ZAGONETKE ZA MATEMATIČKO-FIZIČKI LIST

Mala igra znamenkama i slovima³

Neka skup $\{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}$ sadrži sve znamenke dekadskog brojevnog sustava koje su različite od nule. Brojevi $a, b, \dots, i$ zadovoljavaju ove jednadžbe:

$$\overline{ah} = a^2 + d^2 \quad (1)$$

$$\overline{cf} = b^2 + i^2 \quad (2)$$

$$\overline{abc} + \overline{def} + \overline{ghi} = c^2 \cdot \overline{igh} \quad (3)$$

gdje je $\overline{igh}$ primbroj. Odredite vrijednosti $a, b, \dots, i$. Kada ste to riješili dobili ste tek osnovu za čitanje "tajne poruke" koja glasi ovako:

9	3	8	5	6	1	4	5	2	7	8	6	2	4	3	2	5	8
1	2		5	7	6	3	2	3	7	8	9	8	6	7	2		

Da dobijete ključ za dešifriranje poruke treba osnovu dopuniti dodatnim slovima pri čemu u igru ulaze još slova $u, o, š, j, k, z, r, n$ od kojih svakom pripada neka od znamenaka koje ćete odrediti iz sljedećih jednadžbi:

$$h^2 + g^2 = \overline{uv} = \overline{kj} \quad (4)$$

$$d^2 + g^2 = \overline{kz} \quad (5)$$

$$b^2 = \overline{rn} \quad (6)$$

Sada je dodatno nekim znamenkama pridruženo i više različitih slova. Kod dešifriranja treba odabrati ona slova koja daju smislene riječi.

³ MFL (1992/93) br. 2/171, zad. br. 122. Rješenje objavljeno u MFL (1993/94) br. 1/173

Rješenje: Budući da je $a + b + \dots + i = 45$, to je $c^2 \cdot \overline{igh}$ djeljivo sa 9, a kako je $\overline{igh}$ primbroj, slijedi $c^2 = 9$ tj. $c = 3$.

Kako je $\overline{abc} + \overline{def} + \overline{ghi} \leq 963 + 852 + 741 = 9 \cdot 284$, za primbroj $\overline{igh}$ vrijedi $100 < \overline{igh} < 284$. Dakle, za i su moguće samo sljedeće dvije vrijednosti: ili 1 ili 2.

Iz jednačbe (2), uz $c = 3$, slijedi:

$$30 < \overline{cf} = b^2 + i^2 < 40 \quad \text{ili}$$

$$30 - i^2 < b^2 < 40 - i^2.$$

Stavimo li $i = 2$, tada je $26 < b^2 < 36$, što ne zadovoljava nijedan prirodan broj. U drugom slučaju je $29 < b^2 < 39$ što daje $b^2 = 36$. Dakle, $b = 6$, $i = 1$, $f = 7$.

U dekadskom brojevnom sustavu višeznamenasti primbrojevi završavaju jednom od znamenaka 1, 3, 7, 9. Budući da smo već našli što su 1, 3, 7 slijedi da primbroj $\overline{igh}$ završava znamenkom 9 tj. $h = 9$.

Za taj primbroj mogu sada postojati ove vrijednosti: 129, 149, 159, 189. Među ovim brojevima samo je broj 149 primbroj i zato je $g = 4$.

Preostale su nepoznanice a, d, e te brojevi 2, 5, 8. Za ove brojeve jednačba (1) daje

$$89 = 8^2 + 5^2 \quad \text{ili} \quad 29 = 2^2 + 5^2.$$

Dakle, $d = 5$. Da odredimo nepoznanice a, e izračunat ćemo zbroj u (3):

Za $a = 8$, $e = 2$ je: $863 + 527 + 491 = 9 \cdot 209$, a u drugom slučaju je $263 + 587 + 491 = 9 \cdot 149$.

Oдавде slijedi: $a = 2$, $e = 8$. Time smo našli sve znamenke $a, b, \dots, i$:

$$a = 2, b = 6, c = 3, d = 5, e = 8, f = 7, g = 4, h = 9, i = 1.$$

Iz jednačbi (4), (5) i (6) odredit ćemo preostale znamenke. Uvrštavanjem poznatih vrijednosti dobivamo:

$$9^2 + 4^2 = 97 = \overline{wo} = \overline{sj} \text{ tj. } w = s = 9, \quad o = j = 7,$$

$$5^2 + 4^2 = 41 = \overline{kx} \text{ tj. } k = 4, \quad x = 1,$$

$$6^2 = 36 = \overline{rn} \text{ tj. } r = 3, \quad n = 6.$$

Sada se ključ za čitanje poruke sastoji u određivanju smislenih riječi iz slova pridruženih pojedinim znamenkama. To daje ovu tablicu:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
i	a	c	g	d	b	f	e	h	osnova
z		r	k		n	j		u	dodatak
						v	s		dodatak

Sada možemo nadomještati u poruci znamenke prema ključu:

9	3	8	5	6	1	4	5	2	7	8	6	2	4	3	2	5	8
H	C	E	D	B	I	G	D	A	F	E	B	A	G	C	A	D	E
U	R			N	Z	K		J			N		K	R			
Š								O									

1	2		5	7	6	3	2	3	7	8	9	8	6	7	2
I	A		D	F	B	C	A	C	F	E	H	E	B	F	A
Z				J	N	R		R	J		U		N	J	
				O				O		Š			O		

Tajna poruka glasi: UREDNIK DAJE NAGRADE ZA DOBRA RJEŠENJA.



Sl. 4.4.: Prof. Lopasić u četrdesetim godinama

Primbrojevi i kvadrati⁴

U dijagram križaljke unijeti brojeve koji su određeni ovim sustavom jednažbi:

$$B = c + d \quad (1)$$

$$C = A + D \quad (2)$$

$$E = a + D \quad (3)$$

$$e = A + b \quad (4)$$

$$F = b + f \quad (5)$$

$$G = a + c \quad (6)$$

$$g = D + d \quad (7)$$

$$H = D + f \quad (8)$$

$$h = d + f \quad (9)$$

$$i = A + j \quad (10)$$

Svaka od jednažbi je oblika

$$z = x + y$$

gdje je z primbroj, a x i y kvadrati cijelih brojeva. Brojevi se unose u križaljku tako da se u svako polje križaljke upiše po jedna znamenka. Oni označeni velikim slovima unose se vodoravno s lijeva na desno, a oni označeni malim slovima okomito odozgo prema dolje. U križaljci je označen položaj od nekoliko brojeva. Ostale brojeve i slova treba smjestiti tako da se oni na označene brojeve međusobno nadovezaju. Različitim slovima pripadaju različiti brojevi. U križaljci brojevi su razgraničeni podebljanim linijama.

A		a			B				C		b
	c										d

Križaljku sastavio prof. dr. Vatroslav Lopaišić

Rješenje: Pregledom jednažbi i dijagrama križaljke odmah uočavamo da su brojevi b , c , d jednoznamenasti kvadrati, dakle 1, 4, 9 dok su svi ostali brojevi dvoznamenkasti. Kako je b ujedno i druga znamenka primbroja C , to ona ne može biti 4. Budući da prema (1) imamo $B = c + d$, a B je dvoznamenkast primbroj, to slijedi $B = c + d = 4 + 9 = 13$, pa je $b = 1$. Brojeve B i b upisujemo u njihova

⁴ MFL (1994/95) br. 4/180, zad. br. 131. Rješenje objavljeno u MFL (1995/96) br. 2/182

mjestu.

Iz jednadžbi slijedi da su A i a kvadrati, te iz dijagrama da je prva znamenka od a ujedno i druga znamenka od A . Stoga A i a mogu biti ili 16 i 64, ili 36 i 64, ili 64 i 49. Budući da je prema (4) primbroj $e = A + b = A + 1$, vidimo da A ne može biti 64, jer tada e nije primbroj, pa slijedi $a = 64$, za A ili 16 ili 36, a za e ili 17 ili 37. Kvadrat a upišimo u križaljku.

Iz jednadžbe $C = A + D$, budući da je druga znamenka od C brojka 1, a od A druga znamenka 6, zaključujemo da kvadrat D mora završavati sa 5, pa je $D = 25$. Sada slijedi $E = a + D = 89$.

Iz (7) dobijemo kad uvrstimo vrijednost za D , da je $g = 25 + d = 25 + 4 = 29$, pa je $d = 4$, $c = 9$.

Iz $i = A + j$ zaključujemo ako za A uvrštavamo ili 16 ili 36, da kvadrat j mora završavati ili sa 1 ili sa 5. Budući da je 25 već potrošeno, to preostaje samo $j = 81$, pa je $A = 16$, $i = 97$, te $e = 17$.

Sad je prema $F = b + f = 1 + 36 = 37$, pa je $f = 36$. Dalje dobivamo, uvrštavanjem nađenih vrijednosti, $G = a + c = 64 + 9 = 73$; $C = A + D = 16 + 25 = 41$; $H = D + f = 25 + 36 = 61$. Jedini je još preostali kvadrat 49, pa je prema $h = d + I = 4 + 49 = 53$, $I = 49$.

Našli smo sve vrijednosti i one se mogu na samo jedan način smjestiti u križaljku tako da se na već upisane vrijednosti, i međusobno, nadovezuju. Rješenje je jednoznačno.

A	a	D	g	h	B	e	f	E	i	C	b
1	6	2	5	1	3	8	9	4	1		
c	I		F		H		G			d	
9	4	9	3	7	6	1	7	3		4	

Gorana Banić (4), Split



Blizanci⁵

Ako u intervalu između dva višeznamenakasta primbroja ima samo jedan parni broj, onda se oni nazivaju blizanci. Takvi su npr. (11,13), ..., (41,43), U svakom se slučaju jedan od blizanaca može na jedan i samo jedan način prikazati kao zbroj dvaju kvadrata cijelih brojeva, dok se drugi – tvrdi blizanac – ne da tako rascijepiti. Prema tome, blizanci navedeni kao primjer, mogu se pisati i ovako: $(11, 2^2+3^2), \dots, (43, 4^2+5^2), \dots$; ovdje je na prvom mjestu tvrdi blizanac. Na takav su način dani i izrazi za blizance koji se unose u križaljku: dakle ovako (z, z^2+y^2) , gdje je z tvrdi blizanac, a x, y cjelobrojni korjeni kvadrata kojima je prikazan meki blizanac.

Velika slova označuju brojeve koji se unose vodoravno od lijeva na desno, a mala slova brojeve koji se unose okomito odozgo prema dolje. Prema tome se u jedan kvadratić križaljke upisuje po jedna znamenka, a brojevi su razgraničeni podebljalim linijama. Različita slova označuju različite brojeve.

$(A, z^2 + n^2),$	(1)	$(I, a^2 + e^2),$	(9)
$(B, N^2 + o^2),$	(2)	$(i, h^2 + N^2),$	(10)
$(b, J^2 + N^2),$	(3)	$(K, C^2 + E^2),$	(11)
$(D, L^2 + o^2),$	(4)	$(k, c^2 + o^2),$	(12)
$(d, C^2 + O^2),$	(5)	$(l, H^2 + O^2),$	(13)
$(F, a^2 + E^2),$	(6)	$(M, J^2 + n^2),$	(14)
$(f, G^2 + O^2),$	(7)	$(m, h^2 + L^2),$	(15)
$(g, J^2 + O^2),$	(8)	$(Q, N^2 + P^2),$	(16)

A	a			b	B	c		d		C	e	
D	f		g		E	h		F	i			
G				H				I				
			j		i	K	k	l		L		m
M			n					N		o		
O				P				Q				

⁵ MFL (1995/96) br. 4/184, zad. br. 135. Rješenje objavljeno u MFL (1996/97) br. 2/186

Lista blizanaca

$(103, 1^2 + 10^2)$	$(227, 2^2 + 15^2)$	$(431, 12^2 + 17^2)$	$(659, 6^2 + 25^2)$
$(107, 3^2 + 10^2)$	$(239, 4^2 + 15^2)$	$(463, 10^2 + 19^2)$	$(811, 5^2 + 28^2)$
$(139, 4^2 + 11^2)$	$(271, 10^2 + 13^2)$	$(523, 11^2 + 20^2)$	$(823, 14^2 + 25^2)$
$(151, 7^2 + 10^2)$	$(283, 5^2 + 16^2)$	$(571, 13^2 + 20^2)$	$(827, 10^2 + 27^2)$
$(179, 9^2 + 10^2)$	$(311, 12^2 + 13^2)$	$(599, 5^2 + 24^2)$	$(859, 4^2 + 29^2)$
$(191, 7^2 + 12^2)$	$(347, 5^2 + 18^2)$	$(619, 16^2 + 19^2)$	$(883, 16^2 + 25^2)$
$(199, 1^2 + 14^2)$	$(419, 14^2 + 15^2)$	$(643, 4^2 + 25^2)$	

U podacima (1) do (16) jednoznačenasti korijen N dolazi četiri puta. On je paran, jer u (16) dolazi uz korijen P koji je neparan jer — prema dijagramu — završava istom znamenkom kao i tvrdo k . Prema Listi jedina je mogućnost $N = 4$. Taj N dolazi i u (3). Prema dijagramu tvrdo b iz (3) započinje znamenkom kojom završava tvrdo A , dakle neparanom. U Listi nalazimo kao jedinu mogućnost $b = 139$, te ujedno $J = 11$, pa je $H = 9$. Korijen J dolazi i u (14). Za ovo je, prema Listi preostala još samo jedna mogućnost $M = 523$, $n = 20$. Iz dijagrama je $j = 13$, a korijen O završava nulom, pa je $O = 10$, jer je 20 već potrošeno. Imamo prema (11) $l = 179$. Iz (1) slijedi $A = 571$, $a = 5$, te iz (8) $g = 271$. Za tvrdo D koje završava sa 23, u Listi je preostalo još samo $D = 823$, te prema (4) $l^2 + o^2 = 14^2 + 25^2$. Iz (2) zaključujemo da je o neparno, pa slijedi $o = 25$, $L = 14$. Sad je prema (2) $B = 643$, te $c = 6$. Prema dijagramu d započinje sa 4, a prema (5) u nekom blizancu dolazi $O = 10$, pa Lista daje $d = 463$, $C = 19$. Iz (7), dijagrama i Liste imamo $f = 827$, $G = 27$, te dalje $m = 419$, $h = 15$. Prema dijagramu $E = 16$, pa je $F = 283$. Vidimo $e = 18$, pa (9) daje $I = 347$, a iz (10) $i = 239$, iz (11) $K = 619$, iz (12) $k = 659$ i konačno $Q = 859$, $P = 29$.

A	5^a	7	I	B	6^c	d	3	C	1^e	9
D	8^f	2^g	3	E	1^h	6	F	2^i	8	3
G	2	7	H	9	5	3	I	3	4	7
	7	J	1^j	K	6^k	1^l	9	L	1^m	
M	5	2^n	3	5	7	N	4	2^o	1	
O	1	0	P	2	9	9	Q	8	5	9

Rješenje:

Pri sastavljanju križaljke upotrijebljen je stavak: Svaki se primbroj oblika $p = 4k + 1$, $k \in \mathbb{N}$, može prikazati kao zbroj dvaju kvadrata cijelih brojeva i taj je prikaz jednoznačan. U slučaju blizanaca, jedan je od njih nužno tog oblika. Da li je taj uvjet ispunjen, odlučuju posljednje dvije znamenke primbroja.

Samo rješavanje križaljke može se izvesti na dva različita načina ovisno o pristupu, a svaki od njih dopušta više varijanti.

Pregledom podataka (1) do (16) i dijagrama nalazimo:

Svi su tvrdi blizanci troznamenkasti. Korijeni kvadrata a , c , H , N su jednoznamenkasti, a ostali dvoznamenkasti.

Prvi način rješavanja:

Pojedine brojeve ćemo ispitivati onako, kako se bude tijekom rješavanja pojavljivali. Na taj način želimo računske operacije svesti na čim manju mjeru tako, da je dovoljno raspolagati olovkom i listom papira.

Korijeni J , n su dvoznamenkasti. Budući da je prema (14) meko $J^2 + n^2 < 1000$, to slijedi J , $n < 30$, pa je prema tim korijenima prva znamenka ili 1 ili 2. Prema (1) to vrijedi i za korijen j . Korijen J započinje posljednjom znamenkom tvrdoga g , pa je J ili 11 ili 12. Prema dijagramu korijen P je neparan jer završava posljednjom znamenkom tvrdoga k , pa je prema (16) jednoznamenkasti N parno i stoga prema (3) slijedi da je J neparno; dakle $J = 11$. To unesemo u križaljku, a tako postupamo i dalje, čim nađemo neku vrijednost.

Sada vidimo da je 1 prva znamenka korijena j . Njegova druga je i posljednja tvrdoga M , pa je prema tome $j \in \{13, 17, 19\}$ jer je 11 već potrošeno. Pretposljednja znamenka od M prva je korijena n , dakle ili 1 ili 2. Stoga za posljednje dvije znamenke $\overline{rs}$ tvrdoga M imamo $\overline{rs} \in \{19, 23, 27\}$, a za posljednje dvije znamenke $\overline{uv}$ njegova mekog blizanca $\overline{uv} \in \{17, 21, 29\}$. Prva znamenka w u M također je i prva u blizancu, obzirom na vrijednosti koje mogu $\overline{rs}$ odnosno $\overline{uv}$ poprimiti. Prema (14) možemo sada pisati $J^2 + n^2 = 100w + \overline{uv}$, $10 \leq n \leq 30$. Slijedi $n^2 = 100w + \overline{uv} - 121$. Samo vrijednost $\overline{uv} = 21$ vodi na cjelobrojna rješenja: $n_1 = 10$, $w_1 = 2$; $n_2 = 20$, $w_2 = 5$. Prvo rješenje otpada, jer je $221 = 13 \cdot 17$, a trebao bi biti primbroj. Drugo zadovoljava, pa je $M = 523$, $n = 20$, te $j = 13$ i prema (8) i dijagramu $O = 10$. Sad je prema (1) meko $j^2 + n^2 = 569$, pa je $A = 571$, $a = 5$. Dalje prema (8) je meko $i^2 + O^2 = 269$, pa je $g = 271$. Sad je 1 prva znamenka tvrdoga b , pa je prema (3) meko $i^2 + N^2 = 121 + N^2 < 200$. Ovaj uvjet daje samo za $N = 4$ meki primbroj 137 koji ima blizanca $b = 139$, dok ga meko 157 nema. Vidimo da je $H = 9$, pa iz (13) imamo $H^2 + O^2 = 181$ i tvrdi $I = 179$.

Kad sve nađemo unesemo, lako dolazimo do ostalih vrijednosti, a postupak pokazuje da je rješenje križaljke jednoznačno.

Drugi način rješavanja:

Budući da su svi primbrojevi koji se ovdje traže — tvrdi i meki blizanci — troznamenkasti, načinimo najprije Listu svih blizanaca iz intervala $(100, 1000)$ u obliku $(z, x^2 + y^2)$. Ta lista, uz ostalo, nužno sadrži sve brojeve koji se traže za popunjavanje križaljke.

Lista blizanaca

$(103, 1^2 + 10^2)$	$(227, 2^2 + 15^2)$	$(431, 12^2 + 17^2)$	$(659, 6^2 + 25^2)$
$(107, 3^2 + 10^2)$	$(239, 4^2 + 15^2)$	$(463, 10^2 + 19^2)$	$(811, 5^2 + 28^2)$
$(139, 4^2 + 11^2)$	$(271, 10^2 + 13^2)$	$(523, 11^2 + 20^2)$	$(823, 14^2 + 25^2)$
$(151, 7^2 + 10^2)$	$(283, 5^2 + 16^2)$	$(571, 13^2 + 20^2)$	$(827, 10^2 + 27^2)$
$(179, 9^2 + 10^2)$	$(311, 12^2 + 13^2)$	$(599, 5^2 + 24^2)$	$(859, 4^2 + 29^2)$
$(191, 7^2 + 12^2)$	$(347, 5^2 + 18^2)$	$(619, 16^2 + 19^2)$	$(883, 16^2 + 25^2)$
$(199, 1^2 + 14^2)$	$(419, 14^2 + 15^2)$	$(643, 4^2 + 25^2)$	

U podacima (1) do (16) jednoznačenasti korijen N dolazi četiri puta. On je paran, jer u (16) dolazi uz korijen P koji je neparan jer — prema dijagramu — završava istom znamenkom kao i tvrdo k . Prema Listi jedina je mogućnost $N = 4$. Taj N dolazi i u (3). Prema dijagramu tvrdo b iz (3) započinje znamenkom kojom završava tvrdo A , dakle neparnom. U Listi nalazimo kao jedinu mogućnost $b = 139$, te ujedno $I = 11$, pa je $H = 9$. Korijen J dolazi i u (14). Za ovo je, prema Listi preostala još samo jedna mogućnost $M = 523$, $n = 20$. Iz dijagrama je $i = 13$, a korijen O završava nulom, pa je $O = 10$, jer je 20 već potrošeno. Imamo prema (11) $l = 179$. Iz (1) slijedi $A = 571$, $a = 5$, te iz (8) $g = 271$. Za tvrdo D koje završava sa 23, u Listi je preostalo još samo $D = 823$, te prema (4) $l^2 + o^2 = 14^2 + 25^2$. Iz (2) zaključujemo da je o neparno, pa slijedi $o = 25$, $L = 14$. Sad je prema (2) $B = 643$, te $c = 6$. Prema dijagramu d započinje sa 4, a prema (5) u mickom blizancu dolazi $O = 10$, pa Lista daje $d = 463$, $C = 19$. Iz (7), dijagrama i Liste imamo $f = 827$, $G = 27$, te dalje $m = 419$, $h = 15$. Prema dijagramu $E = 16$, pa je $F = 283$. Vidimo $e = 18$, pa (9) daje $I = 347$, a iz (10) $i = 239$, iz (11) $K = 619$, iz (12) $k = 659$ i konačno $Q = 859$, $P = 29$.

A	a	I	b	B	c	d	C	e
5	7	1	6	4	3	1	9	
D	f	g	E	h	F	i		
8	2	3	1	6	2	8	3	
G		H				J		
2	7	9	5	3	3	4	7	
	J	I	K	k	l	L	m	
7	1	1	6	1	9	1	4	
M		n			N	o		
5	2	3	5	7	4	2	1	
O		P			Q			
1	0	2	9	9	8	5	9	

Četvorci susjeda⁶

Ako između dva para primbrojeva blizanaca ima samo jedan neparan broj, onda oni čine četvorku, a spomenuti neparni broj njihovo je težište. Takvi su četvorci na primjer (11, 13; 17, 19), (101, 103; 107, 109), ..., (821, 823; 827, 829), (1481, 1483; 1487, 1489), Razmak između susjednih težišta u tom slijedu četvoraka poprima različite vrijednosti; tako nalazimo u navedenom primjeru 90, ..., 660, Ima, međutim, najmanja vrijednost koju taj razmak može poprimiti. Ako je taj minimalni d razmak između težišta četvoraka $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ i $Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\}$, onda su oni susjedi i to susjedstvo $S = P \cup Q$ ima težište s koje je u jednom takvom slučaju dano izrazom

$$s = 2d(20d^2 - 41d + 2).$$

Nadite primbrojeve toga susjedstva.

Rješenje:

Ako između dva para primbrojeva blizanaca ima samo jedan neparan broj, onda oni čine četvorku, a spomenuti neparni broj njihovo je težište. Takvi su četvorci na primjer (11, 13; 17, 19), (101, 103; 107, 109), ..., (821, 823; 827, 829), (1481, 1483; 1487, 1489), Razmak između susjednih težišta u tom slijedu četvoraka poprima različite vrijednosti; tako nalazimo u navedenom primjeru 90, ..., 660, Ima, međutim, najmanja vrijednost koju taj razmak može poprimiti. Ako je taj minimalni d razmak između težišta četvoraka $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ i $Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\}$, onda su oni susjedi i to susjedstvo $S = P \cup Q$ ima težište s koje je u jednom takvom slučaju dano izrazom

$$s = 2d(20d^2 - 41d + 2).$$

Nadite primbrojeve toga susjedstva.

(U vezi s blizancima vidi Nagradni natječaj br. 135.)

Rješenje. Manji broj p_1 u blizanačkom paru (p_1, p_2) oblika je $3k + 2$, pa se stoga neparni brojevi između kojih se ti blizanci nalaze, djeljivi s tri. Zato se između dvojih blizanaca mora nalaziti barem jedan neparan broj, kako je to slučaj kad ta dva para čine četvorku. U manjim blizancima četvoraka primbroj p_1 ne može završavati ni sa 7 ni sa 9, jer takvi blizanci ne mogu imati veće susjedne blizance da bi s njima činili četvorku; prema tome taj je p_1 oblika

$$p_1 = 10k + 1, \quad k \in \mathbb{N}.$$

Prema tome, svi su brojevi jednih četvoraka članovi iste dekadke.

Potražimo vrijednost koje može k poprimiti. Budući da je p_1 manji blizanac, to vrijedi

$$p_1 = 10k + 1 \equiv 2 \pmod{3}, \quad k = 3n + 1, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Međutim, to je samo nuždan uvjet, jer za bilo koje n broj $p_1 = 10k + 1 = 10(3n + 1) + 1 = 30n + 11$ ne mora biti prost, kao na primjer za $n = 5$ dobijemo $p_1 = 161 = 7 \cdot 23$.

⁶ MFL (1996/97) br. 4/188, zad. br. 139. Rješenje objavljeno u MFL (1997/98) br. 2/190

Sada možemo napisati koliki je najmanji mogući razmak d između dvojih četvoraka. Taj se minimalni razmak dobije, ako ti četvorci pripadaju dvjema vrijednostima za n koje slijede jedna iza druge. Ti četvorci čine tada susjedstvo $S = P \cup Q$. Tu je $p_1 \in P$, $q_1 \in Q$, $p_1 = 30n + 11$, $q_1 = 30(n + 1) + 11$, pa je $d = q_1 - p_1 = 30$.

Ako nađenu vrijednost za d uvrstimo u predloženi izraz za težište s traženog susjedstva, dobijemo

$$s = 1\,006\,320.$$

Ako su p , q težišta traženih četvoraka susjeda P , Q , onda je $s = (p + q) : 2$, $q - p = 30$, pa je $p = s - 15$, $q = s + 15$, a to daje ove brojeve za koje treba pokazati da su prosti.

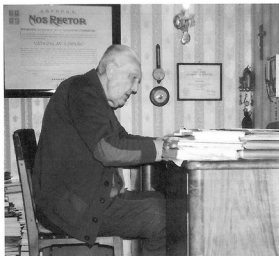
$$p_1 = p - 4 = s - 19 = 1\,006\,301 \quad q_1 = q - 4 = s + 11 = 1\,006\,331$$

$$p_2 = p - 2 = s - 17 = 1\,006\,303 \quad q_2 = q - 2 = s + 13 = 1\,006\,333$$

$$p_3 = p + 2 = s - 13 = 1\,006\,307 \quad q_3 = q + 2 = s + 17 = 1\,006\,337$$

$$p_4 = p + 4 = s - 11 = 1\,006\,309 \quad q_4 = q + 4 = s + 19 = 1\,006\,339.$$

Nađeni su brojevi doista prosti, što se može ustanoviti bilo računalom, bilo uvidom u tablice primbrojeva. Time je ovaj zadatak riješen.



Sl. 4.4.: Prof. Lopatić za radnim stolom i bibliotekom u
svojemu stanu u Vinkovcima 8. u 7. mjesecu

Vatroslav Lopašić

MATEMATIČKI ZADATAK U GLASNIKU MATEMATIČKO-FIZIČKOM I ASTRONOMSKOM¹

ZADACI

U ovom broju počinjemo objavljivati i rješenja zadataka. Riješavajte zadatke i šalјite nam rješenja, ako zadatak ne riješite ispravno, stvar ostaje kao da se ništa nije ni desilo. Ne šalјite samo rješenja zadatka nego i opis čitava postupka pri njegovom rješavanju.

23. Nadopišite li se na kojem broju s tri znamenke taj isti broj, dobit će se broj djeljiv s 91 (Dokaz!).

23. Riješili: V. Lopašić, O. Savić i svi oni koji su navedeni kod zad. 24).

Označimo li na kakav trocifren broj sa x , onda se svaki broj x , dobijen tako što se uz broj x dopiše još jednom taj isti broj x , može, očigledno, pretstaviti u obliku $x = 1000x + x = x \cdot 1001 = x \cdot 91 \cdot 11$. Odatle je očigledno da broj x mora biti djeljiv sa 91 (pored toga još i sa 11).

Vatroslav Lopašić

KRIŽALJKE U ČASOPISU *THE LISTENER*

U knjižici *Who's Who among Listener Crossword Setters* za 1979. godinu objavljen je sljedeći članak o Vatroslavu Lopašiću:

SLAVKO - Vatroslav Lopašić

Vinkovićeve 1, 41000 Zagreb, Yugoslavia.

3 puzzles, first No.2257 on 30th August, 1973.

Born 9-12-11, educated at Gymnasium (Continental meaning) and University of Zagreb, where took D.Sc. in Experimental Physics. Now Professor of Physics at the Faculty of Electrical Engineering, University of Zagreb.

Hobbies: all kinds of do-it-yourself jobs in the house and garden; foreign languages (English in particular). SLAVKO is the Croatian diminutive of my Christian name.

Profesor Lopašić surađivao je s časopisom *The Listener* u periodu 1973.-1979.

¹ Glasnik matematičko-fizički i astronomski, serija I., T.1 (sv. 1), Zagreb 1946. zad. br. 23 na str. 138. i njegovo rješenje, serija I., T.2 (sv. 2), Zagreb 1947., na str. 192.

Vatroslav Lopašić

UVREDA JEZIKU I DOMOVINI*

Napomena UV MV: Doktor prirodoslovnih znanosti Vatroslav Lopašić, umirovljeni profesor fizike na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, najstariji je član Hrvatskoga mjeriteljskog društva. Naše se društvo osobito diči onim svojim članovima koji i u poznoj dobi javno brane znanstvenu istinu, javno ispravljaju udžbeničke pogreške i osuđuju nemoral. U nastavku donosimo »Bilješke uz *Rječnik hrvatskoga jezika* Vladimira Anića« koje je Lopašić objavio u zagrebačkom dnevniku *Večernji list* od 2. veljače 1992, str. 18, u jeku Domovinskoga rata. Taj njegov tekst, s izvornim naslovom *Uvreda jeziku i domovini*, prenosimo od slova do slova nakon punih sedam godina zato, jer barnumska reklama ni 1998. godine ne prestaje omalovažavati taj tekst dragoga nam učitelja. Evo Lopašićeva teksta iz 1992. godine:

Kad sam prije više od 50 godina nabavio rječnik engleskoga jezika *The Concise Oxford Dictionary* (učio sam tada engleski), nisam ni slutio kako sam vrijednu knjigu kupio za ondašnja 153 dinara. Tu je neka engleska riječ protumačena drugim engleskim riječima, dani su primjeri upotrebe, te etimološki podaci. Što sam više upotrebljavao taj rječnik, to sam ga više cijenio i usput priželjkivao da nešto takvo postoji i za živi hrvatski jezik. Zato sam već u prvom roku položio pretplatu za *Rječnik hrvatskoga jezika* u izdanju »Novog Libera«, Zagreb – i čim sam dobio obavijest da je izašao – odmah sam ga i podignuo. U ovom što slijedi, opisani su neki moji susreti s tim Anićevim *Rječnikom*.

Pročitao sam najprije Predgovor izdavača. Lijepo je tu spomenut *Rječnik hrvatskoga jezika* F. Ivekovića i I. Broza, pa zatim neki stariji rječnici. Vrijedno je zapaziti da je izdavač istaknuo razvoj hrvatskoga jezika i doprinos tome razvoju što su ga dali hrvatski pisci, od kojih je poimence spomenuo A. G. Matoša, T. Ujevića i M. Krležu. Mene je to obradovalo, jer sam nabavio i Pavletićevu *Zlatnu knjigu hrvatskog pjesništva*, pa čitajući naše pjesnike, često bih naišao na riječi kojima nisam znao značenje. Očekivao sam pomoć od novog *Rječnika*. Kazat ću o tome nekoliko riječi.

3248

Mjeriteljski vjesnik 16(1998)3–4

* *Večernji list*, 2. veljače 1992. Proširena inačica tog članka objavljena je u *Mjeriteljskom vjesniku*, god. 16, br. 3/4, prosinac 1998., str. 3248–55 [pretisak].

Vešeraj i glanc pegleraj. U Matoševoj pjesmi »Mora« nisam znao što znače ove riječi: *grabant, ispolinski, čuvida, tenac, sindžir, tomruk, zlovarni, hotkar, kajafa, razgubati, sejmen, buljuk*. Tu me je Anićev *Rječnik* razočarao: nijedne od tih riječi u njemu nema, unatoč optimističkoj izjavi izdavača u Predgovoru. Posegnuo sam za svojim Broz-Ivekovićem, i gle čuda: nadoh značenje za ove riječi: čuvida, tenac, sindžir, tomruk, zlovarni, razgubati, sejmen, buljuk. U ovom je, dakle, primjeru Anićev *Rječnik* nazadak prema Broz-Ivekovićevu.

Drugi primjer neka bude Krležina pjesma »Plameni vjetar«. Dvije su riječi ovdje tražile tumačenje: *eon, pear*. U Anića ih nema. U Broz-Ivekoviću ih nisam ni tražio, jer im je grčko podrijetlo očito. Spasio me moj dobri stari prijatelj *Oxford Dictionary* i to za obje riječi.

Za monumentalnu i majestoznu kajkavštinu u »Baladama Petrice Kerempuha« Anićev je *Rječnik* bezvrijedan. Nema ni ovakvih riječi: *hahar, faklonos, krelut* itd., dokle te volja. Zašto onda izdavač u Predgovoru i spominje Krležu?

Spomenut ću još jednu poznatu pjesmu: »Vu plavem trnacu...«. Za Anića nema *trnaca*, ali nema ni *hiže* da bi se ondje postavila, a ni *škepe* da bi se pokrila. Međutim pun je nakaznih barbarizama (navest ću samo neke koji počinju sa š) kao: *šamla, šolja, špargla, štikla* itd., a bez oznake da je ijedna od tih riječi barbarizam. Oznaka *barb.* postoji, doduše u popisu »Kratice i odrednice«, str. XI, ali nisam našao nijedne riječi u *Rječniku* koja bi bila tako označena.

Ovdje sam se prisjetio jednog svojeg mladenačkog izleta u Beograd – bilo je to u ono davno vrijeme još prije atentata na Radiće u Skupštini – kad sam na jednoj obrtničkoj radnji vidio na izlogu velikim ćirilskim slovima natpis »Vešeraj i glanc pegleraj« (tada su se još nosile tvrde ogrlice i manšete). Moj profesor hrvatskoga jezika dr. Jozo Dujmušić grmio je protiv takvih jezičnih čudovišta. Ono čemu se čudim jest činjenica da nam se takvo smeće još i sada ubacuje u naš jezik.

U »Balkanskoj krčmi«. Ima još jedna vrsta tako ubačenih riječi. Evo ih nekoliko izvađenih iz Anićeva *Rječnika*: *bezhjedan, blaženopoičivši, dokusuriti, humka, isljednički, jektemija, jerej, jezgro, kapidžik, klatno, kolikoća, krštenica, krunisati, mečka, milošta, mrdnuti, muvetina, nadmen, neprijatan, neprikosnoven, netrpeljiv, obučavati, odalečiti, odstojanje, oduška, oklagija, opit, orbita, oskrnaviti, ovaplotiti, ozlojediti, pjevaljka, planeta, pojati, pomjeriti, ponaosob, poručiti (naručiti), (odati) poštu, predostrožan, predstavnik,*

pretega, pretres, prezrivo, prijem, prijemčiv, prijatno, prijesno, pri-ljepšiv, prinadležnost, pristrastan, promaja, saobraćajac, provod, raz-vod, razdaljina, revnjiv, riješenost, sahrana, sinod, sirće, skrnaviti, snishodljivo, sočivo, stovarište, svariti, svetište, šetalica (ura), ta-las, teg, toplota, trezven, tjelašce, ubijediti, uobraziti, upražnjavati, uslov, vajar, vaseljena, vasiona, zadužbina, zamjerka, zapušač, za-vještati, zbir, zrak (svjetlost), zrak (OR vazduh), zvanično, žiža.

Gore su navedene neke od riječi koje mi nisu zvučale kao hrvat-ske. Jedne od njih doista su označene kao (rus.), ali ima i takvih koje to nisu nikako, pa bi ih se prema tome (one neoznačene) trebalo smatrati hrvatskim. Međutim, neke su očigledno srpske ili su srbiz-mi, ali nisu tako deklarirane. U popisu »Kratice i oznake jezika«, str. IX, nema kratice *rus.* za ruski jezik, ali se ta kratica u *Rječniku* nađe uz neke riječi, npr. uz riječ *uslov*. Ono što zapanjuje jest činjenica da kratice za srpski jezik nema u spomenutom popisu »Kratice i oznake jezika«, a isto tako da se nigdje u *Rječniku* takva kratica (za srpski jezik) ne pojavljuje.

Ne može se, međutim, samo tako jedan jezik izbrisati s lica zemlje, ili naprosto ignorirati, a istodobno iz tog jezika (ovdje srpskog) uzimati riječi šakom i kapom, pa zatim ih – onako usput – uvrstiti u drugi jezik (ovdje hrvatski). Nije lijepo da se bez naznake i napome-ne tudi jezik plijeni, da ne kažem pljačka. A uostalom većinu tih ri-ječi mi i ne trebamo, jer imamo svoje tih značenja. Čemu, dakle, da uz one barbarizme što nam ih je donosio istočni vjetar primamo i do-bre srpske ili posrbljene riječi za čija značenja imamo svoje? Kad bi-smo to prihvatili, naš se govor ne bi razlikovao od vokabulara posje-tilaca zagušljive »Balkanske krčme«.

Stradanje broja x. Anićeve su tumačenja riječi često – da se bla-go izrazim – čudnovata. Dozvolite mi za vježbu jedan primjer. U *Rječniku* stoji: *adorirati* »obožavati, pretjerano štovati«; dalje, druga riječ koju ćemo u ovoj vježbi upotrijebiti neka bude: *hostija* »kružni listić od beskvasna pšeničnog tijesta, služi za pričest u Katoličkoj crkvi«. Sad slijedi vježba. Kad se prigodno pozivaju vjernici da adori-raju Presveti Sakrament izložen u pokaznici na oltaru, onda oni pre-ma Aniću: »pretjerano štuju kružni listić od beskvasna tijesta, koji služi za pričest u Katoličkoj crkvi«.

Za usporedbu pogledajmo kako bi to izašlo da smo upotrijebili do-bri stari *Oxford Dictionary*. Tamo čitamo: *adore* »Regard with ut-most respect and affection«. Druga riječ: *host³* »Bread consecrated in the Eucharist«. To daje u našoj vježbi ovo: »Razmatraju s najvećim

poštovanjem i ljubavlju Kruh posvećen u Euharistiji». Tu ćemo još pogledati što *Dictionary* kaže za *Eucharist*. Evo: «Lord's Supper; consecrated elements, esp. bread» (Gospodnja Večera; posvećeni elementi, napose kruh). Ovaj primjer neću komentirati, prepuštam to čitatelju.

Nemarnih i neprihvatljivih definicija ima u *Rječniku* obilje. Iz matematike pogledajte: *derivacija*, *diferencijal*, *infinitesimal*, *integral*, *kvadrat*... Ako ste matematičar, nećete se složiti s onim što u *Rječniku* piše, ako pak niste, ili nećete ništa pametna naučiti, ili ćete se naći pred zagonetnim tvrdnjama. Međutim, biser tog matematičkog blaga u *Rječniku* je ovaj članak: π^3 »m 1. šesnaesto slovo grčkog alfabeta 2. mat. transcendentni broj (sa simbolom π) koji izražava odnos između kružnice i njezina polumjera, približna mu je vrijednost 3,14 (3,1416159)«.

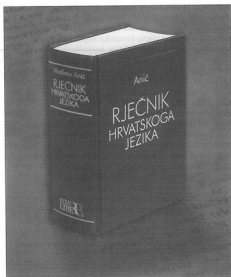
To što se u *Rječniku* tvrdi za broj π nije istina, jer π je odnos (omjer) duljine kružnice i njezina promjera, a ne polumjera, kako misli Anić. Njegova je približna vrijednost 3,14 ili točnije 3,14159265... Prema tome ona vrijednost koju *Rječnik* navodi u zagradi je kriva. Zašto je Anić tako do neprepoznatljivosti izmasakrirao broj π , koji je nedužan kao dijete iz kolijevke, a toliko slavan da su mudraci matematike njemu poklonili svoja duboka razmišljanja da bi dokazali njegovu transcendentnost. To je uspjelo tek prije nešto više od sto godina. Već su graditelji faraonskih piramida nastojali naći njegovu brojčanu vrijednost. Danas se može pomoću modernih računala dati taj broj na tisuće decimala! Kako je žalosno da je taj najslavniji broj matematike tako bijedno unakažen. Treba se stidjeti.

Teško razočaranje. U *Rječniku* ima i manjih poslastica. Tako piše: *kilovat* »jedinica električnog napona, 1000 vata (skraćenica kW)»; *voltaza* »napon struje u voltima»; *koloturnik* »sustav kolotura za prijenos energije»; *pritisak* »tlak«. Jamčim Aniću da se s ovim posljednjim ne bi Sijerković složio.

Neću dalje zamarati čitatelja. Ako je počinio istu pogrešku kao i ja, pa nabavio Anićev *Rječnik*, sam će moći dalje prekapati po njegovim stranicama i pri tome se čas ljutiti, pa smijati, a najviše žalostiti. Kako se to moglo dogoditi? Za mene je taj *Rječnik* teško razočaranje. Čekao sam dugo, 50 godina, da bi se moja želja za priručnim rječnikom hrvatskoga jezika ispunila, jer u meni odjekuje ono što reče Wilhelm von Humboldt: »Die wahre Heimat ist eigentlich die Sprache« (Jezik je uistinu prava Domovina). Tu je slavu i duboku

izreku stavio Petar Preradović kao moto svojoj pjesmi »Rodu o jeziku«. Jezik je očuvao naše iseljenike, bio im je doista Domovina.

Smatram da je Anićev Rječnik uvrijedio moj materinji jezik hrvatski, moju Domovinu. On ju je pokušao podrovati taktikom trojanskog konja pokušavajući u njega prokrijumčariti štošta što je tome jeziku strano i neprihvatljivo. Zato smatram da je sveta obaveza i zadatak hrvatskih jezikoslovaca da nam dadu istinski dobar i pouzdan rječnik hrvatskoga jezika, jer tu smo napadnuti. Treba se braniti i na toj fronti.



Vatroslav Lopasić

KAKAV RJEČNIK ZA ŽIVI HRVATSKI JEZIK⁹

Prema najavi prof. dr. Dalibora Brozovića u govoru održanom početkom veljače o. g. u Leksikografskom zavodu "M. Krleža", namjeravaju taj Zavod i "Školska knjiga" izdati "novi jednojezični (hrvatsko-hrvatski), jednosveščani rječnik", čiju bi izradu – kako se navodi u članku objavljenom u *Večernjem listu* od 9. II. 1992. – vodili profesori Brozović i Lađan u suradnji s ekipom iz zagrebačke "Školske knjige" predvođenom dr. Raguzem. To je značajan projekt, koji treba pozdraviti, napose nakon odjeka što ih je svojim sadržajem i obiljem netočnosti izazvao novoizašli "Rječnik hrvatskoga jezika" V. Anića, zbog čega je i nepoželjan i nepouzdan. Nadajmo se da nas najavljeni rječnik "Školske knjige" neće razočarati.

Kao budući kupac novog rječnika želim kazati nekoliko riječi o tome kako ga zamišljam i što od njega očekujem. Najprije o njegovu sadržaju. Lijepo bi bilo da ga se ne ograniči na hrvatsku štokavštinu. Neka to bude rječnik koji uzima u obzir cijelu hrvatsku književnost, a to će reći i djela što ih naši pisci objavljuju na područnim narječjima, kao što je čakavsko ili kajkavsko. Ako je uvrštena riječ čakavska, odnosno kajkavska, neka bude kao takva u rječniku i označena. Ta su narječja hrvatska pa ih se kao dio hrvatskoga jezika ne bi smjelo mimoći i tako potiskivati. Njihovim priključivanjem hrvatskoj štokavštini taj bi rječnik uistinu postao rječnik živoga hrvatskog jezika.

Uključivanjem čakavskih riječi novi bi rječnik i onima koji nisu čakavci otvorio put do punijeg razumijevanja čakavštine pisaca i pjesnika kao što su M. Balota, D. Gervais, P. Ljubić, V. Nikolić i drugi, a ujedno bi se suprotstavio uzmaku i odumiranju tog milozvučnog narječja pod utjecajem škole i sredstava javnog priopćavanja. Kako nostalgично zvuči jedna strofa u pjesmi "Didi odmaraju trudne kosti" V. Nikolića:

*"Čakavski i čakavski – 'rvatski su govorili oni,
A sinovi sad govore štokavski, šta nije isto.
Unuci sad uče štokavski, a njiman to u duši ne zvoni,
Pa s jezikom sve im je tude, pa i njihovo rodno mjesto."*

⁹ Zahvaljujemo gđi Terezi Lopasić, supruzi pok. profesora Vatroslava Lopasića, na dopunjenju da ovaj njegov do sada neobjavljeni članak, napisan 1992. godine, bude tiskan u «Maruliću». Informacije o prof. Lopasiću i njegovu životu i radu dostupne su preko interneta na adresi: www.hudarko.istf/lopasic.html, a u četvrtom prošlogodišnjem broju naše revije objavljen je nekrolog Branka Hanžeka tom zaslužnom hrvatskom fizičaru. (Ur.)

Standardna štokavština nikome tako "u duši ne zvoni", ona je više hladna, službena. Riječi narječja, lokalno obojene, često imaju jak osjećajni naboj koji podsjeća i veže uz rodni kraj, djetinjstvo i rođake... pa je to razlog što se pjesnici rado vraćaju govoru koji im je prvi "u duši zazvonio".

Slično bismo mogli obrazlagati potrebu da i kajkavske riječi uđu u rječnik hrvatskoga jezika. I tu se može navesti niz pisaca koji su se poslužili kajkavštinom da stvore djela koja su ures i ponos hrvatske književnosti. Spomenimo samo neke novije pisce (mimoišavši one iz prošlih vremena), kao što su D. Domjanić, M. Krleža, N. Pavić. Krleža je u svojim "*Baladama Petrice Kerempuha*" neizbrisivo uprisutnio kajkavštinu u suvremenoj hrvatskoj književnosti, pri čemu se poslužio jezikom koji je djetinjstvu ušao "u njegovu dušu", a za kojim je i žalio, kako se vidi iz stihova u "*Planetariumu*":

*"Ileri pak pilki, faklonosi,
naškrabani dijaki, larfonosi,
pokapali su paradno starinsku reč Kaj.
Kak zvon je Kaj grmelo,
kak kres je Kaj plamtelo,
kak jogenj, kak harfa vekomaj,
a oberpilko v gali,
s pogrebnim faklom v roki,
med ilerskimi fanti,
mertvečkemi snuboki,
špancerai se
Doktor Ludwig von Gay.
Cinkuš je lajal v megli, golgotski,
pokapati smo znali furtinavek gospocki. "*

Nije naš dragi Kaj ostao u ilirskom grobu, on diše i danas, grijući naša srca. Zato kajkavske riječi spadaju u rječnik onakve namjene kakav je prof. Brozović najavio; koliko, i koje riječi, na priređivačima je rječnika da ocijene, ali neka on omogući korisniku da s razumijevanjem čita suvremene pisce koji se posluže kajkavskim.

Novi rječnik neće moći mimoći ni turcizme koji su k nama došli preko Bosne. Pisci kao što je npr. I. Aralica, svojim slikovitim i jedrim govorom stvaraju pomoću tih turcizama živopisno ozračje radnje svojih djela, no ti su izrazi čitatelju često nepoznati i nerazumljivi. Zato ih treba uvrstiti u najavljeni rječnik. Međutim i ovdje je na priređivačima da odluče što treba biti u rječniku, a što ne. Slično je i s nazivljem iz raznih znanosti. Treba da u rječnik uđu oni znanstveni nazivi za koje se smatra da spadaju u

opću naobrazbu. Kako i tu pogoditi pravu mjeru? Nadalje, stvar je ukusa i osjećaja koliko treba uključiti vulgarnih, šatrovačkih, «frajerskih» i sličnih riječi. No, barbarizme treba kao takve označiti, i navesti preporučljivu zamjenu, da im se upotreba bar time potisne.

A sada nešto o tome kako mislim da bi riječi trebale biti protumačene. Ne bih se u to upuštao da mi pri ruci nije primjer kako se u tome – po mojemu mišljenju – griješi. Radi se o definicijama pojmova (značenja riječi). One očitito trebaju sadržavati ono što je dovoljno za opis i razumijevanje navedene riječi. Ako se definicija ograniči na ono što je u tom smislu nužno, onda je opsegom optimalna. U tom optimaliziranju ne treba pretjerivati; bolje da bude malčice preopsežna, nego da u njoj štogod nužnoga manjka. Nadalje, sve odredbene riječi u definiciji moraju se nalaziti u rječniku. Što time mislim, pokazat ću na primjeru iz jednog rječnika. Tamo čitamo: *"daktil - trosložna pjesnička stopa... osnovni element grčkog i latinskog heksametra"*. Tražim riječ *"heksametar"*, no nje u tom rječniku nema, pa se prema tome kod riječi *"daktil"* zašlo u slijepu ulicu. Međutim, ako se prisjetimo stope koja se zove *"spondej"*, ni nju nećemo naći u rječniku što ga imam pri ruci. Uz kompjutersku obradu takvi bi propusti sigurno otpali. Novim tehnikama i metodama rječnici se sastavljaju daleko brže i kvalitetnije nego prije dvadesetak godina. Vrijedilo bi u ekipu za izradu rječnika uzeti i informatičara.

Poznato je da čovjek može priželjkivati svašta. Jesu li sve želje opravdane i hoće li se ispuniti, stvar je budućnosti. Tako ja priželjkujem da bi pojedini članci u rječniku pri svojem kraju sadržavali bar osnovni etimološki podatak, da se vidi iz čega je ta riječ nastala; ako je to npr. staroslavenska riječ, ili grčka, neka bude navedena u prikladnoj transliteraciji. Podrijetlo neke riječi nije beznačajno za njezino aktualno značenje i oblik. Šturi podatak da je, npr., neka riječ orijentalnog podrijetla, male je vrijednosti. To bi vjerojatno i korisnik rječnika sâm iz oblika i zvuka riječi zaključio. Poopćene oznake ne vrijede mnogo, pogotovo ako se uz istu riječ nagomilaju.

Ako bi se reklo: «sve je to lijepo i dobro, ali time će opseg rječnika nabujati», ne bih se složio. Izbacite balast nevrijednih barbarizama, nepotrebnih stranih riječi štedljivije, organizirajte pojedine članke uključujući u njih riječi kojima je velik dio zajednički s naslovom, upotrijebite biblijski papir, pa ako baš treba – povećajte broj stranica. Nije cijena rječnika osnovna uvjetnica njegova opsega. Mi Hrvati željni smo i žedni hrvatske riječi nakon suše i represije koje su tu vladale decenijama. Neka dođe pravi,

istinski, pouzdani, jednosveščani, priručni rječnika živoga hrvatskog jezika koji će uz Bibliju – ili Kuran – biti druga knjiga u ruci svakog naobraženog Hrvata koji poštuje i voli svoju domovinu. Neka to bude rječnik jednako drag i štokavcu i čakavcu i kajkavcu: rječnik hrvatskog jezika čitave nam Hrvatske.

* * *

Otvorimo Bibliju – na prvoj stranici:

U početku stvori Bog nebo i zemlju. Zemlja bijaše pusta i prazna; tama se prostirala nad bezdanima, i Duh Božji lebdio nad vodama. I reče Bog: "Neka bude svjetlost!" I bi svjetlost.

I reče Bog: "Načinimo čovjeka na svoju sliku, sebi slična, da bude gospodar ribama morskim, pticama nebeskim i stoci – svoj zemlji – i svim gmizavcima što puze po zemlji!"

Tada Jahve, Bog, načini od zemlje sve životinje u polju i sve ptice u zraku, i dovede ih pred čovjeka da vidi kako će koju nazvati, pa kako koje stvorenje prozove, da mu tako bude ime.

Bog stvara i govori, govori i stvara. Načinio je i čovjeka na svoju sliku, sebi slična, pa mu je zato dao dar govora, da bude gospodar svoj zemlji i svemu na njoj. Da govoreći stvara i daje imena svemu stvorenju. Dar govora crta je Božje slike u čovjeku, u nama. On nas uzdiže nad sve živo. Primajmo sa zahvalnošću i poštovanjem taj dar riječi što ih stvaramo i izgovaramo, jer štujuci dar štujemo i Darovatelja.

Vatroslav Lopašić (1992.)

Vatroslav Lopašić

BILJEŠKE UZ PJESME BRANKA BENZIJE¹⁰

Brankove pjesme nisu mnogorječive. Zato pri prvom čitanju često izostane komunikacija između čitatelja i pjesnika tako, da sve djeluje nekako daleko i nerazumljivo, pa se – možda – na kraju pitamo, što nam to pjesnik želi reći. Ta, pjesme su zato da se misli i osjećaji drugo-

me priopće. Odakle ta kratkoća u Brankovim pjesmama? Pokušat ću na ovo odgovoriti.

Branka sam upoznao za vrijeme našeg studija matematike na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Bilo je to od 1931. do 1934. godine. Tada smo se i sprijateljili. Branko je bio oštroman i duhovit. U razgovoru s njime znao je kratkom primjedbom, izrečenom uz naoko nezainteresiran i ravnodušan izraz lica, poentirati temeljnu misao razgovora i iznena-

¹⁰ Preuzeto s internetske adrese <http://www.croatianhistory.net/eti/lop.html> autora Darka Žubeinčića. Zbirka pjesama *Kraj refula* nalazi se na priloženom CD-u.



Sl. 4.5.: Senjska luka

dititi sugovornika. Studij matematike, gdje se pri izvodima i dokazima nastoji odbaciti sve ono što nije nužno, dobro se je slagao s netom spomenutom Brankovom naravnom sklonošću da bude kratak i jezgrovit. Stoga, mislim, da se iz Brankovih kratkih pjesama visoke formalne pravilnosti i tihe muzikalnosti, osjeća dah matematike i Brankova dara za glazbu.

Branko je poslije svršetka rata 1945. ostao u Beču, tamo se zaposlio i udomio, a tek poslije opet došao da vidi rodni Senj i preuzme naslijeđe u Svetom Jurju. Živeći u Beču, kao Hrvat i rodoljub, prijateljevao je i suosjećao s gradišćanskim Hrvatima, pa stoga, svoju zbirku pjesama *Kraj refula* posvećuje »Hrvatima u Gradišću«. Toliko mu je bila mila hrvatska riječ u »germanskom oceanu».

Zamislilo sam se nad pjesmom *Legenti* (čitatelju), koja uvodi u spomenutu zbirku. Pjesnik kaže da mu je riječ tiha i u stihu... da bi se takva riječ čula, treba tišina, dakako, duše čitatelja. No, poeta smatra da takvu riječ treba opet i opet reći kad-kad je srce pjesnikovo bolno i nesretno, pa tako sa suosjećajnim čitateljem umanjuje svoju nesreću.

Nakon ovog uvoda vara se čitatelj koji očekuje da će slijediti pjesme plitke turobnosti i tanke osjećajnosti. Čekaju ga stihovi tvrdi

i muževni, ozbiljni i snažni, izgovoreni tiho, ali puni snage i životne odlučnosti. Pjesnik ne više patetički nego pomno bira riječi koje, mirno izgovorene, snažno djeluju. Nema jeftine sentimentalnosti. Poznata je senjska bura. Ruši se s Velebita i u Senju posebno je snažna i žestoka. O tome ne treba tratiti riječi. *Bura* je naslov prvog ciklusa – i s pravom. Tu su pjesme čvrste koje dišu dahom senjske duše. Podimo sada i pogledajmo redom te pjesme.

Pod katarkom. Ljetni je dan, sunčan i vruć. Divno je bilo nag uživati sjedeći ili ležeći uz more na toploj kamenoj litici i slušati žubor i romon valova koji udaraju o pećinastu obalu. Ta je glazba sve glasnija jer se je vjetar pojačao, pa su i valovi postali jogunastiji. Na otvorenom neki su se počeli i pjenom kruniti. Dosta je, više manje, mirnog sunčanja. Čas je da se razapne jedro i poigra jedreći s onim bijelim valovima u kanalu. Već je učvrćen jarbol (katarka), a podignuto jedro nabreklo od vjetra. Baš je svjež! Brodič poskakuje i juri. To pojačava ljubav i nagmuče jedriličara prema jedrenju, ali nagli, pojačani udarac vjetra (reful) opasno je nagnuo barku. Ona juri i reže valove. Za njom se more pjeni. Vjetar je sve snažniji. Uzeta i čvrsto (jedro) jedro svojim zvukovima koje vjetar u njima stvara, opominju na oprez. No, tu je jedriličareva strast koju slast jedrenja nema čime povećati. Da li ipak ima čim?

Dim. Dok je završni »čim« bio sedmi padež upitne zamjenice, ovdje je početni »čim« vremenski veznik. To je jedan od primjera za Brankovu vještinu korištenja riječi različitih značenja, a jednakog zvuka. Čim se, dakle, počnu zloslutno javljati znakovi koji upozoravaju da će se nešto žestoko na moru dogoditi, treba brod osigurati, dobro privezati, a ti se kloni ruba obale da te udarac bure ne baci u more. Bježi i skloni se u sigurnost svojeg doma i odanle gledaj kako žestina vjetra raste i šiba more podižući valove koji, prema otvo-

renom, bivaju sve viši, pjeneći se i uzmičući pod pritiskom bure. Pjena se u silovitom vjetru raspršuje u kapljice koje vjetar dalje nosi, pa se čini kao da se more dimi. Taj je dim od morskih kapi gorkog okusa (žuk), pa što je bura jača i dim je žuči.

Didov dom je što ga je otac naslijedio od svojega oca. No nema doma bez ognjišta, a na živom je ognjištu i vatra koja dimom pokazuje svoju životnost. Stara je to kuća od tesana kamena i časna. Svaki njezin kutak pun je uspomena i topline. Tu je pjesnikova svijest budna izgrađujući na tim temeljima svoju osobnost i značaj. Taj je dom utočište u teškim prilikama, a zajednica doma sve nevolje snaša. Svima im je ugodan i lijep. Kućni prag je jači od svih nasrtaja i traje (tegli) ma kakav neprijatelj (vrag) navalio!

Mariu san. Tko ne zna onu narodnu pjesmu o »lipoj Mari« i njezinoj kruni. Prisjetimo se barem djelomice.

*Popuhnul je tihl vetar,
tihl vetar od Levanta
i odnesal Mari krunu.
Sprogovara lipa Mare:
»Ajme meni, kruno moja!
Ki bi meni krunu našal,
njegova bin juba bila.«
Šli iskat ju dva Bakrana,
dva Ričana, tri Ričana
i još jedan črni Moro.
Vse vodice prečrpali,
vse kamenje prehitali,
vse travice prežinjali
Mari krunu nisu našli.
Našal ju je jedan mali,
jedan mali črni Moro.
Al govori lipa Mare:
»Volila bin krunu zgubit,
ner črnoga Moro zubit.«*

Da, da, to je stvarnost; olako dano obećanje! Mare se je nadala, krunu će joj naći kršan, naočit momak, kakvi hode Bakrom i na Rijeci, ali jao, »našal ju je jedan mali, jedan mali črni Moro«! Tamna put odaje da je Moro (naziv i za Crnca) stranac, a uz to ni približno onakav kao što su visoki i čvrsti domaći momci. Mare, međutim, ni u snu nema mira. Privida joj se crna odbojna prikaza. Možda je to sam Vrag. Ili neki čarobnjak (mag). Oda-kle se je samo smogao! Na moru se nazire u mrkloj noći sjena. Pa to je sagena (ratna galija)! Jasno se čuje škripa grube vojničke čizme (kondure). Dolazi onaj koji ju nosi. Već su mu obrisi (konture) jasne. Grabi Mare oko pasa i u taj zao čas, kad se činilo da je nasilnik nadvladao, krajni očaj razdire zavjesu sna i goni lipu Mare u mrku i zloslutnu zbilju. No, je li izmahnula nevolji?

Tromeda XVI. stoljeća. Tada je narod kojem pjesnik pripada, bio gnan od tri neprijatelja. U jednom napisu prof. dr. Ivana Goluba zapazio sam ovu rečenicu (koju navodim po zapamćenju): »Hrvatska je tada bila rastrgana od Turaka, ponižena od Nijemaca i prevarena od Mlečana«. Ostali su »tužni ostaci nekoć slav-nog kraljevstva«. Senj i njegova zavelebitska pozadina bili su poprište i svjedoci tih tragičnih događaja, utočište i pribježište mnogih nevoljnika i prognanika. Narod »gnan od triju« koji su se na njega okomili, preslab a da bi se mogao uspješno oduprijeti nadmoćnim neprijateljima, no ipak, bio je dovoljno jak da se održi na svojem ostatku rodne grude i u okrutnim uvjetima, upirući se na svoju unutarnju snagu i vjeru. Bio je nejak, a ipak jak. No, rane i posljedice su ostale. Ode naš val.

Bonata. To je tišina, bezvjetarje. More posve mirno. Nema valova. Površina je mora kao zrcalo. Vidi se na površini lagano ispupčenje, znak da je na dnu vrulja, izvor slatke vode koja se u gušćoj morskoj diže prema površini, pa ju malo izdigne. Ljeto je i sunčano. More

mirno i prozirno, pa i ono ispod površine kao da lebdi u zraku. Taj mir, međutim, ne treba shvatiti kao slabost. Iz te tišine može buknuti neukrotiva sila koja sada drijeva.

I doista, dođe *Nevera*, žestoka i iznenadna oluja. Sada na malo prije tihom žalu sve bruj i uz tutanj i grmljavinu. Munje paraju nebo, debele kapi kiše pljušte. Sve se je razularilo. Brodica (kač) može se lako razbiti ako nije dobro osigurana. Međutim, kako je nevera neočekivano došla, tako i prođe, i kao da bi rukom pljesnuo, sve se smiri i svane divan dan.

Susret budi spomen na događaje iz uskočke prošlosti Senja. Uskoci, neprijatelji Mlečana, okružili su svojim šajkama, lakim i brzim brodicama, tešku i tromu galiju. Veslače u galiji, lancima prikovane za njihova sjedišta, naime galiote, Mlečani su kupovali kao robove na sajmovima duž dalmatinske obale. Bili su to mahom zarobljenici iz bitaka na jugu Bosne, pa prema tome momci istoga korjenja kao i Uskoci, njihova braća. Uskoci su prevladali. Zauzeli galiju, oslobodili jadne galiote iz utrobe galije, pa se svi raduju i grle. Na obali, veselje se je nastavilo uz krijes i ples.

Kolo. To je ples vila sred moćnog Velebitskog Bila. Ures toga kola jest »Vila Velebita«. Nema nikoga, ni u gori ni u dolini, milijeg i dražeg od te vitke vile, pa ma kakva kola igrala.

Na modroj buri. Vedro je. Nebo modro, ali bura se nemilosrdno ruši s Velebita, tutnji, navaljuje, brvina. Sunce, doduše, sja, ali je hladno, vrlo hladno, a morski dim grize i izjeda i kamen. U tom bijesnom urnebesu ima veličanstvene ljepote.

Bor. On je simbol postojanosti i čvrstine značaja ljudi senjskoga kraja. Uprokos svim nedaćama i teškoćama života (bijes ga bure bije) i kruta kamenita tla u koje korijen teško prodira (živac kamen), on stoji čvrsto ukorijenjen. Prijete neprijatelji, tare oskudica, ali on

ne pomišlja nikamo otići i napustiti rodno tlo (ne mniš na ča), bez straha stoji prkosno doviknuvši »A«.

Južnjač. Zovu ga jugo, a i oštro. Kako je to nekakvo drugačije vrijeme! Tmurno je i sunce zastrto tmastim oblacima. Neka je mlitavost u zraku. Ne da ti se prihvatiti nikakva posla, odmah se znojiš. Huči vjetar u dubokom tonu. Ako to oštro (jugo) iznenada (oštro) stane, nastane bonaca ili se prevrne u buru, pa evo novog raspoloženja!

Gromača. Pjesnikov je zavičaj uz more. Na zaravancima i padinama marne su ruke iznašale kamen po kamen na rub zemljišta. Tako su nastale one karakteristične ograde od naslaganog kamenja, gromače. To se slagalo godinama. Vjekovi su, međutim, prolazili u teškim borbama i pustošenjima, no iz svega diše sjećanje na hrabra djela u borbama i na marni rad na škrtjoj zemlji, ali i spoznanje i uvjerenje da je to »moj kraj« moji zavičaj pun rajskog sjaja i slasti.

Raj refula. Gdje je taj raj? Čiji je to raj? U njemu i nevjera ima sjaja, a u nevjeri skrivena je i vjera. Misli li tu pjesnik na senjskog biskupa Gospodnetića (De Dominisa), genijalnog čovjeka koji je kolebao između vjere i nevjere da završi kao heretik? Ili mu se misao navraća na biskupa Kožičića, koji je izdavao u svojoj tiskari glagoljaške knjige? Te su bile za neke nevjera. Da su tu i prevrtljive nevere doma, u svom raju, jedva treba spomenuti. Ali to su udarci i promjene koje je taj naš kamen i naš vrt u svemu drag, a po prirodi škrt, ostajući uvijek svoj, u tijeku stoljeća pretrpio. Marulovi stihovi zvone u pjesnikovoj duši. Kad baci pogled u prošlost, pjesnik u njima nalazi suzvučje sa svojim raspoloženjima. Možda je tu i Marulićeva »*Molitva suprotiva Tarkom*«. Evo nekoliko dvanaesteraca iz te pjesme:

Svemogi Bože moj, kim svaka postaju,

odvrati jnr gnjiv tvoj, ter pomiluj naju.

*Ostavi zlu volju, pozri na vjerni puk,
gdj trpi nevolju svak čas od turskih ruk.
Luge, sela, grade popliniv s'žegoše,
muže, žene, mlade svezav povedoše.
Ubiše junake, koji se rvahu,
a ine nejake u sinžir vedihu.
Sinko porobiše od krila materam
i jošće činiše njih vašćine kćeram.
Daleč rastavljahu od draga miloga,
tih tamo prodaju, a simo inoga.*

Nemaju li ti Marulovi stihovi nekako suvremeni prizvuk? Ne živimo li i mi u turskim vremenima?

Bura. To je niz jednosložnih prvih (a po tom i posljednjih) stihova prethodnih pjesma ciklusa *BURA*. To je staccato finale ove simfonije. Zadnji je akord utihnuo, a mi smo ostali obogaćeni pjesnikovim mislima i maštovitim slikama.

Ciklus *More* ima više intiman i subjektivan značaj. Pjesme su vrlo kratke, neposredne i dojmive. Naročito se ističu prva pjesma *Kraj kraj mora* i posljednja *Kraj mora kraj*. Pjesnik vješto koristi tri značenja riječi »kraj«. U prvoj je to područje uz more, a u posljednjoj završetak pri moru. Kad pjesnik dođe do mora i tamo stane i dade si vremena da kraj mora »stoji« (boravi), u njega ulazi snaga i samosvijest, pa je to za njega »bit bog«. To je bog s malim slovom da se istakne taj unutarnji doživljaj porasta moći božjeg stvara koji si posvećuje da je slika Boga i Njemu sličan, i tako se diže prema svojem uzoru. U posljednjoj pjesmi kad pjesnik spava »kraj mora svog« – vjerojatno je to vječni san – kad mu je završio život, on nije nebog, on je bogat i obogaćen blizinom mora. Pa ako shvatimo da se u posljednjem stihu posljednje pjesme dvije negacije – kao i u matematici – dokidaju »ne nebog«, onda je i sada pjesnik onakav kakav je

bio i za života.

Što ima ljepše no na terasi podno kršnog Velebita uživati odmor daleko od životnih briga, *Procul negotiis*, i gledati kako valovi talasaju površinu mora. To more obasjano suncem i milovano lahorom *iskri*, pa je kao živo srebro, a valovi kao srebrna rebra.

Galeb je ptica mora, dorasla da se bori i s vjetrom i valovima. Njegovu letu u daljinu morske pučine ništa ne smeta.

Za Oseka u zoru nebo gori od jutarnjeg rumenila, more se povlači, a litice izranjaju i pokazuju svoje morem nagrižene temelje; priroda se budi, sve u život kreće.

Kako je lijepa *Misao*, a možda i uspomena, na besciljno i bezbrižno vrludanje u prirodi među gromačama, pa uživati u šarolikom cvijeću i griskati mirisni komorač.

Doista, u *Reminiscor* (Prisjećam se) pjesnik kaže kako ima dugotrajnih patnji kojima nije dorastao da ih svlada, nego je nastojao da ih ublaži sanjama i nadom da će minuti. No, te su sanje često završavale u razočaranju, pa je stoga pjesnik Bogu zahvalan da je konačno od Njega »*san na san*« isprosio i tako smirio ispačeno srce.

Misao se pjesnikova vraća u rodni Senj i na njegovu buru koja će svojim snažnim zamasi, rušeći se s Velebita, do sita se zadovoljiti otpuhujući i čisteći slomljeno i trulo.

Divna je ta bura, to zlato, prebire po *Eolovoj harfi* i svira svoju glazbu, čas oklijevajući, a onda moćno, silno, svom snagom da konačno zabruji zvijedeći i cvileći, tutnjeći i urlajući oko uglova i dimnjaka, žumeći u borovima granama, ostavljajući za sobom čist zrak i pročištan i pometen kraj. Kako se tu duša razblaži i ohrabri za novi pokušaj!

Oluja na moru, fortunal, snažno udara vjetrom, pljuskom, gromovima. Užeta broda sad su napeta, a sad olabave, vjetar ih baca amo tamo. I mi ljudi, često smo igra fortune. Sve se smuti i pomiješa, pa onda treba iznova *da capo* od početka.

I u bijesnom urnebesu ima nešto neuništivo, nešto što se ne da ugroziti. To je *Galeb*ov doziv s nebesa, čiji se klik taj čuje i onda kad se čini da se sve ruši, Doista, doziv – znak života – dolazi s nebesa!

U morskome bezdanu kao i u bezdanu života, potonula su mnoga *Beskrižja*, tamo su ona nepovratno nagomilana i zauvijek pohranjena, jer to more iz tame svojega bezdana ništa ne može vratiti na svijetlo dana. Ne nosimo li i mi svaki svoj bezdan u koji nepovratno tonu neke naše misli i osjećaji, uspomene i doživljaji?

Nebaj, utvrda kockastog lika, bdi je nad Senjom. O njegovim bridovima i uglovima bura svoju glazbu svira. Kao miris tamjana časti ga vonj bora i onaj što ga vihor nosi iz borbe bure s morem. Časno je to zdanje. Podigle su ga junačke i poštene ruke Senjana da im u slučaju opasnosti i nevolje bude zadnje sigurno utočište. To je citadela od tesana kamena, tvrda i teško osvojiva. I čovjek treba izgraditi svoju unutarnju citadelu kao zadnje pribežište, ako ga snadu teške nevolje i iskušenja u životu. S njom stoji – i pada časno!

U progonstvu nema ničeg ljepšega, ničeg milijega, doli prebiranja po uspomenama na svoj rodni kraj. Kad je sumrak i zimi, a plamen se u *Kamini*... poigrava, slike su rodnog kraja ljepše i življe. To je spomen na raj, na izgubljeni raj, u koji bi se željeli vratiti. Nema nikoga bez te čežnje i želje da se vrati u raj, koji je u djetinjstvu malo nazreo, a iz kojeg ga je život istjerao.

Kad je *Bonaca*, sve se smiri. Nema ni sitnih valića koji žustro bježe po površini mora. Dokle god može oko segnuti, more je smireno i glatko kao i mirna duša otvorena da poput zrcala odradi doživljaje u smiraju i ravnoteži dajući svemu pravu mjeru.

U *Samrađ*, u sate kad se tama hvata (ure škure) školji (otoci) kao da plove u novi svijet, u nove nade i maštanja. Sa školjima, zemljom, i naša

je sudbina povezana. Kamo to plovimo i što nas sve čeka? Što budućnost nosi nakon svega što proživljavamo?

Nova bura može mnogo toga pročititi, nebo razvedriti, pa se ushitno i poletno niz goleti spušta. Puna je mladenačkog zanosa, jedva dočekavši, da krene svojim krajem tjerajući pred sobom ustajalo i dotrajalo, istrošeno i nevaljalo.

Čuvaj se senjske bure. Šenoa je napisao *Čuvaj se senjske ruke*. Bila je to poruka onima koji nam ne žele dobro. Senjska bura posebno



Sl. 4.6.: *Nebaj*

je jaka, puna snažnih udaraca, refala, koji mogu lako oboriti nesigurna i kolebljiva čovjeka. Diže valove koji su puni opasnosti, mogu satri slabo građeni brod. Čvrstina se traži, čvrstina duše broda. Ta bura pročišćava, ona je simbol moći ovog kraja i njegovih ljudi.

Bura koja je sve vidjela, »stooka«, u pjesniku budi čežnju da i njegov pogled (žeda mojih vjeda) prođe u dubine zbivanja i duše, pa da se pred njim prostru prošli dani i dogođaji njegova života. Možda je to bilo onda kad se je vratio u svoj obnovljeni dom, pošto je u Vrbniku na otoku Krku sproveo svog bečkog prijatelja Ivana Vitezovića, popa glagoljaša i lektora na Odjelu za slavistiku bečkog sveučili-

lišta. Pa što je naravnije od želje da se u takvoj prigodi čovjek ne osvrne na svoj život?

Malo je postojanih stvari, malo je tvrdih klisuri Zec što viti iz mora pred strmom i stjenovitom obalom Krka. Zec je primjer da i maleni mogu odoljevati velikima, a i snažnim udarcima valova života. Čist je to goli kamen, izjedjen morem, bez travke i bez slobodnog kamenčića, sam, jedan a neboriv, ponosan i prkosan, premda samo maleni Zec. Nije snaga u materijalnoj veličini, ona ima dublje korijene koji su ispod površine i koje površni i površinski pogled ne hvata. Kako inače ra-



Sl. 4.7.: *Senjka bura*

zumjeti da su toliki, često neznatni ljudi, sačuvali svoju poštenu dušu, premda su ih trle velike nevolje?

Pjesnik se «po stoti put» u svojim mislima vraća na *Mora*. Kad sklopi oko, da li samo trenutno ili na kraju, konačno, opijen je ljepotom tog «mora svog». To je more temeljna sastavnica života njegove duše. Ono mu daje slast života i želju da se od njega ne dijeli. Ta u jeseni je svojeg življenja, pa što je naravnije nego da misli postanu šire, da se oslobađaju nebitnog i neznatnog, da se kreću prema iskonsu. Blizu smo kraju, pa je na mjestu da se pogled upre u beskraja.

Tu je sada *Ispovijest*. Dok je pjesnik u svojim

mislima prolazio kroz život i uspomene, pokušavao je doznati u pamet slike i događaje prošlosti da ih vrednuje i ocijeni. To čovjek može samo nepotpuno i nesavršeno uza sve nastojanje i dobru volju, a sve je to prisutno u cjelini i bez ostaka sveznajućem Bogu. Zato je utješna spoznaja da se je Bogu sve reklo, koliko su god slabe ljudske sile mogle. Pjesnik je svjestan da nakon dugih ramišljanja već ne može dublje i dalje. Što pjesniku njegovo neznanje i zaborav nisu dali da se Bogu potpuno otvori, nadopunit će milosrdni Bog svojim sveznanjem.

Tako se je pjesnik u hodu kroz svoj život i svojim krajem približio svojoj posljednjoj pjesmi *Kraj mora kraj*, u kojoj izriče i svoju želju gdje da mu bude kraj i da počiva uz svoje more.

Ove su Bilješke nastale kad sam Brankove pjesme ponovno čitao u siječnju 1993. One su odraz mojih tadanjih raspoloženja i razumijevanja tih pjesama. Bilo mi je lijepo, kao da vidim svoga dragog prijatelja u razgovoru sa mnom. Slušao sam njegov smireni ton plemenitih misli i osjećaja. Mislim da mi je mnoga od tih misli duboko sjela u dušu. Možda je to nagrada za onaj trud i vrijeme što sam ga tom čitanju posvetio. Želim čitateljima da na svoj način čitaju Brankove pjesme i da pri tom nadu obilje zadovoljstva i užitka uz želju da svojom maštom dopune pjesnikove slike i misli.

Na kraju želim kazati još nekoliko riječi o naslovu što ga je Branko stavio na početak ispred ova dva ciklusa *Bura* i *Mora*. Taj naslov glasi «Kraj refula». Imajući na umu pjesnikovu sklonost da se poigrava riječima s više značenja, a i takvima koje kao dio sadrže neku drugu riječ (npr. s goropadne – gore padne, ... ili ovo: ...visimo... i simo... Fortissimo...) promatramo riječ *kraj*.

Značenje te riječi može biti «područje» i «svršetak». Dalje u njoj je skrivena riječ *naj*.

Kako da ju shvatimo? Koje od tih značenja da odaberemo? Za značenje »područje« kao da govore pjesme *Gromata*, *Raj refula*, a tu je i prizvuk uključene riječi 'raj'. U neveri udarci su refula prisutni. Oni mogu značiti i udarce sudbine koji, međutim, ne mogu umanjiti ljubav prema tom našem kraju, tom raju, koji je »naš kam, naš vrt, drag nam...«. Ako pjesnik smatra svoje pjesme refulima, jer u njima riječi kao da padaju i udaraju, iznenadno i neočekivano, onda i značenje i »završetak« za riječ *kraj* dolazi u obzir. Sjetimo se samo prve i posljednje pjesme u ciklusu *More*. Možda se tu pjesnik, svjesno ili nesvjesno, opršta – ili možda – samo pomišlja na svoj odlazak. Ima tu i jedna koincidencija, tiče se riječi *reful*. Rekla mi je gospođa Vera Brainović, znanica Brankova, da je to bio njegov nadimak koji je dobio zbog svojeg načina razgovora.

Bilo kako bilo, smatrajmo naslov »*Kraj refula*« sraslacom svih tih značenja, pa se on prikazuje sad ovako, sad onako, kao kristal obasjan suncem kad ga okrećući ogledamo, pa bljesne sad ovom, sad onom bojom. Odaberimo si u nekom času ono značenje pjesnikovih riječi koje nam najbolje pristaje uz trenutne misli i raspoloženje.

Možda ćemo tako doći najbliže pjesnikovoj poruci i nakani. Ako uz odabrano temeljno značenje neke riječi pomišljamo i na njezina druga značenja, onda prizvuk tih značenja oslobađa riječ i čini ju lepršavo slobodnom izazivajući u našoj mašti nove i neočekivane asocijacije. Tada čitanje pjesama nije samo pasivno primanje, nego postaje kreativno sudjelovanje s pjesnikom. Kako je lijepo tako komunicirati s poštenim i plemenitim čovjekom kao što je bio Branko Benzia.



Zvonimirov trg (Ciblen)

Pozdrav iz Senja.

Vatroslav Lopašić

OD SMRTI NE STRT¹¹DREVNI GRAD SLAVNE PROŠLOSTI - DANAS ŽIVI DIO MAJKE HRVATSKE¹²

Senj! - Zvuk te riječi brz i kratak: sikne, pa zamre, a kolik sadržaj! Drevni grad slavne prošlosti, a i danas živi dio Majke Hrvatske. Uskoci, glagoljica, bura i more! Da, BURA i MORE, dva su ciklusa pjesama koje nam je Branko Benzia ostavio u svojoj zbirci KRAJ REFULA, a koju je malo pred svojom tragičnom smrću središio i ispisao glagoljicom. Kao vjerni sin svojega rodnog grada Senja, osjećajan na tradiciju, nježnom se ljubavlju služio tim starodревним hrvatskim pismom kad je želio nešto izreći što je izviralo iz najdublje dubine njegove duše.

Branko je bio matematičar. Diplomirali smo u lipnju 1934. godine na Sveučilištu u Zagrebu na grupi studija "Teorijska matematika". Tada je to bilo u okviru Filozofskog fakulteta. Branko je bio odličan student i sve je ispite polagao u prvim rokovima i s najvišim ocjenama. Posebno nadaren za glazbu, virtuosno je svirao glasovir, a uz to i harmoniku i gitaru. Imao je neobičnu sposobnost pamćenja otisnutih glazbenih skladbi. Kad bi izašao neki novi "slager", otišao bi u knjižaru St. Kugli, Illica 30 u Zagrebu (danas Mladost), zamolio da mu pokažu note, pročitao ih i vratio se kući da to svira! Bili smo i aktivni članovi "Kluba studenata matematike i fizike", a i "Marijine kongregacije". Branko je do kraja života bio katolički vjernik. Tako smo tijekom studija od kolega postali prijatelji. Fizički vid toga prijateljstva okrutno je prekinula Brankova tragična smrt.

Brankove pjesme u oba ciklusa BURA i MORE pokazuju visok stupanj formalne pravilnosti. Pogledajmo najprije ciklus BURA. Pjesme u tom ciklusu imaju četiri strofe: prve dvije po četiri stiha, a preostale dvije po tri stiha. Ukupno u jednoj pjesmi po četrnaest stihova. U svakoj od tih pjesama prvi je stih jednosložna riječ, a to vrijedi i za posljednji stih. Taj posljednji ujedno je prvi stih susljedne pjesme. Budući da je zadnji stih četrnaeste pjesme ujedno i prvi stih prve pjesme, to je tih četrnaest pjesama ciklički ulančeno. Petnaesta pjesma "Bura" niz je od četrnaest prvih stihova prethodnih pjesama.

U svakoj od pjesama u ciklusu BURA ima po sedam pari stihova u sliku. Za prve dvije strofe u dvanaest je slučajeva rima tipa 1, 2, 2, 1 3, 4, 4, 3 (tako je i za zaključnu petnaestu koja je izvan cikličkog

¹¹ Branko Benzia: *Kraj refula, Senja, Društvo Senjana i prijatelja Senja* u Rijeci, Rijeka 1995.-96. (s pogovorom Vatroslava Lopašića pod naslovom *Od smrti ne strt*), tekst glagoljicom Jadranka Ostrić. Nakladnik je objavio i lijep popratni album sa stihovima Branka Benzie kaligrafski pisanim glagoljičnim pismom, (gretisak).

¹² *Ljudi umiru - misli ostaju* (tekst na glagoljici).

lanca). Za jednu pjesmu taj je slik po shemi 1, 2, 1, 2 3, 3, 4, 4; a za jednu 1, 2, 2, 1 3, 3, 4, 4. U preostale dvije strofe rima pokazuje više raznolikosti. Tako nalazimo tipove 5, 6, 6 7, 7, 5; pa 5, 6, 5 7, 6, 7; zatim 5, 5, 6 7, 6, 7; te 5, 5, 6 6, 7, 7 i još četiri sheme.

Ciklus MORE sadrži dvadeset i tri pjesme u jednoj strofi od pet stihova. U tih pet stihova ima dvije rime koje vežu dva, odnosno tri stiha. Ima sedam shema za te rime. Najčešća je 1, 1, 1, 2, 2 (sedam pjesama), zatim 1, 1, 2, 2, 1 (četiri), pa 1, 2, 2, 1, 1 (tri), dalje 1, 1, 2, 2, 2 (tri), i još 1, 2, 2, 2, 1 (tri) te 1, 2, 2, 1, 2 (dvije), pa konačno jedna sa slikom 1, 2, 1, 2, 2.

Pjesme izviru iz srca, najčešće ranjenog. Život je Branka na dulje vrijeme odijelio od rodnog kraja, ali njemu je u pameti / Taj / uz to more // uz te gore / zavičaj /. I on je jedan od onih koji "Uz kamin u svijetu" / U sjaju / vatre / snatne / o svom kraju / O raju /. Živi dugo godine u tuđini, u Beču, grije se na blizini odlomljene grane hrvatskoga naroda, pa svoje pjesme posvećuje "Hrvatim u Gradišću".

Obraća se čitatelju pjesmom "Legenti" prije no što će taj krenuti kroz BURU na MORE. Pjesnik nam govori prigušenim glasom, tek u naznakama čuvstava i događaja, dajući čitateljevoj mašti i umu da misao izgradi. Ovako nam govori / Već / riječ / tihu / reč / u stihu / ni opet / ni poet / kad - / kad / veće / nesreće / neće /.

Brankovi su stihovi kratki, često samo jedna riječ, tek naznake, kao akordi, tiho udareni, na kojima se razvija tema. Ta je određena naslovom pjesme. Takva pjesma traži djelatno sudjelovanje čitatelja. Njegova će mašta pružati slike, raspoloženja, sjećanja i ozračje iz čega će sastaviti misao kojom se nastoji približiti pjesniku. Da bi to postigao, treba krenuti sa smirenom dušom koja će se odazvati na tihe i male poticaje, kao što se glatka površina mirne vode ustalasa i sitnim kamenčićem. Takva se suradnja čitatelja ne oblikuje riječima nego doživljajima unutarnjeg iskustva. Stoga ista pjesma, čitana u raznim prilikama, može izazvati u čitatelja različite učinke. Ponavljanjem, vjerojatno, dolazimo bliže osjećajima i mislima pjesnika.

Prva pjesma u ciklusu BURA ima naslov "Pod katarkom". Ta mi se pjesma čini bliskom. Dok smo još bili studenti, Branko mi je pripovijedao kako je za vrijeme praznika rado jedrio. Imao je svoju barku. Jednom ga je tako na moru zatekla "nevera". Bila je toliko žestoka, da se nije mogao vratiti u Senj. U oluji, jedva se nekako spasio na otoku Krku. Iz pjesme se osjeća žestina vjetra, jurnjava brodice, opominjući

zvukovi jedra, borba s nepogodom i... / *strast / slast* // i *sreća / čime*
veća / *čim* //.

Teme su pjesama, kako je već rečeno, u naslovima, stihovi kratki, interpunkcije nema; neki počinju velikim slovom, sluti se čakaviština. Izmjenjuju se slike žestine, bonace, oluje. Tako u pjesmi "Dim" čitamo stihove... / *Bježi / veži / brod i odi* // s mora /... *Utočište je* "Didov dom" gdje / *Prag / se tlači / al tegli* // jači / *negli / vrag* // "Marin san" je mučna crna mora; zapravo - mali, črni Moro - iz narodne pjesme o Marinoj kruni, pa je to // *San / u mrku zbilju / gnan* // "Tromeđa XVI. stoljeća" odzvanja patnjama prošlosti // *Gnan / od triju / što biju / a stran* // ti svak / ti nejak a jak /... Ali dođe i "Bonaca" gdje // *Val / usnu / U snu / tiho je more kako kal* //... No to ne traje. Eto "Nevera" pa // *Žal, / u oluji / bruj* //... I događaji se zbivaju. Takav je "Susret" kad je svnuo *Dan bitke / bitke / Stan* // *ozdola / galiota / Golgota / gola* /... Jedni su sinovi patnice Bosne uskočili u slobodu Senja, a drugi su, pohvatani, zarobljeni, prodavani u roblje da budu galijoti u mletačkim galijama. // *Uz galije / od šajki vrije / Uskoci hrle* // *galioti grle / Krijes / ples* // Oslobođili su braću, pa slijedi "Kolo". No nisu sva kola dobra... // *uz sva / kola / zla* // Tako je i "Na modroj buri" koja // *Zla / niz vrhunce / brvina al sunce / sja* //... al unatoč svemu tu je // *Urnebes / Ljepote / bijes* // Svima nepogodama odolijeva i prkosi "Bor". Njega // *Bijes / te bure bije / živac žile svijе / prijeti trijes* // *Nebo ne da / ne da tlo / no / kraj svih bijeda* // *živ / div / ne mniš na ča* // *ne boječ / se do konca stojeć* / *Ā* // Međutim, kad "Južnjak" vlada... / Nit sunce sja // nit pravog veselja / *Široka huk / s duboka zvuk* /... ali... / *da stane* // *bura il bonaca / bane kroz kraj / taj* // To je "Gromača" // *Taj uz to more / uz te gore / zavičaj* // *Znamen / kad zmaj / kad kruh / duh* // *mog kraja / mog raja / sjaj* /. Tu je i "Raj refula" koji su // *Sjaj / nevjere / nevère / raj / refula / razmersih / u versih / Marula* // naš kam / naš vrt / *drag* // nam / *škrt / nag* // Sažetak svega je "Bura".

Ciklus MORE sasvim je drukčiji, nosi pjesnikovu intimnu notu, njegov stav prema rodnom kraju, njegova raspoloženja, sjećanja i osjećanja, a i tihi rezignaciju kad prebire po uspomena. Ciklus se otvara pjesmom "Kraj kraj mora". More daje Branku čudesnu moć. Poslušajmo: // *Stat / Zastat / Stat / kraj mora mog / Bit bog* // Tu se može odmoriti kad je "Procul negotiis". Kako je samo veličajna priroda, Kras i more! More iskri u bezbroj odblijesaka na valićima

kojima povjetarac mreška površinu. Senjska vrata obasjana visokim ljetnim suncem. Lijevo je Prvić a zdesna ljubičaste hridi Krka pred kojima se prikosno ispružio maleni Zec - gola klisura - pribježište i sletište galebova. Kako je lijepo tada bilo slušati Branka i njegovu "klapu". Pjevali su "sottovoce", a zrikavci su ih uporno pratili.

"Galebu" malo što smeta // Da i lahori / da i vihori / do obzora / mora / tvoji dvori // Iz ognjenog osvita kad... / lit / izranja / iz sanja // rada se "Misao" koju u stopu prate uspomene "Reminiscor" na odricanje, a sa zahvalnošću Bogu kojemu... / san na san isprosih // Međutim, "Skočila je bura" / da se namahnita / ma do sita // Prebire po "Eolovoj harfi", a "Konopi u fortuni" // Napo / smučeni visimo /... No "Galebu" je / doziv / neugroziv // Sinje more svoje tajne ne može otkriti, pa ih / ne spominje / Nad svime bdije "Nehaj" u mirisu bora i... / boja vihora / i mora // U tuđini iseljeni "Uz kamin u svijetu"... / snatre / o svom kraju / o raju // U "Bonaci" i u "U sumraku"... / U nove / školji plove / snove // I "Nova bura"... / od ushita / hita //... Tada "Čuvaj se senjske bure", jer... / val će te strti / val naždrti / smrti // Pa i ponovo "Bura" // Žestoka / do otoka /..., ali joj prkosi onaj mali nepomični "Zec"! - No, kako je divno to "More" // Po stoti / put sklopit / oko utopit / se u ljepoti / opit //.

Pjesnik je otvorio svoje srce. Škrtim riječima, ili bolje, škrta na riječima, razgrnuo je široke prostore misli i osjećaja. Misli da je sve rekao. Još samo "Ispovijest" // Ne mogu / već / već / reć / Bogu // I sada "Kraj mora kraj", kad će // Stat / Zaspit / Spat / kraj mora mog / N e n e b o g /. Tako se kraj ciklusa MORE spojio sa svojim početkom.

Međutim kakve li proročke slutnje! Godina 1985. u Sv. Jurju kraj Senja. Burna srpanjska noć. Bura zviždi i drma. Branko izađe pred svoj dom, valjda sudbinom gnan, a iz mraka mladi nasilnik na motorkotaču bez svjetla obori Branka... Udarac glavom o pločnik bio je fatalan.

පළමුවෙන් කැමැත්ත පැවරුවාම පස
අනෙකුත් අවස්ථාවන් අනෙකුත්
ප්‍රේමයන්

Vatroslav Lopaišić

OTKRIVENJE (APOKALIPSA)¹³

ἐν ἐν IN REVELATION OF JOHN

Vatroslav LOPAŠIĆ, Zagreb

The purpose of this article is to analyse the use of the preposition ἐν ἐν in Revelation of John, and to try, on the ground of this analysis, to find the rule the author of Rev adopts in using it.

The first step in this direction was to locate the preposition ἐν ἐν in Rev and to group these ἐν ἐν according to the case it governs: genitive, dative or accusative. The synopsis of these places is given in the Appendix to this article. In the text edited by K. Aland and others¹ we find it 59 times with genitive, 11 times with dative, and 74 times with accusative. These numbers are slightly different in the text edited by R.V.G. Tasker,² they are 57, 13 and 74, but not the sum total: the preposition ἐν ἐν occurs in Rev 144 times as an independent word, that is, not as part of a compound.

The phrases in which ἐν ἐν occurs can be classified according to the verb used (its direct object included), and the object governed by the preposition itself. For example the phrase καθήμεν ἐν ἐν takes in Rev the following objects: θρόνος, ἔκτος, νεφέλη, γῆ, ὕδωρ, θηρόων then we find the phrase γράφω τὸ όνομα ἐν ἐν with the objects φῆρος, στέλος, μέτερον, βιβλίων, ἑμῆτων, ὁράων and so on.

The preposition ἐν ἐν in its local meaning will be termed static if it is followed either by genitive or by dative, and kinetic if followed by accusative. In the text edited by Aland there are 70 static ἐν ἐν and 74 kinetic ones. These same numbers are found in the text edited by R.V.G. Tasker where of the 70 static ἐν ἐν there are 57 with genitive and 13 with dative. With static ἐν ἐν the subject is supposed to rest upon something, while with the kinetic one the movement is implied. In this article we shall try to find whether the distinction between the static and kinetic force of ἐν ἐν is upheld by the author of Rev, and if this be the case, what is its relevance to the understanding of the place considered.

Here it is interesting to quote from the book by M. Zerwick.³ We find under the heading ἐν ἐν, in section 123, page 43: „Confer etiam... in Apc promiscuitatem omnium trium casuum, cum magna tamen praevalentia accusativi, in una eademque frequentissima formula 'in throno sedere'." On the other hand in the annotation to the section 2 in the grammar by Blass and Debrunner⁴ page 2 we read: „Unter den

¹³ *Božanstvo i svetlost*, vol. 57, br. 1-2, 1987., str. 32-40, (pretpisak).

nt. Schriftstellern selbst treten gewisse Unterschiede hervor, die mit der Verschiedenheit ihres Bildungsstandes nichts zu tun haben; so vermischen einige, besonders Lukas, $\epsilon\kappa$ und $\epsilon\nu$, während der Verfasser der Apokalypse diese Präpositionen zu sondern weiss." This would be a point for John against the educated Luke, and it seems to contradict in an indirect way the quoted statement of Zerwick. — But the author of Rev is notorious for his disregard of conventionally accepted grammar. We read in Blass-Debrunner section 136: „Die Apokalypse zeigt im Gegensatz zum übrigen NT, auch zu den übrigen Joahannesschriften, eine Menge der auffälligsten Solöziemen." Are these offences against the grammar a consequence of the presumed low level of education, or perhaps they are there by some design of the author? The proposed analysis of the use of $\epsilon\kappa$ could be a clue in the search for a solution of this problem.

In the following section of this article we shall analyse several verbal phrases containing the preposition $\epsilon\kappa$. In addition to the text edited by Aland, the translation given in the New English Bible⁵ is used as an auxiliary. The commentaries given in the sections that follow contain free quotations from this translation without referring to it.

1. The phrase $\omega\theta\eta\mu\alpha\iota \epsilon\kappa$ with the object $\theta\omicron\nu\omicron\delta\omicron\varsigma$. Other objects after this phrase will be considered in section 2. The verb $\omega\theta\eta\mu\alpha\iota$ has the meaning either take the sitting position or sit still. The first meaning implies movement, the second rest. Which meaning is thought must be inferred from the context.

We find $\omega\theta\eta\mu\alpha\iota \epsilon\kappa$ with the object $\theta\omicron\nu\omicron\delta\omicron\varsigma$ in genitive, dative, and accusative as follows:

- a) *The throne of God*
Genitive 4,9.10; 5,1.7.13; 6,16; 7,15.
Dative 7,10; 19,4; 21,5.
Accusative 4,2.
- b) *The thrones of twenty-four Elders*
Accusative 4,4; 11,16.
- c) *The thrones in the Thousand Years*
Accusative 20,4;
- d) *The great white Throne*
Accusative 20,11.

In the verses 20,4 and 20,11 the noun $\theta\omicron\nu\omicron\delta\omicron\varsigma$ is substituted by $\alpha\upsilon\tau\omicron\varsigma$. We see from this list that in the considered phrase the number of kinetic $\epsilon\kappa$ to the number of the static ones stands as five to ten; there is no prevalence of accusative.

In 4,2 the throne of God is mentioned for the first time in connection with $\omega\theta\eta\mu\alpha\iota \epsilon\kappa$. The vision begins to take form and therefore the idea of movement: the phrase considered contain a kinetic $\epsilon\kappa$ „There in heaven stood a throne, and on the throne took the seat One, and the appearance of the sitting One was like the gleam of jasper and cornelian." The first $\omega\theta\eta\mu\epsilon\nu\omicron\varsigma$ in 4,2 has a kinetic force brought by the preceding kinetic $\epsilon\kappa$, while the immediately following $\omega\theta\eta\mu\epsilon\nu\omicron\varsigma$ in 4,3 obviously static.

In the following ten places in Rev listed above, God is described as sitting on this throne and static ἐντ is used. When God once has taken his seat upon his throne he never leaves it. The event of taking the seat on the throne must have happened, since this throne is God's creation, as everything else.

It is a different case with the thrones of the twenty-four elders. In 4,4 by the use of kinetic ἐκ it is expressed that they have taken the seats on their thrones. In 11,16 we have again a kinetic ἐκ expressing that the elders have occupied their thrones anew. This was necessary, because the elders leave their thrones when they worship God as described in verse 4,10.

In verses 20,4 and 20,11 the occupation of the respective thrones is mentioned for the first time, and the use of kinetic ἐκ in both cases is consistent with the logic of its use in the former instances.

In the text of NT ed. by Aland, of ten static ἐντ with the object θρόνος there are seven with genitive and three with dative; in NT ed. by Tasker this stands at five to five. The question arises, can we infer from the text any difference in these two uses of the static ἐντ?

If we look at the places where the static ἐντ is used in the phrase consider, then it seems that dative is reserved for words of worship and for the most solemn occasions. In verse 7,10 the jubilant multitude robed in white shouted: „Victory to our God who sits on the throne, and to the Lamb!“ — In verse 19,4 at solemn occasion after the fall of Babylon the Great, dative is used where the worship of God is described. — In verse 21,5 dative after ἐντ precedes the final pronouncement of God, and here the throne of God is mentioned for the last time in Rev.

Static ἐντ with genitive is used in the considered phrase in seven places. Of these are 4,9.10; 5,1.7 descriptions by the author of Rev, then 5,1.3 the words of „created things in heaven and on earth and under the earth and in the sea,“ further 6,16 are the words of kings and the magnates and others who hid themselves in caves, and lastly 7,15 are the words of one of the elders.

If we adopt the rule that the dative in ἐντ τῷ θρόνῳ is reserved in the quoted places for worship and most solemn occasion, then the use of dative in 5,13 in NT ed. by Tasker could be defended, but not in 4,9 where in the next verse 4,10 it is followed by ἐκ with genitive in an almost identical context.

The probability that there is an intended difference in the meaning of these static ἐντ in Rev, whether genitive or dative follows, perhaps can be enhanced by a quotation from the grammar by Smyth.⁶ We read there in the Note to the section 1689, page 378: „In expressions of simple superposition ἐντ with gen. denotes familiar relations and natural positions; whereas ἐντ with dative gives clear and emphatic outlines to statements of the definite place of an object or action, is used in detailed pictures, and marks the object in the dative as distinct from the subject of verbal action. ἐντ with gen. is colourless and phraseological, and often makes, with the verb or the subject, a compound picture... The distinction between the two cases is often the result of feeling; and certain phrases become stereotyped, now with the gen. now with the dat.“ The least we can say in considering the use of

genitive and dative of ἄρσενος after the phrase καθήμεν ἐντὶ is that the author of Rev does not break the rule proposed in the grammar by Smyth.

2. The phrase καθήμεν ἐντὶ governs in addition to ἄρσενος other objects too. We find in this use the following nouns (in some instances substituted by εὐτός):

ἵππος	genitive 19,18.19,21; dative 19,14; accusative 6,2.4.5; 19,11;
νεφέλη	genitive 14,15.16; accusative 14,14;
γῆ	genitive 14,6;
ὕδωρ	genitive 17,1;
θρόνον	accusative 17,3.

The verses 6,2.4.5 contain kinetic ἐντὶ. In these verses the visions take form, the horses are coming and the riders mount on them. Here the movement, the getting on the horses, is suggested. — Still better this initial movement and the following relative rest, sitting on the horse, are brought out in chapter 19. In verse 19,11 (kinetic ἐντὶ) Faithfull-and-True mounts on his white horse. This is taking place at the opening stage of the vision. Later in 19,19.21 he is riding his horse, as are his enemies too (19,18) and this is expressed in these verses by static ἐντὶ followed by genitive.

The dative in 19,14 is a speciality, it points out the majesty of the armies of heaven that follow Faithfull-and-True.

In the verse 14,14 again a vision is beginning to form. One like Son of Man is taking his seat on a white cloud (kinetic ἐντὶ). In the following verses 14,15.16 (both with static ἐντὶ followed by genitive) he is sitting on the cloud. This gives us the impression that he has come from somewhere and got on the white cloud for a special purpose.

In 17,1 the great whore is described as „enthroned above the ocean”. That is her permanent abode and therefore a static ἐντὶ. But for her judgement she mounted upon the scarlet beast, and this movement is brought out by kinetic ἐντὶ in 17,3.

In the verse 14,6 we find the only instance in Rev where the inhabitants on earth are described by phrase καθήμεν ἐντὶ with genitive, the standard expression for this concept is κατελθὼν ἐντὶ with genitive as we have in the remaining nine places 3,10; 6,10; 8,13; 11,10.10; 13,8.14.14; 17,8. The number of a verse is repeated if the phrase considered is repeated in it.

On the ground of examples given above we can conclude that the author of Rev uses the phrase καθήμεν ἐντὶ with consideration distinguishing between the static ἐντὶ and the kinetic one. This is brought out very clearly with the throne of God, the white horse of Faithfull-and-True, and the white cloud. Kinetic ἐντὶ is used in the opening stages of respective visions suggesting that the act of sitting on something had its beginning. This taking the seat can be thought either as if it had taken place in the past, and in the vision itself. God has taken the seat on his throne

and is seen sitting on it, as expressed by kinetic $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ and repeating the verb $\kappa\acute{\alpha}\theta\eta\mu\epsilon\iota$ in 4,2. On the other hand in chapter 6 the horses are appearing; the living creatures use present imperative, not aorist, when calling them to come. Then the riders are mounting on them. This vision is full of movement. – The distinction between the static $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ with the genitive and the static one with the dative is probable; the dative seems to be reserved for emphatic statements.

3. In this section we propose to consider the phrase $\gamma\omicron\delta\epsilon\omega\ \tau\omicron\ \delta\omicron\nu\epsilon\alpha\ \acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$

It comes with various objects in following cases

genitive 14,1.

accusative 2,17; 3,12; 17,5,8; 19,16,16.

We shall begin here our analysis with kinetic $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$. In 2,17 the victorious is promised „the hidden manna and a white stone, and on the stone a new name will be written.” Kinetic $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ emphasizes the act of writing this name on the stone and so the name will be „known to none but him who receives the stone”.

The name of God will be written upon the victorious after he is made a pillar in the temple of God (3,12). Here (as in the former instance the stone) the pillar is blank and then the name will be written on it.

In the verse 17,5 the great whore is openly shown what she is, her name written upon her forehead: Mystery, Babylon, the Great. Till then one could have this or that opinion of her, but now her true nature is revealed as she faces her final judgment. For this purpose her name was written upon her forehead, blank till then.

Kinetic $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ in 17,8 gives the idea that the book of life was originally blank too. This book has existed since the beginning of the world and since then the names have been written into it; the number of names entered grows continually and so does the number of those whose names have not been inscribed into it.

In 19,16 we see the rider on the white horse prepared for the battle. For this occasion, on his cloak and on his thigh the name was written: The King of kings and the Lord of lords. We have here the considered phrase followed by two kinetic $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$.

Now we are left with the only instance of a static $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ in the considered phrase, it is the verse 14,1. The Lamb has taken his stand on the Mount Zion „and with him were a hundred and forty-four thousand who had his name and the name of his Father written on their foreheads.” Here the adoption of a static $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ shows that the 144.000 have had these names written on their foreheads since the very beginning of their existence; in fact „they had been ransomed as the firstfruits of humanity for God and the Lamb” (14,5).

The static $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ in 14,1 corroborates the explanation of the kinetic ones given in this section. Kinetic $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ emphasizes the act of writing the name, the static one the fact that the 144.000 have always had the name written on their fore – heads.

4. Now we shall consider the phrase $\delta\acute{\iota}\delta\omicron\mu\epsilon\iota\ \chi\acute{\alpha}\rho\alpha\gamma\mu\alpha\ \acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ (13,16) and $\lambda\alpha\mu\beta\acute{\alpha}\nu\omicron\ (\tau\omicron\beta)\ \chi\acute{\alpha}\rho\alpha\gamma\mu\alpha\ \acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ (14,9; 20,4).

In 13,16 we are told how the second beast causes everyone to be branded with a mark on his right hand or upon the forehead, and no one was allowed to buy or sell unless he bore this beast's mark. Here the first $\acute{\epsilon}\nu\acute{\epsilon}$ in „on his right hand” is static, and the second one in „upon the forehead” is kinetic. The circumstances in the

reign of the beast were oppressive: the second beast wielded all the authority of the first beast in its presence and worked miracles to delude the inhabitants of the earth to worship the first beast, and could cause all would not worship the image of the first beast to be put to death (13,11...15). To all this came the humiliating procedure of branding the people with the beast's mark. Without this mark one was practically excluded from the public life and reduced to the status of an outlaw and beggar. In these circumstances the mass of people succumbed to the intimidation and economic pressure and docilely carried the brand on their right hands; as the static $\epsilon\kappa\epsilon$ in 13,16 implies it was a common place sight. The forehead was usually clear from the brand. But the cowardly sycophants went further than the mass, they offered their foreheads to be branded; kinetic $\epsilon\kappa\epsilon$ lays the emphasis on the act of taking the mark.

In the words of the third angel (14,9), „whoever worships the beast and its image and receives its mark on his forehead or upon the hand, he shall drink the wine of God's wrath". Here the first $\epsilon\kappa\epsilon$ „on his forehead" is static showing that this person has been carrying the mark already for a long time; no one remembers him without it, he is dastardly kind of a traitor. The second $\epsilon\kappa\epsilon$ „upon the hand", a kinetic one, emphasizes the act of branding, and here we see the example of a person, which evaded the branding for some time but yielded to the pressure in the end. By this distinction the interval of crime of treason is determined: on the one extreme are those who have always carried the mark on their foreheads, on the other extreme those who have taken it upon their hand only recently. We see from the words of the angel that these who failed in the last moment, will be meted the same punishment as those with the mark on their foreheads. This kind of treason is one and indivisible; it cannot be graded.

In the verse 20,4 both $\epsilon\kappa\epsilon$ are kinetic. In the vision, together with „the souls of those who had been beheaded for the sake of God's word and their testimony to Jesus", are „those who had not worshipped the beast and its image, and had not received its mark on their forehead and on their hand". These who have proved faithful to the end despite of all tribulations, are ranked with those who had lost their lives for the sake of God's word and their testimony to Jesus. This shows that „not to receive the beast's mark" was a constant and prolonged struggle involving grave risks. The two kinetic $\epsilon\kappa\epsilon$ emphasize the action of not receiving the mark and the fact that these people never took it.

5. The phrase $\epsilon\sigma\tau\iota\mu\epsilon\kappa\epsilon$ $\epsilon\kappa\epsilon$ we are going to consider now, governs either a genitive or an accusative:

genitive 8,3; 10,5,5; 10,8,8;

accusative 3,20; 7,1; 11,11; 12,18; 14,1; 15,2.

The use of four static $\epsilon\kappa\epsilon$ the sea and on the land was seen earlier in 10,2 when he planted his right foot on the sea, and his left on the land. So the standing on the sea and on the land is a consequence of the action already fulfilled and mentioned, namely the planting the feet on the sea and on the land. The movement, planting the feet, is followed by a

rest, the standing on the sea and on the land. The four static *ἐν* discussed are logical and appropriate in this context.

The same pattern of ideas we find in 8,3, the movement followed by a rest, „another angel came and stood at the altar“. Here again the movement is explicitly expressed by verb *ἐρχομαι* and the following use of a static *ἐν* in the phrase „stood at the altar“ is in accordance with the former example, and by the same logic.

The kinetic *ἐν* in 11,11 is obvious; the two prophets will be killed by the beast, „their corpses will lie in the street of the great city... but at the end of the three days and a half the breath of life from God came into them; and they stood up on their feet.“ Here the verb considered is used in the meaning of taking the upright position, and the movement is implied.

The remaining five instances 3,20; 7,1; 12,18; 14,1 and 15,2 have one characteristic in common, they are lacking a verb of movement. These constructions can be regarded as elliptical. We have seen that the author of Rev can think of God as sitting on his throne only after his taking the seat upon it (4,2). Faithfull-and-True is riding his white horse after he has mounted it (19,11), and so we can suppose that in the considered places, although no movement is explicitly mentioned, some vague idea of coming was lingering in the mind of the author, and this was expressed by the application of kinetic *ἐν* in these cases. In these elliptical constructions kinetic *ἐν* is used because a kinetic verb was omitted, and this with the purpose to convey the idea of movement preceding the described standing at, or standing on, or taking the stand on something.

It seems here appropriate to quote a complementary example of elliptical constructions implying movement and rest; it is 3,10. This verse contains the verb of movement *ἐρχομαι* but the verb of rest is lacking and, by the logic of examples treated in the preceding paragraph, a static *ἐν* is adopted to give an idea that „the ordeal that is to fall upon the whole world“ will remain on it for some time.

6. The verb *νέω* in 17,1 is followed by two static *ἐν* and one kinetic in the same sentence. „After this I saw four angels..., holding back the four winds so that no wind should blow on sea or on land or on any tree.“ The kinetic *ἐν* „on any tree“ shows that the wind should not damage them by blowing on them. The two static *ἐν* „on sea or on land“ can be understood as elliptical constructions: no wind should blow on ships on the sea or on houses and crops on the land; no wind should blow on objects that rest on the sea or on the land.

The phrase *ἐξ* *ἐν* in 9,4; 9,11; 14,14 is followed by genitive showing static *ἐν*, and 20,1 is the only instance of kinetic *ἐν* after *ἐξ* suggesting perhaps that the angel has just taken „the key of the abyss and a great chain in his hand“ before „coming down from heaven“, while the former three instances describe states of long duration.

7. In the following places *ἐν* and the noun it governs stand absolutely (without a verb):

genitive 5,3; 5,13,13; 11,8; 12,1; 13,1; 18,24; 21,14.

dative 21,12.

accusative 4,4; 5,1; 9,7; 10,1; 12,3; 19,12.

The eight instances with genitive are quite normal and *εἶναι* is the verb that can be thought as being omitted, or that can be added.

The only instance with dative in 21,12 is perhaps an emphatic statement as mentioned in section 1689 of the grammar by Smyth and quoted in this article, section 1.

In the quoted six instances of kinetic *ἐν* a verb implying movement or change is not inconsistent with the text. In 4,4 the twenty four elders can be thought as putting on their crowns of gold; in fact 4,10 they worship God and „lay their crowns before the throne.“ They are not wearing their crowns permanently. – In 5,1 the scroll can be thought as being delivered „into the right hand of the One sitting on the throne“. The scroll was not permanently in his right hand. – The locusts in 9,7 „were like horses equipped for the battle“ and for this purpose their heads were crowned. – The angel in 10,1 coming down from heaven „was wrapped in cloud“ and the rainbow appeared above his head. This rainbow is not always with him. – In chapter 12 „a woman robed with the sun, beneath her feet the moon, and on her head a crown of twelve stars“ contrasts with „the great red dragon with seven heads and ten horns, and on his heads were seven diadems“. The crown of twelve stars is a permanent ornament of the woman robed with the sun, and here a static *ἐν* while „the seven diadems on dragon's heads“ were probably put on just before it appeared, and now a kinetic *ἐν*. – In 19,12 we see Faithful-and-True, „his eyes flamed like fire, and on his head were many diadems“. By kinetic *ἐν* it is suggested that he was adorned with these diadems for the final battle.

Conclusion. By this analysis of the use of the prepositions *ἐν* it appears proved that the author of Revelation discerns between static and kinetic force of *ἐν*. This is specially obvious with the phrase *καθήμενος ἐν* which comes 29 times in Rev, and accounts for 20% uses of *ἐν*. If this differentiation in meaning of *ἐν* is followed up with other phrases it seems that nowhere new difficulties in interpretation appear. All this points to the conclusion, that the grammar of Rev is a special one, adapted to its content, and the deviations from the conventional rules have a deeper meaning, as by contrast the strict adherence to the rule of using static and kinetic *ἐν* brings out in full relief.

APPENDIX

In this synopsis the number of a verse is quoted so many times as many times the preposition *ἐν* appears in it. The verses are grouped according to the case *ἐν* governs in the text edited by K. Aland and others.

a) *Genitive* (59 places)

1,20; 2,26; 3,10.10; 4,9.10; 5,1.3.7.10.13.13.13; 6,10.16; 7,1.1.3.15; 8,3.13; 9,4.11.17; 10,22.5.5.8.8; 11,6.8.10.10; 12,1; 13,1.8.14.14.16; 14,1.6.9.14.15.16.18; 16,18; 17,1.8.9.18; 18,24; 19,18.19.21; 20,6; 21,14; 22,4.

b) *Dative* (11 places)

7,10; 9,14; 10,11; 11,10; 12,17; 18,20; 19,4.14; 21,5.12; 22,16;

c) *Accusative* (74 places)

1,7.17; 2,17.24; 3,3.12.20; 4,2.4.4; 5,1; 6,2.4.5.8.16; 7,1.1.11.15.16.17; 8,3.10.10; 9,7; 10,1; 11,11.11.16.16; 12,3.18; 13,1.7.16; 14,1.6.6.9.14.16; 15,2; 16,2.8.9.10.12.14.17.21; 17,3.5.8; 18,9.11.17.19; 19,11.12.16.16; 20,1.4.4.4.9.11; 21,10.16; 22,5.14.18.18.

Notes

1. The Greek New Testament; Ed. K. Aland, M. Black, B.M. Metzger and A. Wikgren, London 1966.
2. The Greek New Testament; Ed. R.V.G. Tasker, Oxford/Cambridge 1964.
3. M. Zerwick S.J.; *Graecitas Biblica*, Romae 1966.
4. Friedrich Blass; *Grammatik des nt. Griechisch*, bearb. A. Debrunner, Göttingen 1965.
5. The New English Bible, Oxford/Cambridge 1970.
6. H.W. Smyth; *Greek Grammar*, Cambridge Mass. U.S.A. 1968.

SAŽETAK

Pisac rusčlanjuje u ovom napisu, što ga je za širu publiku napisao na engleskom jeziku, upotrebu prijedloga *ἐν* u knjizi Otkrivenja da bi tako otkrio njegovo značenje.

Najprije je prijedlog smjestio u okvir Otkrivenja i odredio s kojim se sve padežom taj prijedlog slaže (s genitivom, s dativom i s akuzativom) i kakvo značenje u pojedinim slučajevima poprima.

Pisac zaključuje da autor knjige Otkrivenja razlikuje statičko i kinetičko stanje prijedloga *ἐν*. To je osobito jasno kod izraza *καθ' ἡμᾶς ἐν*, koji se pojavljuje 29 puta u Otkrivenju.

Gramatika knjige Otkrivenja posebne je naravi. Sva odstupanja od uobičajenih pravila imaju dublje, teološko značenje.

5. PREDAVANJA I POKUSI

Vijnja Heni-Bartolić¹

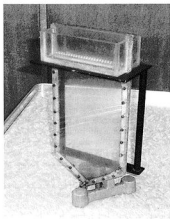
O NASTAVI FIZIKE PROFESORA LOPAŠIĆA

Bivši studenti prve nastavne godine još se danas živo sjećaju predavanja iz fizike koje je za njih održavao profesor Lopašić. Kroz definiciju fizike da ona prvenstveno otkriva zakonitosti nežive tvari obrazlagao je metode rada u fizici. To su eksperimentalna i teorijska metoda i njih je koristio u radu.

Istaknimo da su predavaonice uvijek bile ispunjene studentima do posljednjeg mjesta. Sjedište se i na stepenicama i po prozorima. U početku, predavanja su izvođena u Kačićevoju ulici. Poslije su predavanja premještena u novu zgradu Elektrotehničkog fakulteta, u Unskoj ulici. Predavanja su se održavala ne samo za studente Elektrotehničkog fakulteta, nego i za studente ostalih tehničkih fakulteta, uz suradnju ostalih nastavnika.

Pokusi su bili takovih dimenzija da su se mogli dobro vidjeti i iz najudaljenijih mjesta u predavaonici.

Na primjer, promatralo se Foucaultovo njihalo, mjerila se akceleracija slobodnog pada na unaprijed priređenu uređaju i sl. Ako pokusi nisu bili dovoljno velikih dimenzija, kao na primjer unutrašnjost elektroskopa, kapilarne pojave u uskim cijevima ili pojave u aparatu Hele-Shawa, slika 5.1, pokusi su se



Sl. 5.1.: Aparat Hele-Shawa kućne izrade kojim se pokazuje strujanje idealne tekućine u dvije dimenzije

projicirali (u dinamici) uvećani na zastor – ravnu vertikalnu plohu. Tako su se postigle oštre geometrijske sjene predmeta obasjanih jakim točkastim izvorom svjetlosti iz lučnice.

U predavanjima pokusi nisu bili ilustracija fizikalne pojave, već se pokusom (mjerenjem)

¹ Redovita profesorica na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, u mirovini.

nastojalo u samoj predavaonici doći do pojedinog fizikalnog zakona. Toj eksperimentalnoj metodi posvećivao je osobitu pažnju. Zato je dan prije predavanja, poslije podne, zajedno sa suradnicima, nastavnicima i demonstratorima, pažljivo priređivao pokuse koji će se izvoditi sljedeće prijepodne na predavanju. Te pripreme trajale su obično oko tri sata, od 16 do 19 sati. Sljedeće jutro sve je bilo spremno za izlaganje gradiva pred studentima. U tim pokusima bilo je često originalnih rješenja. Primjera radi, ovdje ćemo opisati samo dva pokusa: pokus kojim se mjeri gibanje brže od slobodnog pada i određuje akceleracija slobodnog pada, te pokus o zvuku iz glazbene viljuške.

Gibanje brže od slobodnog pada

Fizičko njihalo u obliku štapa njiše se oko osi na gornjem kraju štapa. Njegovo titrajno vrijeme može se uskladiti s titrajnim vremenom jednostavnog njihala. Jednostavno njihalo u rezonanciji je s fizičkim njihalom ako mu je duljina niti jednaka duljini od osi objesišta do središta udarca fizičkog njihala. Ta duljina iznosi dvije trećine duljine štapa fizičkog njihala. Središte udarca nalazi se ispod težišta fizikalnog njihala, što znači da se dio fizikalnog njihala ispod središta udarca njiše brže nego kuglica učvršćena na kraju niti jednostavnog njihala. Zato, ako je kut otklona štapa od ravnotežnog položaja 90° , dio njihala udaljeniji od središta udarca započinje gibanje brže nego je brzina slobodnog pada. Tu je činjenicu iskoristio prof. Lopašić. Izradio je klupicu, fizičko njihalo, i postavio ju u vodoravni položaj, slika 5.2. Na kraju klupice, dalje od središta udarca, postavio je kuglicu. Kada se klupica počinje gibati okrećući se oko horizontalne osi, kuglica će od sama početka nesmetano krenuti u slobodni pad. Problem pokretanja klupice riješio je nape-



Sl. 5.2.: Detalj uređaja za mjerenje slobodnog pada. Vidi se klupicu u početnom položaju, a na njezin se kraj postavlja željena kuglica pomoću odabrane dimenzije koja će izvoditi slobodni pad u zraku na normalnom tlaku.

tim koncem koji je držao klupicu u vodoravnom položaju. Zatezanjem konca, konac se trenutačno prekine, postavi klupicu u vrtnju oko osi, a kuglica slobodno pada. Nizom uzastopnih mjerenja različitih dubina slobodnog pada uz mjerenje vremena trajanja gibanja pomoću elektroničke zaporne ure koja može mjeriti kratka vremenska razdoblja na šestu decimalu sekunde (u početku, kućne izrade) određivana je akceleracija slobodnog pada. Pokusi su izvođeni u zraku na normalnom tlaku. Dubina pada mjerena je na točnost jednog milimetra na maksimalnu dubinu od 180,0 cm, a zaporna ura na četvrtu decimalu sekunde. Srednja vrijednost slobodnog pada iznosila je $980,7 \text{ ms}^{-2}$.

Uz pomnu teorijsku (matematičku) obradu problema dokazani su općeniti uvjeti za nesmetani pad kuglice i opisan je eksperi-

mentalni uređaj koji je upotrebljavao na predavanjima.

Problem je objavljen u časopisu *Glaznik matematičko-fizički i astronomski*, 1(1946)4, str. 145–167; Vatroslav Lopašić, Zlatko Jančević: »*Jedan pokus s fizikalnim njihalom*«. Račun je poznat pod nazivom »rušenje tvorničkog dimnjaka«.

Glazbena viljuška

Zanimljiv je detalj povezan s titranjem glazbene viljuške od 440 Hz. To je osnovni ton ^a1 po kojemu se ugađaju muzički instrumenti, a propisan je Međunarodnim sustavom mjernih jedinica. Spomenimo, u orkestralnim izvedbama taj zvuk daje oboa i uzima se kao mjerodavna intonacija u orkestru. U studentskim pokusima koristi se uobičajena metalna glazbena viljuška, učvršćena na rezonantnu drvenu kutiju, a stavlja se u titranje udarom gumenog batića po kraku viljuške. Prof. Lopašić namjesto batića uzimao je pomno pripremljeno gudačo kontrabasa i njime povukao po metalnom rubu kraka viljuške. Počeli su se odvajati ugodni zvuci viših harmonika, znatno bogatiji nego kod udarca batićem. Razvio se bogato obojen zvuk kao da dolazi iz gudačkog instrumenta poput violončela.

Odnos eksperimentalne i teorijske metode

Kada se tijekom predavanja eksperimentom sakupilo dovoljno iskustava oblikovanih matematičkim izrazima, pristupio je teorijskoj metodi. To su bili matematički izvodi sa širokom lepezom valjanosti. Iz tih vrhovnih zakona moglo se dolaziti do pojedinih posebnih zakona prikazanih u eksperimentima ili se to moglo koristi-

ti u numeričkim izračunima. Dajem kao primjer izvod Maxwellovih jednadžbi ili izvod uzgona, Bernoullijevu jednadžbu i ostalo. Neki detalji iz teorije, koji se zbog opsežnosti nisu mogli izvesti tijekom predavanja, sabrao je u svesku *Konzultacije iz fizike*. Na žalost, to je ostalo samo u rukopisu, a suradnici su to iznosili u okviru auditornih vježbi.

Praktikum iz fizike

Pored eksperimenata na predavanju, održavao se redovito i praktikum iz fizike. To je bio niz praktičnih vježbi iz fizike, koje su se postepeno uvodile uz zahtjev da budu *student prove*. Opis tih vježbi, uz opširan prilog o mjerama i mjerenjima u fizici, može se naći u udžbeniku: *Mjere i mjerenja u fizici*. Studiju o mjerama fizikalnih veličina objavio je prof. Lopašić u nekoliko članaka. Na slici 5.3 vidi se jedna stranica rukopisa s tom tematikom. Spomenimo na primjer Lopašićev članak u časopisu *Automatizacija: »Međunarodna temperaturna skala«* (str. 199–203, Zagreb, 1965.). Treba spomenuti da je šездesetih i sedamdesetih godina vodio kolegij na trećem stupnju *Mjerenja u tehničkoj fizici*.

Detaljnije o opisanim eksperimentima i teorijskim izvodima čitatelj može naći u udžbenicima: *Predavanja iz fizike*, koja su doživjela višestruke objave u izdanju nakladničkih kuća *Liber* i *Školska knjiga*, slika 3 i 4.

Nikola Tesla, Ruder Bošković i Vinko Dvořák

Posebno je obraćao pažnju na otkrića koja je ostvario Nikola Tesla. Tako je izradio repliku asinkronog motora i Teslina viskofrekvencijskog generatora obraćajući pažnju na Tesline mnogobrojne patente.

- 21 -

$$Q_{iu} = -Q$$

$$Q_{iv} = Q$$

Ako sada pomislimo, da je ta ploha S sastavljena od velikog broja sitnih Maxwellovih dvoploha, onda se na svakom paru tih plošica influenciraju naboji. Na pločici koja gleda van, influencirani je naboj

$$dQ_{iv} = \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

a na pločici koja gleda prema unutra, jednako velik naboj protivnog znaka. Zbroj svih naboj na vanjskim pločicama daje ukupni influencirani naboj. Dakle

$$Q_{iv} = \oint_S dQ_{iv} = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

Budući da je Q_{iv} jednak naboju Q (jednako velik i istoga znaka), to slijedi

$$Q = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

Integral na desnoj strani je tok vektora električnog pomaka $\vec{D}$ kroz zatvorenu plohu S iz prostora što ga ta ploha obuhvaća. Zato sadržaj posljednje jednačbe možemo ovako izreći. Tok električnog pomaka $\vec{D}$ kroz zatvo-

renu plohu S jednak je električnom naboju Q (zbroju električnih naboj), koji se nalazi u prostoru obuhvaćenom tom plohom.

Ovaj je zaključak valjan za svako električno polje, pa prema tome to vrijedi općenito za vektor električnog pomaka $\vec{D}$. Jednačba koja izjednačuje naboj Q i tok električnog pomaka osnovna je jednačba za vektor električnog pomaka $\vec{D}$. Običaj je tok električnog pomaka obilježiti slovom Ψ . Dakle

$$\Psi = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

Jednačba koja izjednačuje električni naboj Q i tok električnog pomaka Ψ jedna je od četiriju Maxwellovih jednačbi elektromag-

Drugi naš velikan kojeg je Lopašić osobito cijenio bio je Ruder Bošković. Njegov osvrt na Boškovićeve radove čitatelj može naći u radu *Predavanjima iz fizike I. dio* i u knjizi: *Predavanja iz fizike – elektromagnetsko polje* u izdanju nakladničke kuće Školska knjiga. Priložena slika 5.4 prikazuje jednu stranicu knjige priredene za tisak. U toj knjizi vrijedno je istaknuti njegov tekst »Boškovićev pokus«, što je osvrt na pokus koji je Bošković samo predložio. Stotinjak godina poslije Boškovićev pokus je izveo Sir Airy. Naime, Bošković je zamislio dalekozor punjen vodom da bi se mjerila promjena izno-

sa aberacije zvijezde. Sir Airy dao je rezultatu izvedenog pokusa krivo tumačenje. To je bilo prije poznavanja Einsteinove teorije. Lopašić je rezultate pokusa objasnio pomoću sada poznata Einsteinova principa specijalne teorije relativnosti.

Treba na kraju spomenuti Vinka Dvořáka (1848.–1922.), osnivača katedre za fiziku Sveučilišta u Zagrebu. Kao profesor fizike djelovao je od 1875. do 1911. godine. Neke njegove originalne sprave iz znanstvenog područja mehaničkih učinaka zvuka prof. Lopašić koristio je, uz osobitu pažnju i poštovanje prema autoru, na predavanjima.

Miroslav Sedlaček²

ZBIRKA – TOŠOTEKA – POKUSI (sjećanja 1950.–1960.)

«Nekad ta Zbirka gotovo da i nije postojala. Kad sam 1946. godine počeo studirati na Tehničkom fakultetu *Fiziku* je predavao Franjo Ivan Havliček, dipl. inž. On je predavao fiziku s pomoću ploče, krede i spužve, tako da baš i nije bio zainteresiran za zbirku. Nakon što sam odslušao prvu godinu studija i položio ispit iz fizike, prijavio sam se kod njega za demonstratora i bio primljen. Iz tog doba sjećam se vrlo malo o zbirci, u ormaru je bio Wimhursov elektrostatski stroj, neki veliki elektroskop (vidi skripta II. dio, slika na str. 17), neke kugle za sraz, i to je sve što mi je ostalo u sjećanju. Bilo je i nekih drugih stvari, ali ne mnogo.

Prof. Havliček dobio je 1949. godine poziv da dođe u Ljubljanu na Institut Jožef Stefan i prihvatio ga je. Za njegova nasljednika na Tehničkom fakultetu u Zagrebu imenovan

je 1950. godine profesor Vatroslav Lopašić, koji je do tada bio na Višoj pedagoškoj školi. A mene je primio u naslijeđe.

I tad se predavanja iz *Fizike* potpuno mijenjaju. Prof. Lopašić bio je dak prof. Hondla, koji je predavao eksperimentalnu fiziku na Mudroslovnom odnosno Filozofskom fakultetu, a bio je i pisac udžbenika *Fizika* za više razrede gimnazije. Ta je knjiga mene zainteresirala za fiziku, pogotovo zbog toga jer su se svi izvodi fizikalnih zakona osnivali na opisu pokusa.

Na PMF-u je postojala velika zbirka materijala potrebnih za prikazivanje pokusa iz fizike. Kad je prof. Lopašić došao na Tehnički fakultet i preuzeo katedru fizike dogovorio se je s prof. Mladenom Paičom da će kroz prvo vrijeme posuđivati pojedine uređaje s PMF-a za svoja predavanja. I tako je počela nastava fizike koja je na svakom predavanju imala veliki stol, dužine oko šest metara, pun pokusa.

Predavanja su bila utorkom i petkom. Zbog toga se je svaki ponedjeljak i četvrtak

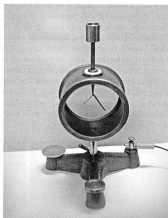
² Redoviti profesor akceleratorne tehnike na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Kraljevske visoke škole u Stockholmu, u mirovini.



Sl. 5.5.: Oprema za pokuse ponekad se prevozila (1950.–1953.) između Marulićeva trga (PMF) i Kačićeve ulice (Tehnčki fakultet) malim kolicima. Vukov Ivan (Moči) Sztrilich, Tomislav (Tošo) Lisac, Miroslav (Mirček) Sedlaček, Ljudevit (Dudu) Čeljuska, Draško (Draško) Gospodnetić i prof. Lopašić.



Sl. 5.6.: Tomislav Lisac (1928.–2006.): a) fotografija iz indeksa (1947.) i b) fotografija pred mirovinu (2002.). Diplomirao 1955. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, smjer: slaba struja, „Radio u tvornici Suletost u Rijeci i u Glavnoj pošti – Rijeka. Napisao tzv. Tolstoku u kojoj je detaljno opisana (do vrste stezaljke i boje žice) izvedba pokusa.



Sl. 5.7.: Elektroskop, posebnost je u tome što su listići zalijepljeni voskom iz usnog kanala.

oko šest sati popodne sastajala jedna mala četa: prof. Lopašić, asistenti Draško Gospodnetić i Pavao Krivačić, te demonstratori Ljudevit (Dudu) Čeljuska, Ivan (Moči) Sztrilich, Tomislav (Tošo) Lisac i ja (Mirček). Krenuli smo iz Kačićeve ulice na Marulićev trg po uređaje za pokuse za sutradan. Katkada s malim kolicima, slika 5.5, a katkad i bez njih. A onda je sve to trebalo vratiti natrag

drugog dana, nakon svršetka predavanja. Tako je to išlo dosta dugo vrijeme. Pomalo je organizirana radionica u Zavodu, i tamo su se počeli izrađivati uređaji za pokuse. Sjećam se jednog od prvih: elektroskop s izolatorom

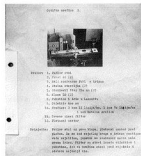


Sl. 5.8.: Tošoteka u kojoj su bile detaljne upute za pripremu pokusa

od jantara (kasnije zamijenjen polietenom) i listićima od kositrane folije koji su bili zalijepljeni voskom iz ušnog kanala, slika 5.7.

Zbirka se je počela polagano puniti, no još smo uvijek odlazili ponedjeljkom i četvrtkom na PMF. Uskoro se je pojavila nova mogućnost. Početkom 1950-ih Jugoslavija je mogla na temelju ratnih reparacija naručiti nešto iz Njemačke, među inim i u znanstvene svrhe. Prof. Lopašić to je saznao i brzo smo dobili katalog tvrtke Leybold, koja osim vakuumskih uređaja proizvodi i uređaje potrebne za nastavu fizike i kemije (danas je to tvrtka Leybold Didactic). U okviru sredstava koje je Zavod dobio na raspolaganje, naručen je niz uređaja. Kakva fešta kad su stvari konačno došle negdje 1952. ili 1953. godine, ne sjećam se toč-

no. Odjednom se je zbirka prilično napunila i nije više trebalo ići na PMF. Svaki se je pokus pomno fotografirao. Tako je nastala zbirka fotografija svih pokusa koji su se izvodili na predavanjima. Na slici 5.5. vidi se kako Tošo nosi pod rukom Tošoteku, u kojoj su bile fotografije i opisi pojedinih pokusa. U tri teke, slika 5.8., bile su fotografije i opisi 277 pokusa, praktički za sve pokuse koji su se izvodili u toku predavanja unutar jedne godine. Kad su se prof. Lopašić, asistenti i demonstratori skupili večer prije predavanja, donesene su stranice iz odgovarajuće Tošoteke, tako da se je odmah moglo donijeti sav potreban materijal, na primjer razne stalke, objumice, stativske štapove, katkad projektor ili lučna svjetiljku, s kojima su sastavljeni pojedini pokusi. Primje-

**Tekst:**

Optička mrežica 1.

Pribor:

1. Pohlov stol
2. Jahač SS (2)
3. Mali kondenzor Pohl
4. Stolina stezaljka (2)
5. Stativski štap 250 mm (2)
6. Klemna LO (2)
7. Pukotina i iris u lesionitu
9. Objektiv 400 mm
10. Mrežice: 2 kom 15 linija/mm, 1 kom 30 linija/mm
1 kom metalna mrežica
11. Crveno-plavi filter
12. Platnjeni zastor

Primjedba:

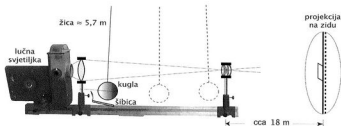
Pohlov stol uz prvu klupu, plameni zastor pred pločom. Da se kod svjetlog kruga s irisom postigne veća svjetlina, postavke se kondenzor nešto malo prema iris. Filter se stavi između objektiv i pukotine, dok se mrežica stavi pred objektiv i odabere najbolji dio.

Sl. 5.9.: Jedna stranica Tošoteke

rak jedne takove stranice iz Tošoteke vidi se na slici 5.9, zajedno s odgovarajućim opisom potrebnog materijala, te s primjedbom, kako sastaviti pokus i na što treba paziti. Fotografije su snimane i tekstovi pisani između 1951. i 1960. godine, tako da su sve stranice Tošoteke potpuno požutjele.

Zamislite stol od šest metara dužine, a na tom stolu katkada i po deset pokusa. I to skoro pedeset puta godišnje. Uz to, u sredini predavaonice skoro uvijek veliki projektor. Neki

napravili rupu za žicu za Foucaultov pokus. Kad je kugla za Foucaultov pokus mase 5,65 kg bila obješena na žicu dužine 5,73 m (podatci iz Tošoteke), jedan je konac držao kuglu u položaju najveće elongacije i slika žice načinjena pomoću projektor, slika 5.10, bila je oštra. Slika je zapravo bila bačena pomoću sustava leća na zid na gornjem kraju velike dvorane. Tako je kazaljka, tj. ukupan razmak projekcije od žice do slike na zidu, bila veća od 18 m. Kad je konac bio zapaljen, kugla se je oslobo-

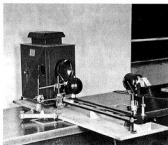


Slika 5.10.: Foucaultov pokus

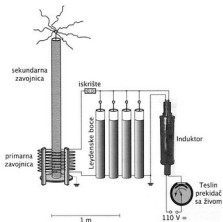
su pokusi bili izvedeni tako da je projektor svjetla bacao sjene uređaja na zid. Tu tehniku predavanja koristio je prof. Lopašić mnogo, jer ima dosta pokusa gdje je predmet pokusa malen i teško ga se može vidjeti ako je predavaonica velika i u njoj sjedi 350 studenata. Koliko bi ih moglo vidjeti jesu li su mali listići elektroskopa skupljeni ili razmaknuti, da nije bilo projekcije sa sjenom!

Teško je na malo mjesta opisati svih nekoliko stotina pokusa koji su svake godine bili izvođeni na predavanjima iz fizike. No ima ih nekoliko koji su se meni posebno urezali u sjećanje.

Sjećam se da smo već na jesen 1951. godine na tavanu na stropu iznad velike dvorane



Slika 5.11.: Veliki projektor s lučnom svjetiljkom u Foucaultovu pokusu

Sl. 5.12.: *Teslin transformator*

dila i počela se njihati, a sjena je nestala. Kad se kugla vratila u blizinu početnog položaja, pojavila se je opet sjena na zidu, no već nakon jednog njihaja sjena je bila pomaknuta. *Eppur si muove*. Zemlja se okreće. Kakav doživljaj. Takvi su bili pokusi koje je prof. Lopašić izvodio na predavanjima. Slika 5.11 pokazuje kako je veliki projektor bio postavljen na katedru velike predavaonice za taj pokus.

U zbirci su postojale četiri velike lejdenske boce i jedan induktor, dug skoro jedan metar. Ako se dobro sjećam, induktor i boce potjecale su iz radioodasilača s jednog od austrougarskih velikih ratnih brodova iz doba Prvog svjetskog rata. Kako ih je prof. Lopašić uspio dobiti, vjerojatno nećemo nikad više moći saznati, onih koji su to mogli znati više nema. S tim lejdenskim bocama i induktorom načinjen je titrajni krug, slika 5.12, napajan iz motorgeneratora (oko 110 V) preko Teslina

prekidača sa živom. Primarni krug oscilatora imao je oko 50 zavoja i kad je napon induktora premašio granicu iskrišta tako da je probilo, lejdenske boce izbile su se kroz primarnu zavojnicu i titrajni je krug počeo titrati frekvencijom od oko 250 kHz. Kao sekundarni krug u radionici Zavoda bila je napravljena Teslina zavojnica visine oko 2 m s nekoliko tisuća navoja tanke žice, tako da je bila u rezonanciji s primarnim titrajnim krugom. S uzemljenim donjim krajem napon na vrhu te zavojnice bio je oko 500 000 V.

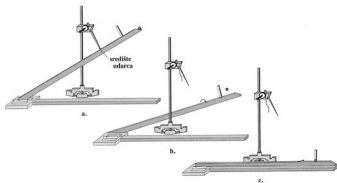
Iskre s vrha zavojnice raspršavale su se u zraku i bile su skoro metar dugačke. Električno polje oko vrha zavojnice vrlo je jako, tako da kad se u blizinu stavila fluorescentna cijev za rasvjetu, ona je počela svijetliti, slika 5.13. Također, ako se pustilo da iskra kliže po komadu suhe jelovine, ona bi se zapalila. Prof. Lopašić na kraju pokusa s Teslinom zavojni-



Sl. 5.13.: Fluorescentna cijev svijetli u blizini Testinog transformatora

com uzeo bi u ruku mjeđeni štap i prihvatio iskrnu, uz veliko čuđenje i pljesak studenata.

Jedan od originalnih pokusa bio je »Dim-njak«. Na kraju ravne drvene poluge dužine 1m nalazi se jedna kuglica promjera 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ "), slika 5.14.a. Poluga predstavlja fizikalno njihalo koje se okreće oko ležaja na jednom njezinu kraju. Poluga je na početku pokusa nagnuta pod kutem od 28 stupnjeva. Kad se to fizikalno njihalo pusti da slobodno pada, onda se jedna točka na njihalu, koja se naziva središte udarca giba, kao da je sva masa njihala koncentrirana u toj točki. Početni položaj poluge ograničen je iznad točke središta udarca i zadržan u tom položaju pomoću zategnuta konca. Ako se konac od zatezanja prekine, onda se to dogodi za otprilike 0,2 ms, a poluga počinje slobodno padati, zakrećući se oko ležaja, slika 5.14.b. Kako kraj poluge pada brže nego središte udarca, kuglica na kraju poluge počinje slobodni pad. Teoretskim proračunom može se odrediti optimalni položaj duž poluge jedne cijevi maksimalne



Sl. 5.14.: Objasnjenje putanja tvorničkog dimnjaka prilikom rušenja

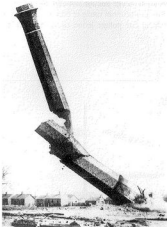
visine 96,5 mm tako da kad poluga padne u vodoravni položaj, slika 5.14.c, kuglica je na dnu cijevi. Maksimalne vrijednosti položaja i visine cijevi te kuta poluge za određenu dužinu poluge dane su u članku objavljenu u *Glasniku matematičkom-fizičkom i astronomskom (Jedan pokus s fizikalnim njihalom, 1(1946)4, str. 145-167.)* u kojem su prof. Lopašić i prof. Zlatko Janković ukazali na važnost 'središta udarca' kod njihala (slika 5.14. nacrtana je na temelju originalnih fotografija pokusa članku, tako da je položaj kuglice na slici b. točan).

Kad se ruši tvornički dimnjak (od cigle, ali ne onaj od armiranog betona), onda taj dimnjak često pukne. Opet je u pitanju središte udarca. Kako se središte udarca giba brzinom slobodnog pada, a po konstrukciji (dimnjak dolje deblji, gore tanji) središte udarca nalazi se ispod sredine visine običnog tvorničkog dimnjaka, postaju naprezanja prevelika i dim-

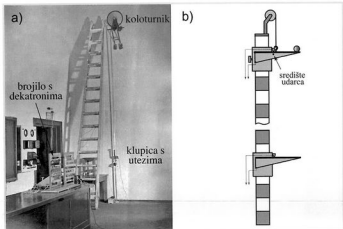
njak pukne, slika 5.15. To je originalna slika iz predavanja koja je bila prikazivana uz pokus »Dimnjake«.

Dr. Gospodnetić uspio je, vjerojatno 1952. (mislim u Brodarskom institutu), izraditi veliki kotač za novi Atwoodov padostroj. Taj je bio postavljen na zid velike predavaonice na visini od oko 4 m, slika 5.16.a), a uz njega je stavljen (u Zavodu napravljen) novi uređaj za slobodni pad, slika 5.16.b). Kako je taj kotač imao izvanredno dobar ležaj, moglo se je prijeći na mjerenje vremena gibanja utega u milisekundama. Na Odjelu elektronike Instituta Ruđer Bošković (u to je vrijeme prof. Lopašić bio pročelnik) bilo je razvijeno brojilo s dekatronima, čijevima s izbojem u plinu, kojim je bilo moguće mjeriti vrijeme s točnošću od desetinke milisekunde. Za početak mjerenja vremena iskorišteno je upravo opisano svojstvo središta udarca, i kod mjerenja gibanja utega u Atwoodovu padostroju i kod mjerenja slobodnog pada. Kako je na slici 5.16.b. prikazano, ako se poluga na kojoj je pri kraju uteg Atwoodova padostroja ili kugla slobodnog pada veže koncem upetim u središtu udarca, onda će, kad konac konac pukne, dio poluge ispod utega ili kugle početi kretanje brže od slobodnog pada, jer središte udarca pada brzinom slobodnog pada. Ako se poluga konstruira tako, da uz središte udarca postoji i električni kontakt, koji se prekida, može se na taj način započeti mjerenje vremena. Na željenoj udaljenosti može se postaviti slična poluga, s drugim kontaktom, i tako završiti mjerenje vremena kretanja Atwoodova padostroja ili slobodnog pada.

Sa stvarima koje su došle iz Njemačke stigao je i Prandtl-ov stolac, slika 5.17. Na ploču se je stavljao malen stolac. Kad bi netko sjeo na stolac i imao u ruci drvenu letvu koja na kraju ima pričvršćen veći komad drveta (na slici označena izvučenom crtom), može se izvesti pokus koji objašnjava zakon o održa-



Sl. 5.15.: *Lom tvorničkog dimnjaka prilikom rušenja*



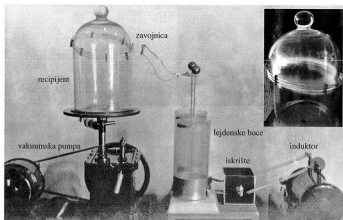
Sl. 5.16.: Atwoodov padstroj a) i klupica za otpuštanje utega ili kugle b)



nju momenta veličine gibanja. Ako se letva u kosom položaju počne zakretati u jednu stranu, onda se osoba na stolcu okreće u suprotnu stranu. Prof. Lopašić pokus je zvao *mačji rep* (mačka padne na noge jer okreće rep dok pada), a izveo ga je uvijek on sam, uz urnebesni pljesak auditorija. Ja sam jednom držao letvu koso i zamolio kolege da me malo zavrtne. Kad sam letvu podigao okomito u zrak brzina vrtnje povećala se je tako da sam pao i dobro se nabio. Doduše, ne dok sam predavao, nego većer prije.

Na slici se vide i dva utega. Ako se osoba na stolcu lagano zavrti dok drži ruke s utezima raširene, brzina okretanja naglo se povećava ako se ruke skupe. Naravno, prof. Lopa-

Sl. 5.17.: Prandtlov stolac



Sl. 5.18.: Pokus o zatvorenoj električnoj silnici

šić izvodio je i taj pokus i tumačio da se tako okreću klizači u pirueti.

Kao student elektrotehnike slušao sam predavanja prof. Josipa Lončara (*Osnovi elektrotehnike*) i prof. Danila Blauše (*Teorijska elektrotehnika*) u kojima smo slušali o Maxwellovim jednadžbama. Veza između struje i magnetskog polja te magnetskog polja i električnog polja opisana tim jednadžbama bila je u trećoj godini studija matematički jasna, no ilustracija pomoću pokusa o zatvorenoj električnoj silnici, slika 5.18, bila je pravo otkriće. U tom pokusu lejdenske boce i zavojnica s tri zavoja čine titrajni krug koji se napaja iz induktora preko iskrišta. Iz staklenog recipijenta isisa se zrak do tlaka od nekoliko desetaka paskala. Vikofrekventna struja u zavojnici stvara magnetsko polje, koje pak inducira električno polje sa silnicama u obliku kruga unutar recipijenta tik uz zavojnicu. To je polje dovoljno

jako da ekscitira atome zraka unutar recipijenta tako da počinju svijetliti. Vidi se jedan svjetleći prsten koji ilustrira zatvorenu silnicu električnog polja. Ako se na neki način mogu studentima ilustrirati Maxwellove jednadžbe, onda je to taj pokus.

U toku godina suradnici Zavoda nastavili su se i dalje skupljati svaki ponedjeljak i četvrtak oko šest sati. Nismo doduše više išli na Marulićev trg, već smo najprije vadili odgovarajuće stranice Tošoteke, a zatim stvari iz Zbirke, prenosili ih u veliku predavaonicu, slagali na stol i ispitivali da sve radi. Broj studenata prve godine stalno se je povećavao, pa je Tehnički fakultet 1956. godine razdijeljen na Elektrotehnički, Strojarski, Kemijski i Građevinsko-geodetski. I tad se je *Fizika* razdijelila, tako da se svako predavanje održavalo u tri turnusa. Predavanja prof. Lopašića počinjala su u 6 sati ujutro za studente

elekrotehnike i strojarstva, u 8 sati nastavio je Draško Gospodnetić za kemičare, a u 10 sati ja za građevinare i geodete. I to praktički uvijek s punom velikom dvoranom, studenti su znali često sjediti i na stepenicama dvorane, toliko su ta predavanja bila popularna.

Nisu samo studenti bili oni koji su profitirali na tim predavanjima, nego i mi svi, koji smo bili demonstratori i asistenti. Ne samo

da sam bolje shvatio niz fizikalnih zakona; neki od pokusa bili su za mene pravo otkriće. Osim toga, prof. Lopašić naučio me je predavati na njemu svojstven način, radeći pokuse kao uvod u izvođenje fizikalnih zakona ili ilustrirajući pojedine zakone pokusima. Od toga sam ja imao koristi u svojem nastavnom radu od preko četrdeset godina. Na tomu mu najljepša hvala.

Krešimir T. Herman, Svetko Milin* i drugi članovi AMCA-FA*

BIVŠI STUDENTI GRAĐEVINSKOG ODSJEKA TEHNIČKOG FAKULTETA O NASTAVI PROFESORA LOPAŠIĆA

^{1,2}Slobodni smo Vam kao predsjedniku organizacijskog odbora³, a u vezi s našim prijedlogom za skupštinu AMCA-FA od 10. siječnja 2010., prikazati svoju verziju teksta na spomen-ploči⁴ za profesora Lopašića koju na posebnom listu prilažemo ovom dopisu, te se osvrnuti na prijedloge uvaženih kolega iznesenih na sjednici Odbora od 11. veljače ove godine.

U pripremi našeg prijedloga za priključenje projektu Akademije tehničkih znanosti Hrvatske⁵ pomno smo razmotrili mjesto i

veličinu profesora Lopašića u našoj povijesti znanosti kao i u povijesti našeg Sveučilišta. U našoj je analizi sudjelovao dvadeset i jedan nekadašnji student profesora Lopašića s građevinskog odsjeka Tehničkog fakulteta, među kojim su tri redovita sveučilišna profesora, jedan doktor znanosti i više vrhunskih stručnjaka iz područja tehnike.

Naša najskromnija procjena govori da profesor Lopašić spada u velikane kakvi se pojavljuju u stoljetnim razmacima na sveučilištima ili općenito u znanosti. U našem Prijedlogu skupštine AMCA-FA istaknuli smo da je

predavanjima iz eksperimentalne fizike stekao svjetsku slavu nenadmašnog eksperimentatora i pedagoga,

te da je

čitav sustav nastave profesora Lopašića bio rani odgoj znanstvenih i istraživačkih kadrova u kojem su studenti učili i metode istraživačkih procesa,

demije tehničkih znanosti Hrvatske, održane 27. ožujka 2010. godine.

³ Redoviti profesor Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u mirovini.

⁴ Redoviti profesor Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u mirovini

⁵ Organizacijski odbor za proslavu obljetnice profesora Lopašića, predsjednik Odbora bio je prof. Zvonko Benčić.

¹ Spomen-ploča je otkrivena 19. studenoga 2010. u zali Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, u organizaciji FER-a.

² Projekt, na prijedlog Predsjedništva Akademije, nije dobio potporu na 25. godišnjoj skupštini Aka-



Sl. 5.19.: Korak prema Maxwelllovim jednačicama

a može se lako pokazati kadrovskom analizom i razvojem znanstvenih studija na Sveučilištu da je

nastava fizike koju je vodio profesor Lopašić bila inicijalni naboj za uspješni razvoj znanstvenih studija na tehničkim fakultetima sveučilišta.

Tražeci potporu za taj naš zaključak utvrdili smo da je sam profesor Lopašić postavio programske ciljeve koje je želio u svom djelovanju postići, a koji nadmašuju klasičnu nastavu na sveučilištu. U predgovoru svoje knjige *Predavanja iz fizike – elektromagnetsko polje*, prvo izdanje, profesor Lopašić o strukturi svojih predavanja među ostalim kaže i ovo:

Za svako od njih odaberu se i složne prikladni pokusi, ... i iz njihovih rezultata izvode se zaključci – isprva možda samo kvalitativni, ... i kvantitativni u obliku fizikalnih zakona. Zato su pokusi koje studenti na predavanjima dožive osnova i izvoriste svega što se izlaže – oni su bitni i integralni dio ovih predavanja.

Nadalje kaže:

Izložena načela vrijede općenito za eksperimentalni pristup u bilo kojem području fizike. ... a osobito je prikladan za MLA-

DE slušatelje jer im se tako razvija smisao za ZNANSTVENU metodu i izgrađuje se njihova fizikalna slika svijeta osnovana na vlastitom iskustvu, zbog čega ona postaje aktivna svojina svakog pojedinca, 'nenametnuta autoritetom nastavnika'.

Dakle, tu se radi o dubokom filozofskom promišljanju, koje valja još istražiti.

Općenito se može zaključiti, kako stoji u našem prijedlogu: »Pojava profesora Lopašića s njegovim predavanjima iz eksperimentalne fizike ostala je u najdubljem sjećanju svih studenata Tehničkog fakulteta kao događaj bez premca u povijesti našeg Sveučilišta. Nadarenost, istinska ljubav prema znanosti, poštenost i velika radna disciplina, te vjera u potrebu temeljite promjene u edukaciji tehničkih kadrova koji mogu voditi napredak svoje zemlje, urodili su fenomenom koji se može nazvati savršenstvom harmonije u odnosima studenata i njihovog profesora, odnosno u općem skladu nastavnog procesa. Nezapamćen je slučaj u povijesti nastave na europskim sveučilištima da preko osamsto studenata svih odsjeka tehničkih fakulteta dolazi stopostotno na nastavu bez primjene ma kakve represije ili uobičajene kontrole.«

6. NASTAVA I UDŽBENICI

Vladimir Knapp¹

PIONIRSKA ULOGA PROFESORA LOPAŠIĆA U NASTAVI FIZIKE ZA TEHNIČKE FAKULTETE SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Nastanak Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta

Početkom XX. stoljeća nastava i istraživački rad iz fizike odvijali su se u okviru Mudroslovnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu osnovana 1926. godine.

Sredina XX. stoljeća obilježena je osnivanjem niza institucija usmjerenih k fizici. To su najprije Prirodoslovno-matematički fakultet, odvojen od Mudroslovnog i utemeljen kao poseban fakultet 8. lipnja 1946. godine. Na Tehničkom fakultetu zagrebačkog sveučilišta Zavod za fiziku postaje 1944. samostalna nastavna jedinica izdvojena iz Zavoda za fizikalnu kemiju².

U skladu s rastućim industrijskim razvojem Hrvatske, Tehnički fakultet Sveučilišta dijeli se 1956. godine na četiri fakulteta: Arhitektonsko-građevinsko-geodetski, Stroj-

sko-brodograđevni, Elektrotehnički i Kemijsko-prehrambeno-rudarski. Odluku o podjeli donio je Sabor SR Hrvatske 26. lipnja 1956., a fakulteti su započeli s radom 1. srpnja 1956. Zavod za fiziku pripao je Elektrotehničkom fakultetu s izričitom obvezom rektorata Sveučilišta da taj Zavod ima i dalje davati nastavu iz fizike za novonastale tehničke fakultete.

Od 1956. godine Zavod za fiziku Elektrotehničkog fakulteta doista ispunjava vrlo opsežne nastavne obveze za sve tehničke fakultete, kojima se povećava broj studenata u skladu s tadašnjom intenzivnom industrijalizacijom zemlje. Krajem 60-ih godina na-

² Prema izvadku iz osobnika Franje Ivana Havličeka vidljivo je da je on imenovan za izvanrednog sveučilišnog profesora na Tehničkom fakultetu Hrvatskog sveučilišta 13. siječnja 1944. (odredba br. 2813-44). a nadstojnikom Zavoda za fiziku na Tehničkom fakultetu u Zagrebu imenovan je 11. veljače 1944. Dakle, postojeća Katedra za fiziku i fizikalnu kemiju koju je na Tehničkom fakultetu vodio prof. dr. I. Plotnikov do svog umirovljenja podijelila se u dva Zavoda. Na čelu Zavoda za fiziku bio je nadstojnik prof. dr. Franjo Ivan Havliček, a na čelu Zavoda za fizikalnu kemiju bio je nadstojnik prof. dr. Karlo Weber.

¹ Suradnik Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti. Posebno istaknuti profesor u trajnome zvanju, u mirovini, na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

stava je obuhvaćala oko 1200 studenata, u dva semestra. Profesor Lopašić, koji je od 9. ožujka 1950. do 30. lipnja 1956. radio u Zavodu za fiziku Tehničkog fakulteta, postao je prvi predstojnik novostvorenog Zavoda, s golemim zadatkom organizacije nastave fizike za tehničke fakultete (Elektrotehnički fakultet, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Građevinski fakultet, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Tehnološki fakultet, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu te Šumarski fakultet) kao i opremanja Zavoda demonstracijskim eksperimentima za predavanja te laboratorijskih praktikuma kroz koje je prolazio najveći dio studenata. Opseg nastave koju je davao Zavod za fiziku novostvorenog Elektrotehničkog fakulteta bio je usporediv s djelatnošću jednog cijelog fakulteta srednje veličine.

Temeljne koncepcije nastave Zavoda za fiziku

Tehnički fakulteti odgajaju stručnjake potrebne za industrije raznih usmjerenja. Danas je gotovo aksiom da su oni i znanstveno-istraživačke institucije, što potvrđuje najveći dio modernih tehničkih fakulteta. No vratimo li se natrag, vidi se da se je u prošlosti praksa mijenjala i razvijala ovisno o tehničkoj i industrijskoj razvijenosti zemlje. To je dakako potpuno razumljivo, jer su tehnički fakulteti nužno znatno više određeni neposrednim potrebama društva kojem služe nego npr. prirodoslovni fakulteti.

Ogromne promjene u našem društvu nakon razaranja u Drugom svjetskom ratu, brza početna industrijalizacija 50-ih i 60-ih godina, postupno uključivanje u moderne tehnologije i izvozna orijentacija 70-ih i 80-ih godina, te nestanak ili znatna redukcija glavnih industrija 90-ih godina, temeljne su odred-

nice koje su izravno ili neizravno određivale zadaće, pa time i nastavu tehničkih fakulteta, najprije u Jugoslaviji, a zatim u samostalnoj Hrvatskoj. Djelovanje tih odrednica vidi se jasno u koncepciji i razvoju nastave te time i nastave fizike na Elektrotehničkom fakultetu, odnosno na Fakultetu elektrotehnike i računarstva od 1995. godine.

U skladu s tri prepoznatljiva i distinktna razdoblja koja su na različite načine postavljala zahtjeve na koncepciju nastave, možemo razvoj nastave fizike u Zavodu za fiziku promatrati po periodima 1956.-1967., 1967.-1990. te poslije 1990. godine. Kao predstojnik Zavoda profesor Lopašić razvio je koncepciju nastave u prvom periodu, a njegov nasljednik profesor Vladimir Knapp u drugom periodu. Nedefinirane društvene potrebe i odsutnost dugoročne strategije razvoja otežavaju određivanje koncepcije nastave fizike u trećem periodu, poslije 1990. godine.

Razdoblje 1956.-1967.

Koncepcija nastave fizike za tehničke fakultete u tom periodu izgrađena je u skladu s potrebama rane i intenzivne industrijalizacije cijele savezne države. Postojala je velika potreba za kadrovima u elektrotehničkoj, strojarskoj i kemijskoj industriji koje su se pokretale i gradile. U takovu okruženju i razvojnoj euforiji bili su potrebni inženjeri koji će znati primijeniti struku.

Potrebe za razvojem struke u toj fazi bile su još u drugom planu. U skladu s tim potrebama Zavod za fiziku Elektrotehničkog fakulteta pod vodstvom profesora Lopašića i uz suglasnost vodećih profesora Elektrotehničkog fakulteta razvio je nastavu opće fizike, primarno klasične orijentacije, odgovarajuću tom razdoblju početne izgradnje industrija. Golem opseg nastave i opremanje nastavnih



SL.6.1.: Članovi Zavoda za fiziku oko 1970. godine. Sjede od lijeva na desno: asistent Pavao Krivačić, asistentica Vesna Kos, asistentica Branka Prih, domaćica Milica Martinjak i tajnica Renata Zadnovec. Stoje od lijeva na desno: tajnica Elza Krivačić, Tomislav Petković, Petar Kulišić, asistentica Darda Veselić, profesor Vatroslav Lopašić, domaćica Kata Krunik, laborant Pavel Vlašić, Tomislav Gjurić, Mile Baće, Višnja Henč-Bartolić i profesor Vladimír Knapp.

laboratorija Zavoda, za više od tisuću studenata, apsorbirao je najveći dio vremena predstojnika Zavoda Vatroslava Lopašića i njegovih suradnika (Pavao Krivačić, Tomislav Gjurić, Vesna Kos, Miroslav Sedlaček, Višnja Henč-Bartolić). Razvijena je nastava opće fizike popraćena dojmljivim demonstracijskim eksperimentima i laboratorijskim mjerenjima primjerena tehničkim fakultetima ranih poslijeratnih godina. Za studente koji su dolazili iz neadekvatno opremljenih srednjih škola su-

sreti sa zanimljivim i jasnim fizikalnim činjenicama ostali su mnogima urezani u pamćenje mnogih budućih godina.

Svojim demonstracijskim eksperimentima profesor Lopašić postao je svojevrсна legenda. Sasvim sigurno, studente je impresioniralo mjerenje brzine svjetlosti u tijeku nastavnog sata, pokazivanje u nekoliko minuta rotacije zemlje Foucaultovim njihalom, ali bilo je još mnogo dojmljivih demonstracija koje se pamte, kao prikaz silnica električnog i magnetskog

polja, ilustracija hidrodinamičkih zakonitosti lopticom koja «visi» na zračnom mlazu, strujanje tekućine u Helleshawovu uređaju, stojni valovi na užetu, te niz drugih. Uvijek su bili efektni prikazi sačuvanja momenta količine gibanja s asistentom Gjurićem, koji širi i prikuplja ruke s utezima na rotirajućem stolcu.

Gradoći na onom što je ostvario profesor Lopašić, u budućim godinama nastavu opće fizike nastavili su i razvijali suradnici Zavoda profesori Nikola Cindro, Petar Kulišić, Višnja Henč-Bartolić, Lahorija Bistričić, Tomislav Petković, Dubravko Horvat. Za nastavu opće fizike na tehničkim fakultetima napisali su desetak sveučilišnih udžbenika prilagođenih pojedinim fakultetima, kao i velik broj skripti i zbirki zadataka. Modernizirane su laboratorijske vježbe.

Nastava u razdoblju 1967.–1990.

U dvadesetak poratnih godina, nakon početnog ekstenzivnog razvoja industrije, postaje jasno da budući inženjeri moraju biti sposobni za razvoj svojih struka, želi li se pratiti razvoj tehnologije, razvijati nove proizvode i plasirati ih i izvan granica zemlje. Znanstveno-istraživački rad postaje nužna komponenta propulzivnih industrija kao što su to bile na primjer poduzeća Rade Končar, Nikola Tesla, Pliva, Prvomajska, Jedinstvo, Tvornica parnih kotlova, Jugoturbina, Radioindustrija Zagreb i druge. Iz toga su proizašli i novi zahtjevi na nastavu na tehničkim fakultetima, pa tako i na nastavu Zavoda za fiziku.

Godine 1965. na Zavod dolazi Vladimir Knapp s Instituta Ruder Bošković, s vizijom razvoja centra moderne fizike usmjerena na primjene. Uz suglasnost s profesorom Lopašićem znanstveni rad postaje bitna komponenta rada Zavoda, za što se brine profesor Knapp. Istovremeno čuva se i unapređuje i nastava

opće fizike za širok spektar korisnika uz prilagođavanje njihovim specifičnim potrebama.

Zbog bolesti 1967. godine profesor Lopašić povlači se iz najvećeg dijela nastavnih aktivnosti, pa ga je kao predstojnik Zavoda naslijedio profesor Knapp. Doprinos društvenom razvoju profesora Lopašića u periodu stvaranja Zavoda za fiziku u razdoblju od 1956. do 1967. neprocjenjiv je, kada se shvati da je kroz Zavod za fiziku prošla većina inženjera elektrotehničkog, strojarškog i tehnološkog usmjerenja koji su nosili ranu fazu industrijalizacije zemlje. Početkom 60-ih situacija se mijenja, završila je rana faza izgradnje. Vođe industrije orijentiraju se na izvoz, za što im je nužan razvoj, nezamisliv bez moderne fizike i kemije. U energetici zemlja se orijentira na visoku nuklearnu tehnologiju.

Godine 1970. republike Hrvatska i Slovenija dogovaraju se za gradnju dviju nuklearnih elektrana. Razvoj elektrotehnike temelji se u velikoj mjeri na novim materijalima, kao i na računskim metodama. Postalo je nužno u nastavu fizike uvesti poznavanje osnova moderne kvantne fizike, bez kojih ni razumijevanje ni primjena novih razvoja nije moguća. Opet, kao odgovor na promijenjene nove potrebe društva, novi predstojnik profesor Knapp razvija koncepciju nastave moderne fizike utemeljene na dostignućima XX. stoljeća. U realizaciji pomaže nekoliko aktivnih znanstvenika, suradnika Instituta Ruder Bošković: Petar Colić, Mile Baće (1967.), Nikola Cindro (1969.), Petar Kulišić (1972.) i Dubravko Pevec (1979.).

Pozivom na primjere modernih elektrotehničkih fakulteta u svijetu, kao i predviđive naše potrebe, profesor Knapp obrazlaže Fakultetskom vijeću Elektrotehničkog fakulteta temeljnu orijentaciju u nastavi moderne fizike Zavoda. Nastava i znanstveni rad išli bi u dva smjera: fizika materijala i primijenjena nuklearna fizika. Uz podršku Fakultetskog vijeća

razvija se nastava moderne fizike te znanstveni rad s načelnim opredjeljenjem prema primjeni u elektrotehnici. Nastava za tehničke fakultete i znanstveni rad koji se povezuje s primjenom postale su osnovne odrednice Zavoda za primijenjenu fiziku, kako se on naziva od 1994. godine, da bi se jasnije izrazila temeljna orijentacija.

Pored nastave opće fizike za sve tehničke fakultete, nastavnim planom (ETF4) uvedena je nastava moderne fizike primjerena suvremenom elektrotehničkom fakultetu. U trećem semestru ona je obuhvaćala električna i magnetska svojstva materijala polazeći od kvantno-mehaničkih osnova, a u četvrtom osnove nuklearne fizike. Time su stvoreni osnovi za razumijevanje fizikalnih svojstava novih materijala u elektrotehnici, kao i novih perspektivnih izvora energije, nuklearne fisije i fuzije. Nastava iz fizike materijala bila je dobra podloga za kolegije Elektronički elementi i Elektrotehnička tehnologija. Nastava nuklearne fizike uklopila se pak u nastavu iz nuklearne energetike, koju je na inicijativu profesora Knappa fakultet pokrenuo 1976. godine.

Nakon polugodišnjeg studijskog boravka u Japanu (1974., Odjel nuklearnog inženjerstva Sveučilišta u Tokiju, Dept. of Nuclear Engineering, University of Tokyo) profesor Knapp 1976. godine uz podršku Hrvatske elektroprivrede i Ministarstva energetike priprema nastavni program, te u suradnji s fakultetskim kolegama inicira uvođenje usmjerenja *Nuklearna energetika*. Usmjerenje počinje nastavom akad. god. 1978./79. Za tu nastavu Zavod je razvio i predavao nekoliko kolegija u kojima je fizika imala bitnu ulogu kao *Uvod u nuklearnu fiziku*, *Gorivi ciklusi*, *Djelovanje i zaštita od zračenja*. Oba su nastavna usmjerenja, Elektrotehnički materijali i Nuklearna energetika, bili praćeni pisanjem udžbenika, prva u svojem području, i znanstvenim radom

Nastava 90-ih godina

Na žalost, koncepcija uvođenja nastave moderne fizike koja je odgovarala na razvojne potrebe proizlazila iz njih u našoj elektrotehničkoj industriji 70-ih i 80-ih godina, postala je upitna nakon što je nestala ili nakon što je znatno reducirana naša elektrotehnička i druga industrija 90-ih godina, a dogovorena gradnja druge nuklearne elektrane Prevlaka zaustavljena po odluci Savezne skupštine u Beogradu 1987. godine.

Za nuklearnoenergetsko usmjerenje Zavod je davao nastavu iz niza specijaliziranih kolegija na dodiplomskoj i poslijediplomskoj razini. Iako je i to usmjerenje trpjelo zbog zabrane gradnje nuklearne elektrane Prevlaka, ostale su svejedno potrebe školovanja inženjera pripremljenih za pogon i održavanje nuklearne elektrane Krško, kao i za unapređivanje sigurnosti. Školovano je više desetaka nuklearno usmjerenih inženjera, izrađeno tridesetak doktorata te danas Hrvatska ima dovoljno stručnjaka za razvoj i održavanje nuklearne sigurnosti, ravnopravno upravljanje i održavanje nuklearne elektrane Krško kao i za daljnji nuklearnoenergetski razvoj.

Velik je nastavni i znanstveni doprinos Zavoda u složenim reaktorskim proračunima potrebnima za upravljanje gorivom reaktora kao i u proračunima nuklearne sigurnosti i spremanja istrošenog goriva. Pored aktivnosti u nuklearnoj energetici Zavod se radovima profesora Petra Kulišića, a poslije i drugih, uspješno uključio u novu problematiku iskorištavanja sunčane energije.

Fizika materijala našla se je u posebno teškoj situaciji. Nestale su ili su znatno reducirane industrije kao Rade Končar, Radiointerijera Zagreb, a poduzeće Nikola Tesla prodano je švedskoj tvrtki Ericsson. Elementarni razvoja drastično je reduciran kao i sama elektroindustrija. Tijesna veza između Elek-

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET - ZAGREB
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

DODJELJUJE

P L A K E T U

Prof. dr VATROSLAVU LOPAŠIĆU

U ZNAK PRIZNANJA

ZA DOPRINOS RAZVOJU I UNAPREĐENJU
ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA

U POVODU PEDESET GODIŠNJICE
STUDIJA ELEKTROTEHNIKE U HRVATSKOJ
(1919-1969)

ZAGREB, 21. STUDENOGA 1969.

Prof. dr ing. HRVOJE POŽAR



Sl. 6.2.: Plaketa prof. Lopašiću za razvoj i unapređenje Elektrotehničkog fakulteta

Povodom sedamdesete obljetnice osnivanja
TEHNIČKE VISOKE ŠKOLE U ZAGREBU

Arhitektonski fakultet
Elektrotehnički fakultet
Fakultet građevinskih znanosti
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Geodetski fakultet
Rudarsko-geološko-naftni fakultet i
Tehnološki fakultet
Sveučilišta u Zagrebu

dodjeljuju

POVELJU

za izuzetan doprinos razvoju tehničkih znanosti

Prof. dr. Vatroslavu Lopašiću

U Zagrebu, 18. XII 1989.

Rektor
prof. dr. Zvonimir Šeparović



trotehničkog fakulteta i tih industrija, u koje je odlazio najveći dio naših elektroinženjera, nestala je, a predviđanja budućih potreba postala su, bez ma kakve jasne dugoročne državne strategije razvoja, nemoguća. Nastava Zavoda za fiziku od 1956. godine, planirana i razvijana za razvoj i potrebe društva jer je to njen osnovni smisao, našla se 90-ih godina u periodu kada je razvoj zapravo obustavljen, a društvene potrebe za stručnjacima postale sasvim nejasne i smanjene. Rat i smanjenje internog tržišta samo su djelomično opravdanje za golemu štetu nastalu deindustrijalizacijom zemlje. Dok nuklearnoenergetski orijentirani članovi Zavoda pod vodstvom profesora Dubravka Peveca povezuju svoju nastavnu i znanstvenu aktivnost s radom elektrane Krško, nastava fizike materijala ozbiljno je ugrožena zbog zastoja razvoja. Velik se napor ulaže da se održi ostvareno. Vrijedni članovi Zavoda, profesorica Lahorija Bistričić te profesorica Vesna Borjanović sa suradnicima, prate razvoje u svijetu i uključuju se i njih, nastoje očuvati postignute napretke, uključuju se u međunarodnu znanstvenu suradnju, ali u zemlji teško nalaze korisnike i sugovornike.

*Dubravko Horvat*²

UDŽBENICI PROFESORA LOPAŠIĆA

Preda mnom, na stolu, nalazi se povećana hrpa platnom uvezanih knjiga, većeg formata, ponešto starinskog izgleda. Na sivom, zelenom ili plavom platnu otisnuto je ime

² Redoviti profesor, Zavod za primijenjenu fiziku, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

ke. To se, dakako, odražava i na zanimanje studenata. Treba se nadati da je najteži period za nama i da će rastuća svijest o nužnosti reindustrijalizacije promijeniti sadašnju veoma nepovoljnu perspektivu. U nepovoljnoj gospodarskoj situaciji primjena bolonjske reorganizacije nastave nije dala dobre rezultate štoviše, model studija 3+2 godine osiromašio je sadržaj nastave, posebno fizike.

Predstojnici Zavoda za primijenjenu fiziku od 1945. do 2011.

Profesor Franjo Havliček 1944.-1950.

Profesor Vatroslav Lopašić 1950.-1967.

Profesor Vladimir Knapp 1967.-1982., 1984.-1986., 1988.-1992.

Profesor Petar Kulišić 1982.-1984., 1986.-1988., 1992.-1994.

Profesor Dubravko Pevec 1994.-1998., 2000.-2004.

Profesor Mile Baće 1998.-2000.

Profesor Tomislav Petković 2004.-2008.

Profesorica Lahorija Bistričić od 2008.

autora: Prof. Vatroslav Lopašić, a zajednički naslov svih tih knjiga jest *Predavanja iz fizike*. Razlikuju ih tek rimski brojevi I, II, III i IV. Uz njih, nalazim i njihovu broširanu verziju, uz skripta *Mjere i mjerenja u fizici*. Otvorivši prvu, sivo ukoričenu knjigu, vidim požutjeli papir, ispisan sada već zaboravljenim fontom pisaćega stroja, pa me ne izne-

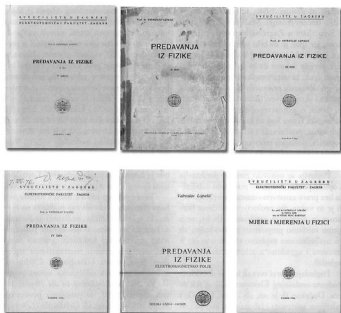
nađu je ni godina 1958., uz naznaku da se radi o trećem izdanju. Malo iznad toga znak je Sveučilišta u Zagrebu, napisan na hrvatskom, jer ipak je to bilo jedno drugo doba, kad je latinski jezik na grbu Sveučilišta bio ipak previše crkven da bi ga se moglo tolerirati. Ipak, ta nam oznaka obznaniuje da je knjigu udžbenik prihvatila Komisija za udžbenike i skripta Sveučilišta u Zagrebu. Radi se, dakle, o jedinstvenoj zbirci sveučilišnih udžbenika fizike koji su kroz dugo razdoblje djelovanja, poučavanja i istraživanja prof. V. Lopašića, doživjeli promjene uz poneka proširenja i dotjerivanja, ali osnovna struktura i poruka tekstova ostala je ista.

Postavlja se osnovno pitanje: predstavlja li opus ispred mene samo povijesnu zabilješku bez prave znanstveno-nastavne vrijednosti, ili je to važan dio evolucije sveučilišne literature iz prirodnih znanosti – fizike, te u njemu možemo prepoznati prethodnike, ali i u nasljednicima možemo vidjeti ono što je preuzeto i ugrađeno u tekstove modernijeg izgleda?

Pogledajmo prvi svezak koji je dočekivao studente ondašnjeg Elektrotehničkog fakulteta. Dočekao ih je on, ali i prof. Lopašić s galerijom asistenata i laboranata, koji su pripremali glasovita predavanja s pokusima u dvorani B1 nove zgrade fakulteta u današnjoj Vukovarskoj aveniji. Ta predavanja pamte i studenti strojarstva iz vremena kada fizika još nije bila necivilizacijski prognana iz kurikula strojara i brodograditelja. Zanimljivo je slijediti teme, njihovo uvođenje i njihov prikaz pri listanju požutjelih stranica. Ovdje nema šarenih slika, tako poznatih iz američkih udžbenika iz fizike, koje često sliče na reklame za »shopping centre« i koje nas pokušavaju nagovoriti da se upustimo u čitanje teksta i razumijevanje formula. Upada u oči konciznost opisa fizikalnih situacija iz kojih se, neizbježno pokusom, izvlači zaključci koji

će dovesti do matematičkog odnosa iz kojeg slijedi (fizikalni) zakon po kojem se pokus i odvijao. Jednostavni crteži odmah nas podsjećaju na ono što smo vidjeli sjedeći u prepunoj dvorani B1: vidimo asistente i laborante (koje nadvisuje prof. Lopašić), vidimo instrumente, brojeve u tablicama, jednakosti, istaknutu završnu formulu, izraslu iz mjerenih podataka. Tekst se odvija, razumljivo i lako, kao i pokusi, a i kako bi bilo drugačije kada je taj pokus dan prije (ili večer, ili noć) bio izveden toliko puta dok nije sve išlo onako kako to studenti zavređuju vidjeti. Naime, bila je onda čast biti student Elektrotehničkog fakulteta na Sveučilištu u Zagrebu i bila je čast biti na predavanju prof. Lopašića i učiti fiziku i stjecati znanja o svijetu oko nas.

Takav pristup izboru tema i načinu njihova donošenja odmah nas podsjeća na njemačke tekstove koji se, nedirnute godinama, nalaze na najvišim, nedostupnim policama naših (zavodskih) knjižnica, gurnuti tamo jezičnom barijerom i neatraktivnim izgledom tiska, teksta i ilustracija. Cijeloj toj zbirci sveučilišnih udžbenika autora poput R. W. Pohla (*Einführung in die Physik*, 14. izd., Berlin, 1959., uz predgovor prvom izdanju 1930. godine), G. Gehlhoffa (*Lehrbuch der Technischen Physik*, Leipzig, 1924.) ili W. H. Westphala (*Physik, ein Lehrbuch*, 11. izd., Berlin, 1944., uz predgovor prvom izdanju od 1928. godine), sasvim prirodno odgovara zbirka knjiga na mojem stolu. Uostalom, radi se o (klasičnoj) fizici, o onom što su svi ti ljudi, pa tako i naš Lopašić, duboko razumjeli, promišljali i pažljivo donijeli na najbolji mogući način: pokus nas vodi kroz pomena mjerenja, na odnose koji nas gotovo prisiljavaju da donesemo jedini mogući zaključak, a to je fizikalni zakon iskazan simbolima i matematičkim odnosima. I to sve pred pažljivim auditorijem studenata koji dišu zajedno s eksperimentatorima, pokušavaju zajedno s



Sl. 6.4.: Naslovnice udžbenika: *Predavanja iz fizike* i *Mjere i mjerenja u fizici*

njima otkriti još jednom nešto novo. Takav pristup proteže se kroz cio opus, čak i u dijelovima moderne fizike, kada se takav pristup pomalo mora napustiti.

U pokusima prepoznajemo slike iz starih kataloga tvrtke Phylwe AG Goettingen – isti stabilni stalci od crnog lijevanog željeza, optička klupa od metala na golemom tronošću, teška i nespretna, ne previše atraktivna u današnje doba crvenih i zelenih aluminijskih stalaka, spojnica i poluga. Ali, ti su stalci nre-

živjeli sedamdesetak godina i još dobro služe, a šarene, lijepe, mijenjamo kao demodirane hlače.

U tekstovima bismo možda radije vidjeli više zanimljive matematike, malo više (fizičke) apstrakcije, više ležernosti, za razliku od »njemačke« strogosti, jer tako nas je naučila moderna nastava, ali suština je fizike tu: redaju se pokusi, formule, zakonitosti, isprepliću se razna područja fizike, stvara se jedinstven pogled na svijet – valovi svjetlosti

spominju se u mehanici, naboj u teoriji gravitacije, toplina i temperatura u akustici. Sve se nekako slaže u jednu cjelinu – cijela je fizika tu. Jasno je, posebno iz primjerka knjige koji imam pred sobom, koji je prepun minucioznih bilješki, izvoda, napomena i skica dipl. inž. Tomislava Gjurica, dugogodišnjeg bliskog suradnika prof. Lopašića, da je postojala čvrsta veza između više komponenata procesa nastave fizike: predavač, student, pokus, bilješke, izvodi, objašnjenja, skripta, praktikum, ispit na kojem se doista traži sveukupnost znanja upijanih tijekom semestra i, konačno, ocjena kao kruna svega, koja odražava sve ono što je počelo u dvorani B1. Kako je malo toga ostalo, ne samo u fizici, u ovo tragikomično *bolonjsko* vrijeme, kada je znanje postala trećerazredna roba, a bodovi i rangliste postali su glavni ciljevi boravka u prostorima fakulteta. Možda bi tvorci današnje verzije studija, a koji se ipak možda vraća pravijim vrijednostima, drugačije proveli reformu koja nas je tako strašno unazadila, da su imali strpljenja pogledati opus s mog stola: vidjeli bi golemu vrijednost stvaranu u vrijeme kada je teško bilo napisati stranicu teksta bez mogućno-

sti *dilitanja*, kopiranja ili *pejstanja*. Vidjeli bi da znanje vrijedi, da su vještine prolazne i da treba mnogo muke, rada i strpljenja da se postigne neko veliko Nešto. Vidjeli bi da u svemu tome ima pravde, da je znanje izraslo iz rada koji se prepoznaje i u ovim tekstovima, upravo ono znanje koje nam omogućuje sve ugodnosti današnjeg modernog načina života.

U takvu današnjem tempu života, opus prof. V. Lopašića ostaje pomalo spomenik jednom vremenu i jednom pristupu fizici koje je uz svu matematičku jednostavnost i neposrednost imao mnogo šarma. Taj opus pripada vremenu *vinila* kada je cilj cijelog dana bio staviti *plejku* (na 33 okretaja) i u polumraku sobe, uživati u tekstovima nekih avangardnih akrobata koji su pisali o zakrivljenim prostorima, o tamnoj tvari i ubrzanom širenju svemira, o svijetu s pet i više (čak jedanaest) dimenzija i tvrdili da se sve sastoji od nekakvih struna koje titranjem stvaraju svijet u kojem živimo. Ali bez tog vremena današnjeg ne bi bilo, pa zato prolistajmo pažljivo i s poštovanjem knjige čiji je autor naš prof. Vatroslav Lopašić.

Vatroslav Lopašić

RUKOPIS ZADATAKA IZ FIZIKE

U rukopisu nađeni su zadaci numerirani sa zadnjim brojem 78. Zadataka 1–22 i 37–58 nema. Također nije sigurno da li je zadatak 78 zadnji. Ti zadaci nalaze se na CD-u. Nađeni zadaci su iz mehanike, optike i atomske strukture tvari.

7. SURADNIK *UJEVIĆEVE HRVATSKE ENCIKLOPEDIJE*

Zvonimir Jakobović¹

1 Profesor Vatroslav Lopašić uz ostalu publicističku djelatnost bio je i suradnik u petom svesku *Hrvatske enciklopedije*, u izdanju *Hrvatskog izdavačkog bibliografskog zavoda* iz Zagreba, kojoj je glavni urednik bio ugledni hrvatski leksikograf dr. Mate Ujević (1901.–1967).² *Hrvatska enciklopedija* pokrenuta je 1938. godine, a najavljena promidžbenom knjigom 1940. godine, s predviđenih dvanaest svezaka³.

U toj, naknadno razgovorno nazivanoj *Ujevićevoj Hrvatskoj enciklopediji*, objavljeno je samo pet svezaka: 1. svezak (A – Automobil) i 2. svezak (Autonomasi – Boito) objavljeni su 1941. godine, 3. svezak (Boja – Cleveland) i 4. svezak (Cliachit – Diktis) 1942. godine, a 5. svezak (Dilatacija – Električna) 1945. godine⁴. Prva su četiri sveska dakle objavljena već 1941., odnosno 1942. godine, a kako je njihova izradba morala trajati nekoliko go-

dina, morali su biti pripremani uglavnom prije Drugog svjetskog rata. Peti je svezak pripreman tijekom rata, jer se njegovo objavljivanje protegnulo do početka 1945. godine. Taj je svezak otisnut u proljeće, uvezan je u samo nekoliko stotina primjeraka, pa je danas rijetkost. Rad na *Hrvatskoj enciklopediji* obustavljen je, pa će proći više od pola stoljeća do pojave nove *Hrvatske enciklopedije* u jedanaest svezaka (1999.–2009.) u izdanju *Leksikografskoga zavoda Miroslav Krleža*.

UJEVIĆEVA HRVATSKA ENCIKLOPEDIJA

U *Ujevićevoj Hrvatskoj enciklopediji* urednik za struku *Fizika* bio je prof. dr. Stanko Hondl⁵, a u petom svesku autor nekoliko članaka bio je i profesor Lopašić.

Unutar članka *DULONG, Pierre Louis* (str. 422–423), za čiji je kratak uvodni dio potpisan *St. H.* (prema popisu suradnika na početku sveska to je Stanko Hondl) nalazi se odjeljak *Dulongovo i Petitovo pravilo*, u opsegu gotovo jednoga i pol stupca, potpisano

¹ Umirujući leksikografski savjetnik i veleučilišni profesor fizike.

² Mladen Švab, *Mate Ujević, utemeljitelj suvremene hrvatske enciklopedije. Radovi IZMK, br. 2, Zagreb 1992.*, str. 9–73.

³ Mladen Švab, *Iz povijesti hrvatske enciklopedike – Hrvatska enciklopedija. Radovi IZMK, br. 1, Zagreb 1991.*, str. 79–83.

⁴ Švab daje i nadnevak objavljivanja: 2. svibnja 1945.

⁵ Akademik Stanko Hondl (1873.–1971.), redoviti profesor i pročelnik Fizikalnoga zavoda Mudroslovnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

V. L-č (tj. Vatroslav Lopašić). U njemu je obrađena jednakost *atomske topline* (tj. *mnogiinski toplinski kapacitet*) čvrstih tvari pri višim temperaturama, proširenjem i na Koppovo pravilo, a tekst je sveobuhvatan: u svjetlu klasične statistike (stare kinetičke teorije topline), Einsteinove primjene kvantne teorije, Debyeova zakona, Bornove teorije i Fermijeve statistike. Članak je ilustriran grafičkim prikazom ovisnosti *atomske topline* dijamenta o temperaturi.

Za naše je razmatranje osobito zanimljiv posljednji, nedovršen makročlanak u petom svesku, *ELEKTRIKA* (str. 683 – 738) na 55 enciklopedijskih stranica. To je i posljednji makročlanak u *Ujevićevoj Hrvatskoj enciklopediji*. Na početku makročlanka piše:

«Članci iz elektrike obrađeni su i podijeljeni u tri skupine: I. Električna u fizici i kemiji; II. Električna u medicini; III. Električna u tehnici (elektrotehnici).»⁶

Na kraju makročlanka stoji napomena:

«III. ELEKTRIKA U TEHNICI (ELEKTROTEHNIKA) obrađena je u VI. sv. HE.»

Kako je već rečeno, sljedeći svesci nisu više pripremani i objavljivani, tako da smo uskraćeni za prikaz struke *Elektrotehnika* u *Ujevićevoj Hrvatskoj enciklopediji*. Ne zna se je li taj treći dio možda već bio pripravljen, niti tko bi mu bili autori.

Dvodijelni makročlanak *Električna* u 5. svesku čine dvije skupine neovisnih članaka, unutar svake skupine abecedno poredani. Prva skupina (*I. ELEKTRIKA U FIZICI I KEMIJI*), sadržava 39 pojedinačnih članaka i 2 slijede uputnice, a druga (*II. ELEKTRIKA U MEDICINI*) sadržava 10 pojedinačnih članaka. Članci su različitih opsega, od samo dva retka do nekoliko enciklopedijskih strani-

ca. Svi su članci potpisani kraticama imena i prezimena autora, a njihovo je značenje dano u popisu suradnika na početku sveska. Članke u *Elektrici* potpisuje jedanaest autora. To su (abecednim redom imena, uz opise kakvi su u popisu):

- Dušan Pejnović dr., sveuč. profesor,
- Ivan Filipović, ing. kem., viši rudarski inženjer,
- Josip Lončar dr., sveuč. profesor⁷,
- Jozo Budak dr., sveuč. profesor,
- Lovro Bosnić dr., sveuč. profesor,
- Marin Katalinić dr., sveuč. profesor,
- Mladen Deželić dr., sveuč. profesor,
- Petar Jurišić dr., sveuč. profesor,
- Rikard Hauptfeld dr., sveuč. profesor,
- Stanko Hondl dr., sveuč. profesor,
- Vatroslav Lopašić dr., sveuč. profesor.

Svi su suradnici, osim jednoga, doktori znanosti i sveučilišni profesori. To su redom bili tada poznati vrhni stručnjaci za područja o kojima su pisali, svi iz Zagreba. Profesor Lopašić (u člancima potpisan V. L-č), napisao je u prvoj skupini dva opsežna članka, *Električne jedinice* i *Elektron*, koje podrobnije opisujemo.

ČLANCI PROFESORA LOPAŠIĆA

«ELEKTRIČKE JEDINICE» (str. 687–690) jedan je od opsežnijih članaka (obuhvaća gotovo tri enciklopedijske stranice), a možda je najteži dio makročlanka *Električna*. Valja se sjetiti da je to doba u kojem se upotrebljavalo nekoliko različitih sustava ili skupina električnih mjernih jedinica, mnoge čak pod jednakim nazivima. Bez poznavanja

⁶ Izvorni nazivi, koji se pravopisno ili drugačije razlikuju od današnjih, dani su unutar znakova navoda.

⁷ Vidi: Z. Jakobović, *Josip Lončar kao pisac lektivskih i enciklopedijskih članaka. Radovi LZMK, knj. 9, Zagreb 2000., str. 147–151.*

razvoja električnih mjernih jedinica današnji stručnjak gotovo se ne može snaći u ondašnjoj literaturi. Proći će još gotovo četiri desetljeća do potpunoga usvajanja *Međunarodnoga sustava mjernih jedinica (SI)*⁸.

Osim uvodnoga dijela, članak se sastoji od triju dijelova:

1. Absolutni sustavi električnih jedinica,
2. Empirički sustavi mjernih jedinica,
3. Moderni sustavi jedinica,

a završava popisom literature.

Iz članka i popisa literature vidi se kako je profesor Lopašić bio dobro informiran o nastajanju *Giorgijeva sustava mjernih jedinica*⁹, preteče današnjeg *Međunarodnog sustava*. Spominje knjigu G. Oberdorfera, *Lehrbuch der Elektrotechnik I*, iz 1944. godine, objavljenu dakle samo godinu dana prije objavljivanja toga članka! Morao je obraditi i starije sustave, jer su se u ondašnjoj literaturi još upotrebljavali. Samo oni najnapredniji rabili su tzv. *moderne sustave jedinica*¹⁰.

U uvodnom dijelu članka profesor Lopašić, kao vrstan metodikar, jezgrovito je prikazao i razmrsio te različite pristupe električnim mjernim jedinicama. Niti danas, sa svim iskustvima u razvoju električnih mjernih jedinica, to se ne bi moglo jasnije prikazati. Prvo ukazuje na polaznu činjenicu, kako bi se za svaku električnu veličinu mogla definirati samostalna jedinica¹¹. Stoga se između mjernih veličina mogu postaviti *posebne jednadžbe* prilagođene nekom naročitom izboru jedinica (danas ih nazivamo *prilagođenim jednadžbama*). Potom ukazuje kako se jednadžbe između jedinica

mogu uspostaviti bez obzira na izbor mjernih jedinica, a naziva ih »*običnim jednadžbama*«, koje su »*racionalnog* ili Lorentz-Heavisideova oblika» (danas ih nazivamo *veličinskim jednadžbama*). Za primjer daje Coulombov zakon u veličinskom obliku, kako ga i danas pišemo (tako da vrijedi za bilo koji skladni sustav mjernih jedinica):

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

gdje su F sila, e_1 i e_2 naboji, ϵ dielektričnost sredstva (onda još nazivana *dielektričnom konstantom*), a r udaljenost između nabojâ. Zaključuje da se sustavi elektromagnetskih jednadžbi mogu prema povijesnom razvoju razvrstati kao »*apsolutni, empirijski i moderni*«.

U **apsolutnim sustavima mjernih jedinica** prikazuje a) elektrostatki CGS-sustav, b) elektromagnetski CGS-sustav, c) miješani sustav električnih CGS-jedinica i d) apsolutni praktički sustav.

Upozorava na to da se u elektrostatkom CGS-sustavu upotrebljavaju jednadžbe u *običnom obliku* koji se od *općeg oblika* razlikuju položajem faktora 4π . On se premješta u druge jednadžbe, pa tako Coulombov zakon glasi:

$$F = \frac{e_1 e_2}{\epsilon r^2}$$

U tu se jednadžbu uvrštavaju *brojčane vrijednosti veličina* izraženih samo određenim mjernim jedinicama (brojčane vrijednosti naboja e u elektrostatskim jedinicama naboja, dielektričnosti ϵ u jedinici dielektričnosti u tome sustavu, a udaljenost r u centimetrima, pa će F biti brojčana vrijednost sile u dinima).

Slijede i drugi primjeri jednadžbi u elektrostatkom i elektromagnetskom sustavu, svaka-

⁸ Vidi: Z. Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica Štolska knjiga*, Zagreb 2008.

⁹ Vidi: M. Brezinčak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti. Tehnička knjiga*, Zagreb 1971.

¹⁰ U nas među prvima profesor Josip Lončar.

¹¹ Vidi: Z. Jakobović, *Leksikon mjernih veličina. Štolska knjiga*, Zagreb 2009.

ko za današnjega fizičara i elektrotehničara vrlo zamršenih odnosa.

U miješanom sustavu električnih CGS-jedinica električne veličine se izražavaju elektrostatskim CGS-jedinicama, a magnetske veličine elektromagnetskim CGS-jedinicama. Upozorava na to da se taj sustav održao u teorijskoj fizici »do danas«, a da se u njemu upotrebljavaju izvedene mjerne jedinice bez oznake jedinice dielektričnosti ili magnetske permeabilnosti, pa je, na primjer, jedinica električnoga kapaciteta *centimetar* (a jednako je tako bila i za induktivnost). Današnji će se mlađi stručnjak vjerojatno začuditi kada nađe kondenzatore iz prve polovice XX. st., kojih je kapacitet dan u *centimetrima*!

Apsolutni praktični sustav zamišljen je za primjenu u elektrotehničkoj praksi. U članku se daju odnosi apsolutnih i CGS-jedinica, a ovdje se za ilustraciju navode samo tri:

- aps. volt = 10^9 elektromag. CGS-jedinica,
- aps. amper = 10^{-1} elektromag. CGS-jedinica,
- aps. om = 10^9 elektromag. CGS-jedinica, itd.

U empiričkim sustavima električkih jedinica utvrđuje kako su te jedinice prikladnije za praksu, a uvode se temeljem međunarodnih dogovora (počevši od *Međunarodnog skupa elektrotehničara* u Chicagu 1893. godine), pa se stoga nazivaju *međunarodnim* ili *internacionalnim* jedinicama. Pri tome je vrlo zanimljiva napomena dana na kraju toga dijela članka, koja je dokument tadašnjega stanja u električnim mjernim jedinicama, pa se stoga donosi u cijelosti i to onako kako je u izvorniku; jer danas bismo neke riječi pisali drugačije¹²:

»Napomena. Izvršni organ međunarodne metarske konvencije Glavni savjet za mjere i uteze zaključio je g. 1933 na prijedlog nje-

mu podređenog Odbora za mjere i uteze, da se imaju uvesti namjesto međunarodnih praktičnih jedinica absolutne praktične. Istodobno je ovlastio spomenuti odbor, da odredi dan, kad ima ta promjena nastupiti. Taj je zaključak obvezan za sve države, koje su pristupile metarskoj konvenciji. Odbor za uteze i mjere zaključio je g. 1935 da se 1. siječnja 1940 ima prići na absolutne jedinice. U tom je smislu trebalo promijeniti zakone o e-im j-ma izdane u državama metarske konvencije. Nastali rat spriječio je da se provede ta promjena, pak su još i danas (1945) u krepости međunarodne praktične jedinice. Međutim, s obzirom na dobro poklapanje međunarodnih praktičnih jedinica s absolutnima ta bi promjena bila za obična električna mjerenja bez ikakvih posljedica. Razlike bi se opazile tek kod mjeračkih metoda s pogriješkom manjom od 1‰.«

Profesor Lopašić dalekovidno upozorava kako jedinice treba ostvariti »zgodnim normalama«. Ukazujući na male razlike između normala, tj. etalona, apsolutnih i međunarodnih jedinica, upozorava na bit te razlike:

»Nije toliko znatna razlika u veličini tih brojeva kojima se definiraju int praktične jedinice, koliko u njihovu značaju. Stari su brojevi dio definicije, pa zato nepromjenljivi, a ovi rezultati mjerenja, i popravljat će se, kako bude napredovala tehnika mjerenja.«

U modernim sustavima jedinica opisuju se: a) Giorgijev sustav i b) Kalantarovljev sustav¹³. U opisu *Giorgijeva sustava mjernih jedinica*, koji se u početku osnivao na jedinicama

¹² U tom se odjeljku nalazi i vrlo važan podatak »danas (1945)«, što znači kako je članak uređivan još samo malo mjeseci prije objavljivanja!

¹³ Sustav mjernih jedinica, osnovan na jedinicama duljine, vremena, električnoga naboja i magnetskoga toka, koji je 1929. godine predložio P. L. Kalantarov (1892. – 1951.), sovjetski znanstvenik, pisac niza knjiga iz teorijske elektrotehnike (profesor Lopašić piše *Kalantaroff*, vjerojatno prema njemačkoj literaturi).

metar, kilogram, sekunda i om, upozorava na činjenicu kako bi se načelno jedinice mogle odabrati po volji, na što su u to doba upozoravali samo najnapredniji mjeritelji. Tako je profesor Lopašić bio na tragu razvoja sustava mjernih jedinica, jer će se iz Giorgijeva sustava MKSA, prvotno prihvaćena u elektromagnetizmu, a potom 1948. i za druga područja, kroz samo malo više od deset godina razviti današnji *Međunarodni sustav mjernih jedinica (SI)*, osnovan na metru, kilogramu, sekundi i amperu, te još trima osnovnim jedinicama za posebna područja (kelvin, mol i kandela), a međunarodno prihvaćen 1960. godine.

Osim sa svoje povijesne važnosti, članak profesora Lopašića *Električne jedinice* može poslužiti svakomu tko želi razumjeti razvoj elektrotehničkih mjernih jedinica.

»ELEKTRON« (str. 708 – 712) također je jedan od opsežnijih članaka (obuhvaća gotovo četiri enciklopedijske stranice), a započinje uputnicom na čestice elemenata¹⁴. U uvodnom dijelu prikazuje se povijest otkrića elektrona, s opisom da je elektron »*krbčina atoma*«. Dijelovi su članka:

1. *Elektronske zrake,*
2. *Otklon elektronskih zraka u električkom i magnetskom polju,*
3. *Naboj elektrona,*
4. *Lorentzova teorija elektrona,*
5. *Raspršivanje i apsorpcija elektronskih zraka,*
6. *Bohrova teorija,*
7. *Spin elektronov,*
8. *Paulijevo načelo,*
9. *Materijski valovi,*

10. *Difrakcija (ogib) i interferencija elektronskih zraka,*

11. »*Valni paket*«,

12. *Valna mehanika,*

13. *Relativistička valna mehanika,*»

a završava popisom literature.

Već samo pogled na podnaslove članka upućuje na to da se radi o jezgrovitu prikazu većeg dijela atomske fizike, s osvrtom na pojave u vezi s elektronom. Taj je dio fizike bio već dobrim dijelom zaokružen 1920-ih i početkom 1930-ih godina.

Opisi pojava i ponašanja elektrona u njima vrlo su zorni, a po upotrijebljenu nazivlju i primijenjenim relacijama potpuno je čitljiv i današnjim stručnjacima. Članak završava opisom stvaranja parova elektron–pozitron, zanimljivim Diracovim modelom kako se radi o čestici »podsvieta« (mi bismo danas rekli *antimaterije*) s negativnom energijom:

»Prielaz jednog elektrona iz podsvieta u svijet moguć je u polju atomske jezgre, ako mu jedan energijom dovoljno bogat foton preda svoju energiju. Nastala šupljina među elektronima negativne energije ima pozitivni električki naboj i energiju, t. j. masu, običnog elektrona. Ta se dakle šupljina vladu poput pozitivno električkog elektrona, pozitrona.«

»Poteškoće s elektronima negativne energije i teorija šupljina našle su sjajnu potvrdu u eksperimentalnom otkriću pozitrona (Anderson, 1932) i u pretvorbi fotona u elektron i pozitron (t. zv. dvojci; I. Curie i F. Joliot, 1933).«

Profesor Lopašić, čija su predavanja bila poznata po duhovito smišljenim i zanimljivim pokusima, i u tom članku primjenjuje jasne zorne opise pojava u mikrosvijetu. Tako i tvorbu para elektron–pozitron ilustrira fotografijom njihova nastanka u Wilsonovoj komori, te jasnijim opisom:

¹⁴ Postoji samo članak Čestice elementarne, 4. sv., str. 288, koji potpisuje Stanko Hondl.

»Budući da je u prostoru komore bilo pobuđeno magnetsko polje, to su staze elektrona i pozitrona svinute na protivne strane.«

Članak je ilustriran četirima crtežima i petorim fotografijama iz Wilsonove komore.

Prema danoj literaturi vidi se da se profesor Lopašić i pri pisanju toga članka služio najnovijim knjigama, nekima objavljenima samo godinu ili dvije prije objavljivanja toga

članka! Temе toga članka bile su dijelom osnova kolegija *Fizika II* koji je profesor Lopašić držao na elektrotehničkom fakultetu 1950-ih i 1960-ih godina. Šteta, što nam tada kao studentima taj njegov članak u *Hrvatskoj enciklopediji* uglavnom nije bio dostupan. Bez obzira na više o šest desetljeća od kako je napisan, i taj je članak profesora Lopašića uzor i primjer kako se pristupačno mogu leksikografski prikazati i najteže teme egzaktnih znanosti.

ČLANACI PROF. LOPAŠIĆA OBJAVLJENI U 5. SVESKU UJEVIĆEVE HRVATSKE ENCIKLOPEDIJE

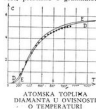
DULONG, Pierre Louis, * Rouen 12. II. 1773, † Pariz 19. VII. 1838, francuski fizičar i kemičar. G. 1832 postao je profesorom kemije na »Faculté des sciences«, zatim stalni tajnik akademije »des sciences«, na posljednje ravnatelj studija na »École polytechnique«. Prigodom otkrića kloroformika izgubio je jedno oko i dva prsta. Dugo mu bliže suradnik A. Th. Petit (* 1791, † 1820). Najznatnija su D-ova istraživanja različitih područja nauke o toplini: toplinskog raztezanja, termometrije, kalorimetrije i t. d. Kao jedinicu topline prvi je D. uveo onu množinu topline, koja 1 gram vode ugrije za 1°. Glasovito D-ovo i Petitovo pravilo potječe iz g. 1818. U svezi s toplinskim istraživanjima D. i Petit sagradili su 1816 katetometer, spravu za mjerenje vertikalnih razmaka.

Dulongovo i Petitovo pravilo (DPp) kaže, da treba dovesti približno 6 gramkalorija topline jednom gramatomu

čvrstog (kristaliziranog) kemijskog elementa, da mu se temperatura povisi za jedan stupanj. Po tome bi svi čvrsti elementi imali jednaku, o temperaturi nezavisnu atomsku toplinu (v.).

$C_{600} = 6$ kal/gramatom. stupanj. Kopp je DPp proširio i na čvrste spojeve (g. 1864). Pri ovima treba uzeti u obzir srednju atomsku toplinu (molekularna toplina podijeljena brojem atoma u molekuli spoja). DPp i Koppovo pravilo poslužile pri određivanju atomskih težina.

Pri sobnoj temperaturi najznatnije su iznimke od DPp ugljik (diamant, grafit), bor i silicij. Mjerenja specifičnih



toplina pri niskim temperaturama pokazala su, da C svakog čvrstog tijela pada prema nuli, kad mu se temperatura približava nuli ljestvice absolutne temperature (-273.2°C). Ovakvo vladanje čvrstih tjelesa u skladu je s trećim (Nernstovim) načelom termodinamike, koje zahtijeva, da pri absolutnoj nuli ta tjelesa imaju $C=0$. Prema tome DPp može vrijediti samo u području viših temperatura.

Po klasičnoj statistici (starijoj kinetičkoj teoriji topline) moralo bi DPp obćenito vrijediti. Iz zakona o ekviparticipiji energije, koji se izvodi iz klasičnih statističkih načela i načela obće mehanike, slijedi, da je toplinska energija gramatoma čvrstog elementa $W=3RT$, gdje je $R=1.985$ kal/gramatom, stupanj, plinska konstanta, a T absolutna temperatura tijela. Prema tome za povišenje temperature od 1° treba gramatomu dovesti $C=\frac{dW}{dT}=3R=6$ kalorija topline.

Kvalitativno dobro daje ovisnost atomske topline o temperaturi Einsteinov izraz (g. 1907). Einstein ga je izveo s pomoću kvantne nauke pretpostavivši, da svi atomi čvrstog elementa, izvedući toplinsko gibanje, titraju istom frekvencijom ν . Po Einsteinu je toplinska energija gramatoma čvrstog elementa

$$W = 3R \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \cdot \frac{h\nu}{k},$$

a atomska toplina

$$C = 3R \frac{1}{(e^{h\nu/kT} - 1)^2} \cdot \left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2,$$

gdje je h Planckov elementarni kvant djelovanja, a k Boltzmannova konstanta. Za visoke temperature postizava Einsteinov izraz za C vrijednost $3R$, a za $T=0$ postane $C=0$. Kad će se C približiti vrijednosti $3R$, ovisi o «karakterističnoj temperaturi» $\theta_E = h\nu/k$. Krivulja, označena s E , predočuje C po Einsteinu uz $\theta_E = 1300^\circ$ abs. Vidi se, da se ta krivulja ponešto prebrzo uzpinje.

U boljem je skladu s iskustvom Debyeova formula za C (g. 1912). Budući da atomi čvrstog tijela nisu pri titranju nezavisni jedan o drugome, to ne mogu svi titrati istom frekvencijom. Međutim broj tih frekvencija nije neograničen, jer sustav od A atoma može imati najviše $3A$ vlastitih frekvencija. Da odredi te frekvencije Debye je zamislio atomsku strukturu čvrstog tijela i matematički ga obradio kao elastični kontinuum. Tu mu doduše izlazi diskretan, no bezkonačan niz frekvencija. Svako od njih pripada neki stolni elastični val u tijelu. Debye predočuje toplinsko gibanje s pomoću $3A$ najnižih elastičnih frekvencija, a ostale odbacuje. Pridruživši pojedinoj od $3A$ zadržanih frekvencija energiju po kvantnoj nauci dolazi Debye do svojega izraza za toplinsku energiju čvrstog tijela, a po njem i do izraza za C . Tok krivulje i u ovom je slučaju određen «karakterističnom temperaturom» $\theta_D = h\nu_{\max}/k$, gdje je $\nu_{\max}$ najviša zadržana frekvencija. Ta je određena samim elastičnim konstantama tijela. Krivulja D grafički je prikaz C po Debyeu uz $\theta_D = 1.840^\circ$ abs. Bolji sklad s mjerenim vrijednostima nego kod krivulje E je očit.

U blizini absolutne nule pojednostavljuje se Debyeov izraz za C u

$$C = \text{konst. } T^3.$$

Taj se Debyeov T^3 -zakon odlično slaže s iskustvom.

Born je našao teoretski izraz za atomsku toplinu kristala uzevši u obzir njezinu atomsku strukturu (g. 1915). Pojed-

nostavni li se taj izraz, to se on svodi u slučaju zamršene građe kristala na zbroj izraza Debyeova i Einsteinova tipa. Frekvencije, koje dolaze u izrazima Einsteinova tipa, mogu se odrediti optičkim metodama (*»Reststrahlen«, Ramanov pojav*).

Fermijeva statistika protumačila je, zašto elektroni, koji provode električnu struju u kovinama, nemaju utjecaja na atomsku toplinu kovina.

U teoretskim izvodima za atomsku toplinu ne uzima se u obzir promjena obujma kristala s temperaturom. Zato treba mjerene vrijednosti za C_v koje su dobivene uz stalni tlak, reducirati na one, koje bi mjerili, kad se pri dovođenju topline ne bi mjenjao obujam kristala. Takve su vrijednosti: za diamant ucrtane u slici točkama. V. L-č.

Električne jedinice u širem su smislu jedinice, kojima se mjere električne i magnetske veličine, kao jakost električne struje, električki napon, električki otpor, tok magnetske indukcije, permeabilnost i t. d. Za svaku od ovih veličina mogla bi se definirati samostalna jedinica. Uzmimo na pr., da jedinice za prve tri veličine odaberemo ovako: električka struja 1 raztvori u jednoj sekundi jedan miligram vode, električki napon 1 vlada među polovima olovnog akumulatora, električki otpor stupca žive dugog 10 cm i presjeka 1 mm² iznosi 1. — Ohmov zakon, koji veže te tri veličine, uz taj izbor jedinica glasi: $Ri:U = k = 20$, gdje su R , i , U mjerni brojevi otpora, struje i napona. Budući da napisana veza vrijedi bez obzira, od čega je žica, kakav ima oblik i koju temperaturu, te kako je jaka struja, iznos broja k na desnoj strani ovisi samo o veličini odabranih jedinica za otpor, jakost struje i napon. Ovako napisan Ohmov zakon ima posebni, odabranim jedinicama prilagođeni oblik. — Takvo se razmatranje može nadovezati na bilo koju jednačbu, koja povezuje elektromagnetske (elmg) veličine. Ako je napisano tako, da je prilagođena nekome naročitom izboru c -ih j -a, tad je to posebna elmg jednačba.

Teorija elektromagnetizma može se razviti bez obzira na jedinice, kojima se imaju mjeriti elmg veličine. U tom slučaju pišu se osnovne elmg jednačbe tako, da se u njima stavi brojčani faktor $k = 1$. Te elmg jednačbe i iz njih izvedene govore se obično za razliku od posebnih. U nekim izvedenim oblicima elmg jednačbama dolaze brojčani faktori,

na pr. $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots$, kao posljedica pri njihovu izvodu provedenih računskih operacija. Tako na pr. u obćem obliku pisan električki Coulombov zakon, koji daje silu F , kojom točkasti električki naboji e_1 i e_2 djeluju jedan na drugi,

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi r^2}$$

sadržava brojčani faktor 4π (r je razmak među nabojima, a π dielektrička konstanta sredstva, kroz koje djeluju naboji). Za obće elmg jednačbe još se kaže, da su racionalnog ili Lorentz-Heavisidovca oblika.

E. j. čine sustav, ako su brojčani faktori, koje treba staviti u obće elmg jednačbe, da se prilagode tim jedinicama, malobrojni i jednostavni. Sustavi c -ih j -a mogu se prema povijesnom razvoju označiti kao absolutni, empirijski i racionalni.

1. ABSOLUTNI SUSTAVI ELEKTRIČNIH JEDINICA.

a) *Elektrostatski* (elst) cgs sustav uzima kao osnovne jedinice: za dužinu centimetar, za masu gram, za vrijeme sekunda i za dielektričku konstantu — dielektričku konstantu praznoga prostora, dakle: cm, g, sek, K_{el} , gdje smo s K_{el} obilježili odabranu jedinicu za dielektričku konstantu, jer nema posebnog imena. Sve ostale elst cgs jedinice izvode se iz ove četiri osnovne. Pritom se služimo elmg jednačbama t. zv. običnog oblika, koje se od obćih (racionalnih) elmg jednačbi razlikuju u položaju brojčanog faktora 4 π . (Ovo premještanje brojčanog faktora 4 π iz jednih jednačbi u druge jest prilagodivanje obćih jednačbi odabranim jedinicama.)

Elst cgs jedinica električkog naboja definira se pomoću električkog Coulombova zakona napisanog u obićnom obliku:

$$F = \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2} \quad (1)$$

Naime silu F mjerimo cgs jedinicom za silu, din, razmak r centimetrom, dielektričku konstantu r elst cgs jedinicom K_{el} . Elst cgs jedinica za električki naboj Q_e odabira se tako, da mjerni brojevi naboja e_1 i e_2 u toj jedinici i mjerni brojevi veličina F , r , e_1 u spomenutim jedinicama, uvršteni u jednačbu (1) na mjesto odnosnih veličina, zadovolje tu jednačbu. Prema tome električki naboj 1 Q_e odbija isto takav u daljini 1 cm kroz prazni prostor ($r = r_0 = 1K_{el}$) silom 1 din. Definiciju jedinice Q_e možemo simbolički pisati

$$\text{din} = \frac{Q_e \cdot Q_e}{K_{el} \cdot \text{cm}^2}$$

Iz gornje definicije izlazi ova oznaka

$$Q_e = \text{cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{sek}^{-1/2} \cdot K_{el}^{1/2}$$

(— dimenzije u fizici, — din).

Električna struja u žici ima jakost 1 elst cgs jedinice (1 I_e), ako presjekom žice prođe u 1 sek električki naboj 1 Q_e . Dakle $I_e = Q_e \cdot \text{sek}^{-1}$.

Elst cgs jedinica za magnetski naboj (jakost magnetskog pola) definira se jednačbom za silu F , kojom kružna električna struja jakosti i djeluje na magnetski naboj m u središtu kruga:

$$F = 2\pi \frac{i m}{r} \quad (2)$$

gdje je r polumjer kružnice, kojom teče električna struja. Točkasti magnetski naboj iznosi 1 elst cgs jedinicu, ako u središtu kružnice polumjera 1 cm djeluje na njega sila 2 π din, kad kružnicom (koja je od žice) teče struja jake 1 I_e .

Točkasti magnetski naboji m_1 i m_2 djeluju jedan na drugi silom F , koja je dana magnetskim Coulombovim zakonom:

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2} \quad (3)$$

gdje je r razmak magnetskih naboja, a μ permeabilnost sredstva, koje te naboje okružuje. Tim je zakonom definirana elst cgs jedinica M_e , kojom se mjeri permeabilnost. Ono bi sredstvo imalo permeabilnost 1 M_e , u kojem bi dva jedinična magnetska naboja (u elst cgs mjeri), u razmaku 1 cm, djelovala jedan na drugi silom 1 din.

Sredstva s golemom permeabilnošću $\mu = 1 M_e$ nema. Po Maxwellovoj teoriji jest brzina elmg valova u izolatoru

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}, \quad (4)$$

gdje je ϵ dielektrička konstanta, a μ permeabilnost izolatora. Za prazni prostor tim je izrazom dana i brzina svjetlosti

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{1 K_e \cdot \mu_0}} = 2,998 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sek}} = a \frac{\text{cm}}{\text{sek}}.$$

Ovdje je μ_0 permeabilnost praznog prostora izražena jedinicom M_e , a mjerni broj brzine svjetlosti u cm/sek označen je s a , t. j. $a = 2,998 \cdot 10^9$. Iz posljednjeg izraza slijedi

$$\mu_0 = \frac{1}{a^2} \text{cm}^2 \cdot \text{sek}^2 \cdot K_e^{-1} = \frac{1}{a^2} M_e.$$

Prema tome je mjerni broj permeabilnosti praznog prostora, izražen u M_e , vrlo sitan, jer je a golemo. Iz magnetskog Coulombova zakona (3) slijedi, da bi u praznom prostoru magnetski naboj 1 elst egs jedinica odbijao isto takav u daljini 1 cm silom $a^2 \text{din} \approx 9 \cdot 10^{29}$ din, a ta je sila nešto veća od težine tereta od 900 milijuna kilograma.

Definicije ostalih elst egs jedinica mogu se nadovezati na egs jedinicu radnje erg. Napon 1 elst egs jedinica (1 V_e) vlada između dva mjesta električkog polja, ako pri prijenosu električkog naboja 1 Q_e s jednog mjesta na drugo dobijemo odnosno potrošimo radnju 1 erg. Dakle $V_e = \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{sek}^{-1} \cdot K_e^{-1/2}$. Najpoznatija je elst egs jedinica kapaciteta: C_e . Kondenzator ima kapacitet 1 C_e , ako se električki napon među njegovim pločama promijeni za 1 V_e , kad prenesemo električki naboj 1 Q_e s jednog obloga na drugi. Odatle oznaka $C_e = \text{cm} \cdot K_e$.

b) *Elektromagnetski egs sustav* uzima kao osnovne jedinice: za dužinu centimetar, za masu gram, za vrijeme sekunda i za permeabilnost — permeabilnost praznog prostora (M_e).

Slijed definicija izvedenih jedinica obrnut je prema onome u elst egs sustavu i počinje definicijom elmg egs jedinice za magnetski naboj pomoću magnetskog Coulombova zakona (3). Iz (2) zatim slijedi definicija elmg egs jedinice I_m za jakost električke struje. Elmg egs jedinica Q_m za električki naboj definira se kao naboj, što ga prenese električka struja jaka 1 I_m u 1 sek. Iz električkog Coulombova zakona (1) slijedi definicija elmg egs jedinice K_m za dielektričku konstantu.

Definicije ostalih elmg egs jedinica mogu se nadovezati na egs jedinicu radnje erg. Najpoznatije elmg egs jedinice jesu: crsted za jakost magnetskog polja, gaus za magnetsku indukciju i maksel za tok magnetske indukcije. — U središtu kruga, kojim teče električka struja jakosti 1 I_m , jakost je magnetskog polja 2 π crsted, ako je polumjer kruga 1 cm, bez obzira, kakvim je jednoličnim sredstvom struja okružena. — U daljini 1 cm od točkastog magnetskog naboja 1 elmg egs jedinica jest magnetska indukcija 1 gaus, bez obzira, kakvim je jednoličnim sredstvom taj naboj okružen. — Kroz površinu 1 cm^2 , okomitu na smjer magnetske indukcije veličine 1 gaus, tok je 1 maksel.

Budući da opet vrijedi jednačba (4), koja daje brzinu elmg valova u izolatoru, to za brzinu svjetlosti c ovdje imamo

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_e \cdot 1 M_e}} = a \frac{\text{cm}}{\text{sek}}.$$

Ovdje je ϵ_e dielektrička konstanta praznog prostora izra-

žena jedinicom K_{el} . Odatle slijedi $\epsilon_0 = \frac{1}{a^2} \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^2 \cdot M_m^{-2}$
 $= \frac{1}{a^2} K_{el}$. Prema tome je mjerni broj dielektričke konstante
 praznog prostora, izražene u K_{el} , vrlo sitan. Iz električkog
 Coulombova zakona (1) slijedi, da bi u praznom prostoru
 električki naboj 1 Q_m odbijao isto takav u daljini 1 cm
 golemom silom a^2 din.

Dielektrička konstanta praznog prostora ϵ_0 jest u elst
 cgs sustavu 1 K_{el} , a u elmg cgs sustavu $\frac{1}{a^2} K_{el}$. Dakle

$$1 K_e = \frac{1}{a^2} K_{el} \text{ ili } K_m = a^2 K_e.$$

Prema tome možemo zamisliti, da elmg cgs sustav nastaje
 iz elst cgs sustava, ako jedinicu dielektričke konstante
 povećamo a^2 puta, a ostale osnovne jedinice (cm, g, sek)
 ostavimo nepromijenjene. Iz oznaka elst cgs jedinica, koje
 su jednako građene kao i dimenzijski izrazi, slijedi
 neposredno

$$Q_m = a Q_e$$

$$M_m = \frac{1}{a^2} M_e$$

$$V_m = \frac{1}{a} V_e$$

$$C_m = a^2 C_e, \text{ i t. d.}$$

Prema tome izmjeriti bilo koju električnu ili magnetsku
 veličinu u elst cgs jedinicom i elmg cgs jedinicom jest isto,
 što i odrediti mjerni broj a brzine svjetlosti u praznome
 prostoru izražene jedinicom cm/sek (mjerenja Webera i
 Kohlrauscha, 1856).

c) *Miješani sustav električkih cgs jedinica* jest onaj, u
 kojemu se sve električke veličine (dielektrička konstanta,
 električki naboj, jakost električke struje, otpor, kapa-
 citet...) mjere elst cgs jedinicama, a magnetske veličine
 (permeabilnost, magnetski naboj, indukcijski koeficijent...) elmg
 cgs jedinicama. Mjerni broj brzine svjetlosti a jest
 brojčani faktor, kojim su elmg jednačbe među veličinama
 obiju vrsta prilagođene ovom izboru jedinica. Tako na pr.
 zakon inducirane elektromotorne sile ima ovdje ovaj oblik

$$U = \frac{1}{a} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

jer za U valja staviti mjerni broj inducirane elektromo-
 torne sile mjereno elst cgs jedinicom za električki napon,
 dok se promjena toka magnetske indukcije $\Delta \Phi$ u vremenu
 Δt mjeri elmg cgs jedinicom maksel/sek.

Miješani cgs sustav upotreбили su u svojim razpravama
 Helmholtz i Hertz. U teoretskoj fizici održao se do danas.
 Naziva se i Gaussovim sustavom.

Služimo li se pri definiciji elst odnosno elmg cgs jedinica
 obćim elmg jednačbama, t. j. jednačbama racionalnog
 oblika, tad se tako dobivene c. j. razlikuju od obćinih,
 o kojima je bilo dosada govora. Miješani sustav racionalnih
 cgs jedinica upotrebio je Lorentz.

Redovito se još upotrebljavaju oznake izvedenih elst
 odnosno elmg cgs jedinica bez K_e odnosno bez M_m . Na pr.
 $Q_e = \text{cm}^{1/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{sek}^{-1/2}$, $C_e = \text{cm}$ i t. d.

d) *Apsolutni praktični sustav* ima ove osnovne jedinice:
 za dužinu kvadrant = 10^9 cm, za masu jedinicu = 10^{-11}

gram, za vrieeme sekundu i za permeabilnost — permeabilnost praznog prostora. Jedinica dužine kvadrant dobila je svoje ime odatle, što je malone točno jednaka četvrtini zemaljskog meridiana. Mnoge e. j. ovoga sustava imaju prikladnu veličinu za elektrotehničku praksu i dobile su naročita imena. Pomoću dimenzijskih izraza slijedi ovaj odnosaj između absolutnih praktičnih i elmg cgs jedinica:

za električki naboj	1 abs kulon	= 10^{-9} elmg cgs jedinica
„ električku struju	1 abs amper	= 10^{-9} „ „ „
„ električki napon	1 abs volt	= 10^9 „ „ „
„ električki otpor	1 abs om	= 10^9 „ „ „
„ kapacitet	1 abs farad	= 10^{-9} „ „ „
„ indukc. koeficient	1 abs henri	= 10^9 „ „ „
	1 abs džaul	= 10^7 erg

Ostale se praktične jedinice, izvedene pomoću elmg jednažbi, pisanih na običan način, ne upotrebljavaju.

2. EMPIRIČKI SUSTAVI ELEKTRIČNIH JEDINICA.

Definicije abs praktičnih jedinica smatrale su se odviše abstraktnima za praksu, za koju su bile zamišljene. Zato su međunarodnim dogovorom utvrdjeni praktični pristupačniji propisi, kojima se imaju ostvariti praktične jedinice. Ovakvo definirane praktične jedinice zovu se, za razliku od absolutnih, međunarodnima (int).

Prvi su propisi dogovoreni na međunarodnom sastanku elektrotehničara u Chicagu (1893). — Jedinicu električkog otpora int om ima stupac žice dug 106,3 cm i jednoličnog presjeka 1 mm², pri temperaturi leđa, koji se tali. — Jedinicu jakosti električke struje int amper ima stalna električka struja, koja iz vodene rastopine srebrnog nitrata izluči 1,118 mg srebra u sekundi. — Ti su brojevi odabrani tako, da se, prema ondašnjem stanju električkih mjerenja, postigne što bolje poklapanje int i abs praktičnih jedinica. Pošto je definirana jedinica električkog otpora i jedinica jakosti električke struje, to onda pomoću Ohmova zakona slijedi definicija jedinice električkog napona, u ovom slučaju int volt. Za praksu je međutim važno, da se i int volt ustvari neposredno naponom nekog normalnog galvanskog članka. Na sastanku u Chicagu uzet je Clarkov članak kao normalan, i dogovoreno je, kolikim će se smatrati njegov napon mjeren u int voltima. Domala se pokazalo, da je Clarkovim člankom određen volt osjetljivo veći od int volta određenog int omom i int amperom.

Na međunarodnom kongresu u Londonu (1908) zaključeno je, da se imaju smatrati int om i int amper kao osnovne međunarodne jedinice. Zatim su propisi za ostvarenje tih jedinica promijenjeni utoliko, što je u definiciji int oma broj 106,3 nadomješten brojem 106,300, a zahtjev, da površina presjeka stupca žive bude 1 mm², zahtjevom, da živa, sadržana u stupeu dužine 106,300 cm i jednoličnog presjeka, ima masu 14,4521 gram; u definiciji int ampera broj 1,118 nadomješten je brojem 1,11800. Ove su se promjene provele zato, jer su se preciznim mjeračim metodama mogle mjeriti električke veličine na više znamenaka, nego što su ih imali brojevi dogovoreni u Chicagu. Zatim je zaključeno, da će se Westonov članak (→ članak električki) upotrebljavati kao normalan, i, na osnovu ondašnjih mjerenja, njegov je napon pri 20°C ustanovljen sa 1,0184 int volt. Međutim god. 1910 ta je vrijednost popravljena na 1,0183 int volt.

Kasnijim se mjerenjima ustanovilo, da je int om nešto veći od abs oma, a int amper malo manji od abs ampera. Prema današnjem (1944) stanju mjerenja

$$1 \text{ int om} = 1,0005 \text{ abs om}$$

$$1 \text{ int amper} = (1 - 0,0001) \text{ abs amper}$$

Iz osnovnih međunarodnih jedinica int om i int amper izvode se int volt, int kulon, int farad, int henri, int vat, int džaul. Električki napon 1 int volt vlada među krajevima otpora 1 int om, kad njime teče stalna električka struja, jaka 1 int amper. — Električki naboj 1 int kulon prođe u 1 sekundi presjekom žice, kad njome teče stalna električka struja, jaka 1 int amper. — Kondenzator ima kapacitet 1 int farad, ako se električki napon među njegovim oblozima promijeni za 1 int volt, kad naboj 1 int kulon priđe s jednog obloga na drugi. — Samoindukciju 1 int henri ima vodič, u kojem se inducira elektromotorna sila 1 int volt, kad se struja u vodiču mijenja brzinom 1 int amp/sek. — U vodiču se troši električka snaga 1 int vat, kad vodičem teče stalna električka struja, jaka 1 int amper, a među njegovim krajevima vlada napon 1 int volt; tad se izvrši u 1 sekundi radnja 1 int džaul.

Stariji elektrotehnički sustav e-ih j-a služio je netom navedenim praktičnim jedinicama, a uz ove upotrebljava i ove abs elmg cgs jedinice: M_H za permeabilnost, ersted za jakost magnetskog polja, gauss za magnetsku indukciju i maksvel za tok magnetske indukcije; dielektrička konstanta se mjeri abs, elst cgs jedinicom. Prema tome je ovaj sustav mješavina elmg jednačbe, prilagođene ovom izboru jedinica, pišu se s takvim brojčanim faktorima, kao da se int praktične jedinice podudaraju s abs praktičnima, jer je prije navedena razlika za praksu beznačajna. Tako na pr. zakon inducirane elektromotorne sile ima ovdje ovaj oblik

$$U = 10 \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

jer za U valja staviti mjerni broj inducirane elektromotorne sile mjerene u voltima, dok za kvocijent nadeseno mjerni broj brzine, kojom se mijenja tok magnetske indukcije mjerene elmg cgs jedinicom maksvel/sek.

Noviji elektrotehnički sustav uzima kao osnovne jedinice int om, int amper, sekunda i za dužinu centimetar ili metar. Pri definiciji izvedenih jedinica služi se obćim (racionalnim) elmg jednačbama, a zahtjeva se, da u ove ne pridode nikakav novi brojčani faktor. Tako se na pr. jedinica jakosti magnetskog polja definira izrazom, koji daje jakost magnetskog polja H u dugoj, jednolično namotanoj uzvojnici

$$H = \frac{n}{l},$$

gdje je l jakost struje u uzvojnici, n broj zavoja, a l dužina uzvojnice. Budući da ovdje l mjerimo amperom, l centimetrom odnosno metrom, to onda slijedi, da H valja mjeriti jedinicom amp/cm odnosno amp/met (ili amp. zavoje/cm odnosno ampzavoje/met). U ovom je sustavu jedinica mase izvedena jedinica. Može se izvesti na pr. iz izraza, koji daje snagu stalne električke struje. Ako je cm jedinica dužine, tad je elektrotehnička jedinica mase

$$1 \frac{\text{int om} \cdot \text{int amp}^2 \cdot \text{sek}^2}{\text{cm}^2} = 10003 \text{ kg},$$

dakle malo veća od 10 tona.

U praksi se upotrebljavaju i jedinice izvan sustava. Tako se snaga motora mjeri u kilovatima (1 kilovat = 1000 vat), a električka energija prodaje se na kilovatsate (kilovatsat jest radnja, što je izvrši motor, kad radi snagom 1 kilovat u 1 satu). Slabe se struje mjere u mili-ampereima i mikroampereima, a visoki naponi u kilovoltima, kapaciteti u mikrofaradima i pikofaradima; naboj, koji prođe elek. člankom, u ampersatima (naboj 1 ampersat

prođe presjekom vodiča u 1 sat, ako njim² teče stalna elek. struja 1 amper).

Napomena. Izvršni organ međunarodne metarske konvencije Glavni savjet za mjere i uteze zaključio je g. 1933 na prijedlog njemu podređenog Odbora za mjere i uteze, da se imaju uvesti namjesto međunarodnih praktičnih jedinica absolutne praktične. Istodobno je ovlastio spomenuti odbor, da odredi dan, kad ima ta promjena nastupiti. Taj je zaključak obavezan za sve države, koje su pristupile metarskoj konvenciji. Odbor za mjere i uteze zaključio je p. 1935, da se 1. siječnja 1940 ima prići na absolutne jedinice. U tom je smislu trebalo promijeniti zakone o e-im j-ama izdane u državama metarske konvencije. Nastali rat spriječio je, da se provede ta promjena, pa su još i danas (1945) u kreposti međunarodne praktične jedinice. Međutim, s obzirom na dobro poklapanje međunarodnih praktičnih jedinica s absolutnima ta bi promjena bila za obična električna mjerenja bez ikakvih posljedica. Razlike bi se opazile tek kod mjeračkih metoda s pogreškom manjom od 1%.

Za praksu međutim treba ostvariti te jedinice zgodnim normalama. Prema današnjem stanju mjerenja ima stupac žilve, dug 106-250 cm, mase 14,4453 gram, i jednoličnog presjeka, pri 0°C odpor 1 abs om. Abs amper izluči u sekundi 1,1815 mg srebra. Westonov članak ima napon 1,01865 abs volt. — Nije toliko znatna razlika u veličini tih brojeva prema onima, kojima su definirane int praktične jedinice, koliko u njihovoj značaju. Stari su brojevi dio definicije, pa zato nepromjenjivi, a ovi rezultati mjerenja, i popravljat će se, kako bude napredovala tehnika mjerenja.

A. MODERNI SUSTAVI JEDINICA.

Ovi su sustavi zamišljeni tako, da im pripadaju praktične električne jedinice, a mehaničke (za silu, masu, ...) imaju zgodnu veličinu. Pri definiciji izvedenih e-ih j-a služe se obćim (racionalnim) elmg jednačbama.

a) Giorgijev sustav ima osnovne jedinice: metar, kilogram, sekunda, om. Načelno bi se veličina osnovne e-e j-e mogla uzeti po volji. Odaberemo li abs om, tad u ovaj sustav ulaze abs praktične jedinice: amper, volt, kulon, farad, henri. Uzmemo li naprotiv kao jedinicu otpora int om, tad se farad i henri u Giorgijevu sustavu podudaraju s int faradom odnosno int henrijem: no amper, volt i kulon nisu ni int ni abs, nego t, zv, semiabsolutni, jer se za njihovu definiciju služimo abs vatom (jedinica snage u Giorgijevu sustavu) i int omom. Vat je naime produkt volta i ampera, a om omjer.

Uzmemo li, da se jedinica električkog otpora Giorgijeva sustava podudara s abs omom, tad su sve jedinice novijeg elektrotehničkog sustava, nakon prielaza na abs praktične jedinice (a metar je jedinica dužine), jednake e-im j-ama Giorgijeva sustava.

b) Sustav *Kalantaroffa* obuhvaća poput Giorgijeva i mehaniku i elektricitetu, a po veličini se jedinice ovog sustava podudaraju s jedinicama Giorgijeva, ali se u mehanici uzimaju kao osnovne jedinice: metar, sekunda i jedinica djelovanja (predlaže se ime plank); a u elektriciteti osnovne jedinice: metar, sekunda, kulon i jedinica za magnetski naboj (predlaže se ime viber).

Jedinicu djelovanja plank treba odabrati tako, da se u tom sustavu izvedena jedinica za masu podudara s kilogramom. Tad u taj sustav ide džaul = plank/sek, zatim vat = plank/sek². Budući da se pri definiciji e-ih j-a služimo elmo jednačbama racionalnog oblika, to se magnet-

ski naboj i tok magnetske indukcije mjere istom jedinicom: umnožkom jedinice električnog napona i sekunde. S druge strane električki se naboj mjeri umnožkom jedinice za jakost električke struje i sekunde. Prema tome je produkt jedinica za električki odnosno magnetski naboj jednak jedinici djelovanja, jer je jedinica snage jednaka umnošku jedinica za električku struju i električki napon. U sustavu Kalantaroffa plank je umnožak dviju e-ih j-a; za električki odnosno magnetski naboj. Odaberemo li jednu od njih, tad je druga ovom određena. Ako je jedinica električkog naboja abs kulon, tad se sve e. j. podudaraju s jedinicama Giorgijeva sustava.

U sustavu Kalantaroffa vrlo je zgodna oznaka izvedenih e-ih j-a, jer je građena od met, sek, kulon, veber, budući da se svugdje u elektriciteti osnovna mehanička jedinica plank nadomješta umnožkom veberkulon. Prema tome se u sustavu Kalantaroffa clopa pri prielazu na podračje elektriciteta osnovna mehanička jedinica plank u dvie električke.

Napomena. Vrlo je pregledna oznaka izvedenih e-ih j-a, koja se služi jedinicama amper, volt, sek, met. Tako je na pr. jedinica jakosti električkog polja volt/met. Takvo polje vlada među pločama širokog ravnog kondenzatora, kad je napon među pločama 1 volt, a razmak ploča 1 metar. Ova se oznaka može upotrebljavati jednako i u sustavu Giorgija i u sustavu Kalantaroffa.

LIT.: J. Wilson, *Dimensions, Units, and Weights*, Handbuch der Physik II, 1926; W. Jäger, *Absolute Maße und Einheiten*, Handbuch der Elektrizität und Magnetismus (Grunder) II, 1921; W. Wilson, *Theoretical Physics* II, 1933; J. Fischer, *Einführung in die klassische Elektrodynamik*, 1936; G. Oberhofer, *Lehrbuch der Elektrotechnik* I, 1944. V. L. G.

Elektron (→ čestice elementarne).

Istraživanjem katodnih zraka, betazraka te zraka, koje pri fotoelektričkom pojavu izlaze iz kovina, utvrdilo se, da su sve one u biti jednake: u njima se gibaju negativni elektricitet i masa nerazdružno povezani tako, da svaki gram nosi $176 \cdot 10^8$ kulon elektriciteta. Kako je taj naboj 1838 puta veći od onoga, što ga pri elektroлізу prenese 1 gram najlakšeg elementa, vodika, to je očit zaključak, da se u katodnim i srodnim zrakama mogu gibati samo krotine atoma. Za te krotine obćenito se ustalilo ime elektroni, pa se gore spomenute zrake zovu jednim imenom elektronske zrake. Pokusi s elektronskim zrakama učinili su vjerojatnom pomisao, da su elektroni sitna tjelešca. Ta je vjerojatnost znatno porasla, kad su u Wilsonovoj komori učinili vidljivima staze, kojima su pojedini elektroni prošli, i kada je Millikan pokazao, da postoji najmanji električki naboj.

Da predočbom o elektronu, kao tjelešcu s negativnim električkim nabojem, nije ovaj podpuno opisan, moglo se naslutiti već iz Bohrove nauke o atomima. De Broglie je iznio hipotezu, da su elektroni i valne prirode. Ona je našla eksperimentalnu potvrdu u difrakciji elektronskih zraka, pojavu značajnu za valove. «Valni paketi» (v. 11) pokušaj je zornog spoja obliju predočbi o elektronu.

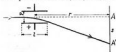
Novija kvantna nauka načelno se odriče zorne predočbe o elektronu pa postavlja matematičku shemu, kojom obrađuje elektron. Iz te sheme izlazi, kada se pri opislavanju pojava možemo služiti česticom, a kada valom kao slikom o elektronu.

1. ELEKTRONSKE ZRAKE ponajprije su opažene kao t.zv. katodne zrake (v.: Plücker, 1858). Hittorff je našao (1869), da se one šire pravocrtno, i da ih magnetsko polje može saviti, dok je Goldstein otkrio (1876) odklon u električkom polju. Crookes (→ Crookes, Crookesove cijevi) izveo je s katodnim zrakama pokuse, koji su učinili jak dojam na njegove suvremenike, i iznio je misao, da su one tvarne prirode. Perrin je jasno utvrdio (1895), da su one struja negativnog elektriciteta (→ Perrinova cijev), na što je upućivao i smjer odklona u magnetskom i električkom polju.

Lenard je pokazao (1899), da pri Hallwachsovu pojavu (→ fotoelektricitet) izlaze iz kovina, elastičnih ultravijetnom svjetlošću, elektronske zrake. Približno se u isto vrijeme ustanovilo, da su i betazrake (v.) elektronske.

2. ODKLON ELEKTRONSKIH ZRAKA U ELEKTRIČKOM I MAGNETSKOM POLJU može poslužiti, da se izmjeri brzina v , te omjer e/m naboja e i mase m elektrona (J. J. Thomson, 1897).

Uzki svežanj elektronskih zraka upravi se između ploča ravnog kondenzatora, kojemu su ploče uzporedne s prvotnim pravcem svežnja (sl. 1). Ako među pločama nema električnog napona,

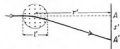


Sl. 1.

električko polje jakosti $E = U/d$ (d je razmak među pločama), pa na svaki elektron djeluje sila $F = eE$, koja ga vuče prema pozitivno električkoj ploči. Elektron se dakle u tom prostoru giba poput vodoravno bačenog kamena u polju zemljine težie, t. j. po paraboli. Zato sada zgodi zastor u točki A', koja je u daljini s od točke A. Ako je l duljina kondenzatora, dakle i prostora, u kojem vlada električko polje, a r razmak između sredine kondenzatora i zastora, to onda valja:

$$v^2 : \frac{e}{m} = E \frac{rl}{s}, \quad (1)$$

Pobudi li se na jednom dijelu puta elektronskih zraka magnetsko polje okomito na smjer svežnja, tad djeluje na svaki elektron sila $F = evB$, gdje B znači magnetsku indukciju u pobuđenom polju. Smjer te sile je okomit i na brzinu v i na smjer magnet-skog polja (t. j. na smjer od B). Ako je



Sl. 2.

r' širina polja (sl. 2), r' razmak između sredine polja i zastora, s opaženi uklon, tad u ovom slučaju valja:

$$v : \frac{e}{m} = B \frac{r'f}{s}, \quad (2)$$

U sl. 2 treba zamisliti, da je magnetsko polje nastalo tako, da se pred ravninom crtnje nalazio sjeverni magnetski pol.

U jednačama (1) i (2) mogu se sve veličine na desnoj strani izmjeriti i time odrediti v odn. e/m . Nalazi se, da se

elektroni gibaju brzinama od nekoliko tisuća km/sek pa sve do blizu brzine c svjetlosti u praznome prostoru; tako na pr. v u betazrakama RaC iznosi i 99% od c . Ako je v maleno prema c , tad je omjer e/m stalan (unutar granica pogreške mjerenja) i iznosi $1.758.10^8 \text{ kulon/gram} = 3.270.10^{17} \text{ elst cgs/gram}$, međutim, kad se v približava brzini c , biva on sve manji i manji (Kaufmann, 1901), pa na pr. za spomenute elektrone iz RaC iznosi tek $1/2$ navedene vrijednosti. Budući da naboj e ne zavisi o brzini, to slijedi, da je masa ovih elektrona 7 puta veća od mase m_0 sporih elektrona. Ovo je u skladu s izrazom, što ga daje teorija relativnosti za ovisnost mase nekog tijela o brzini:

$$m = m_0 : \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Pri istraživanju brzina elektrona u fotoelektričkom pojavu upotrebio je Lenard (1902) metodu »sprotivnog polja«. — U središtu šuplje vodljive kugle H (sl. 3), iz



električko polje, koje vuče izbačene elektrone natrag prema M . Ako je električki napon U između M i H baš tolik, da nijedan elektron ne stigne do kugle H , t. j. da kroz E ne teče električka struja, tad je kinetička energija, a time i brzina v najbržih elektrona određena izrazom $eU = (m - m_0)c^2 \approx m_0 v^2/2$, gdje je m masa tih elektrona ($\rightarrow$ elektronvolt).

U tablici su u prvi stupac uneseni naponi U , koji bi po Lenardovoj metodi »sprotivnog polja« baš mogli zaustaviti elektrone, koji se gibaju brzinama v unesencim u drugi stupac. Brojevi u trećem stupcu kažu, koliko je puta pri padna masa m elektrona veća od m_0 .

Napon U volt	Brzina v km/sek	m/m_0
1	595	1.00
100	5.950	1.00
10^3	$1.87.10^4$	1.006
10^4	$5.85.10^4$	1.02
10^5	$1.65.10^5$	1.2
10^6	$2.83.10^5$	3.2
$3.1.10^6$	$2.97.10^5$	7.1

3. NABOJ ELEKTRONA e (odn. masa m) se može se odrediti iz odklona elektronskih zraka u električkom i magnetskom polju. Za to su potrebne druge metode. Pojavu elektrolize (v.) upućuju na postojanje najmanje množine električkog naboja. No taj naboj dobivamo iz naboja golemog broja čestica, koje u elektrolizi sudjeluju, pa je bila opravdana sumnja, nije li on tek neka srednja vrijednost.

Millikan je (1911 i dalje) »metodom kapljice« odredio najmanji električki naboj, koji se može jednom tijelu dati odn. oduzeti. — Sitna kapljica ulja pada kroz mirni zrak

stalnom brzinom, jer njezinoj težini drži ravnotežu sila, koja nastaje od trenja s uzduhom. Pri tome ona poprimiti oblik kugle radi površinske napetosti. Iz brzine padanja, specifične težine ulja te koeficijenta viskoznosti i specifične težine zraka mogao je Millikan odrediti polumjer kapljice (nekoliko tisućina mm), dakle i njezinu težinu. Već kod razpičavanja ulja u kapljice ove se redovito elektriziraju. No Millikan je mogao naboj kapljice promijeniti tako, da je rentgenskim zrakama obasjao uzduh, kroz koji se kapljica giba. Ove zrake naime izbiju iz pojedinih molekula elektrone, i tako u uzduhu nastanu nosioce električnih naboja. Kad se takav nosilac pridruži kapljici, promijeni ona skokom naboj. — Nosi li kapljica električki naboj Q , može se zgodnim homogenim električkim poljem (među pločama širokoga ravnog kondenzatora) vertikalnog smjera postići, da kapljica lebdi. Tad je sila EQ , kojom električko polje jakosti E djeluje na naboj Q , jednaka težini P kapljice (sl. 4); t. j. $EQ = P$.



Sl. 4.

Kako su E i P poznati, to se odatle odredio naboj Q . Za taj je izašlo, bio on pozitivan ili negativan, da može imati samo neke odabrane vrijednosti: $1e, 2e, 3e, \dots$ gdje je $e = 1.60 \cdot 10^{-19}$ kulon = $4.80 \cdot 10^{-10}$ elst cgs. Ta se vrijednost slaže s onom nađnom pri elektrolizi. Uzima se, da svaki elektron nosi naboj e . Masa m elektrona računa se iz omjera e/m . Izlazi $m_e = 9.10 \cdot 10^{-28}$ gram.

4. LORENTZOVA TEORIJA ELEKTRONA uzima, da dielovi atoma i molekula nose električke naboje. H. A. Lorentz ju je nadovezao (1895) na Maxwellovu teoriju (v.) elektromagnetskog polja, koja obrađuje stvarno sredstvo kao kontinuum, t. j. ne uzimajući u obzir njegovu strukturu. Već je Maxwell izaknuo za svoj način razmatranja, da može biti valjan, ako se dužine elektromagnetskih valova vrlo velike prema veličini čestice, od kojih je tvar građena. — Lorentz nadalje predpostavlja, da je uvijek mirni eter (v.) jedini nosilac elektromagnetskih polja i da ispunja neprekidno čitav svemir. Kroz eter se gibaju atomi pobuđujući svojim električkim nabojevima zamašena elektromagnetska polja. Ta se polja dodaju k poljima izravnim uzrocima izvan tijela. Zato se neko elektromagnetsko polje, na pr. žuta natrijeva svjetlost, drugčije razprostire kroz prazni prostor, a drugčije kroz staklo. U posljednjem slučaju sudjeluju u pojavu i čestice, od kojih se sastoji staklo.

Uvodeći prikladne predočbe o građi tvari Lorentzova teorija je tumačila disperziju svjetlosti, dobru vodljivost kovina za električku struju i toplinu, magnetska svojstva tvari i još druge pojave.

Ampèreova hipoteza, da u pojedinim česticama magnetska kruži elektricitet (— Ampèreove struje), poprimila je u teoriji elektrona određeniji oblik u pretpostavci, da se u atomima magnetska gibaju elektroni po zatvorenim stazama. Uzme li se, da elektron izvodi to gibanje pod utjecajem sile, koja je upravljena prema čvrstom središtu, tad je njegova staza u ravnini, a veličina magnetskog momenta d , koji toj stazi pripada, razmjerna je s nabojem elektrona, površinom staze i frekvencijom obhoda. Kako elektron ima i masu, to je u ovom slučaju elektronov zakretni impuls p razmjernan s masom elektrona, površinom staze i frekvencijom obhoda. Izlazi, ako se služimo mješanim sustavom električkih jedinica, $d = \frac{1}{4\pi} \frac{e}{\omega} p$. Svakom je magnetskom

momentu pridružen posve određen mehanički zakretni impuls (magnetomehanički paralelizam). To vrijedi i za čitav magnet, jer se njegov magnetski moment dobije geometrijskim zbrajanjem momenata njegovih dijelova, a isto tako i zakretni impuls ($\rightarrow$ Einstein-de Haasov pojav).

S poviestnog je gledišta značajno, da je Lorentzovo tumačenje t. zv. normalnog Zeemanova pojava (v.) također vodilo do elektrona, i to kao čestica, odgovornu za izsijavanje svjetlosti.

5. RAZPRŠAVANJE I ABSORPCIJA ELEKTRONSKIH ZRAKA pripomogli su upoznavanju atoma. — Hertz je započeo (1892) ispitivanjem propustnosti tankih kovinskih listića za elektronske zrake. Ta je istraživanja nastavio Lenard izvedavši elektronske zrake iz katodne cijevi u uzduh kroz »Lenardov prozor« (1893). Lenard je našao, da se pri prolazu kroz tvar, na pr. uzduh, aluminijski, i t. d., elektronske zrake razpršavaju i absorbiraju to manje, što su elektroni brži. Za pojedini elektron treba uzeti da je pritom prošao kroz mnogo tisuća atoma, prije nego što je znatnije skrenuo sa svojeg pravca ili u kojem atomu zapeo. Na osnovu toga

i Rutherfordovih pokusa s alfa-zrakama (v.) nastala je predočba o atomu, poznata pod imenom Rutherfordov atom (1911; $\rightarrow$ atom 11).

Sl. 5 prikazuje staze elektrona u uzduhu postale vidljivima metodom Wilsonove komore (v.); ravni magleni trag potječe od jednog vrlo brzog elektrona, a svakojako svinuti od polaganijih izbačenih iz molekula uzduha fotoelektričkim pojavom.

O prolazu elektrona kroz tekućinu $\rightarrow$ Čerenkovljev pojav.

Za razpršavanje i absorpciju vrlo sporih e-a $\rightarrow$ Ramsaurov pojav.

Sraz fotona i elektrona $\rightarrow$ Comptonov pojav.

Također $\rightarrow$ delta-zrake.



Sl. 5.

6. BOHR-OVA TEORIJA uzima Rutherfordovu predočbu o atomu. N. Bohr se njome poslužio najprije pri tumačenju spektra vodikova atoma. U tom atomu kruži jedan elektron oko protona, koji ga privlači po Coulombovu zakonu. Po klasičnoj (Maxwell-Lorentzovoj) elektrodinamici morao bi takav elektron neprestano izsijavati elektromagnetske valove, a to bi išlo na račun njegove energije, pa bi u vrlo kratko vrijeme stigao do samoga protona. Bohr pretpostavlja, da postoji samo diskretni niz staza (kružnica), po kojima se može elektron gibati, i da elektron pritom ne izsijava valova. Te su kružnice određene Bohrovim kvantnim uvjetom, da zakretni impuls p elektrona može biti samo neki cjelobrojni mnogokratnik od $h/2\pi$, t. j.

$$p = n \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

gdje je h Planckov kvant djelovanja. Spektar vodika mogao je Bohr razumjeti dodavši k tome još svoj uvjet

frekvencije», u kojem po drugi put ulazi u ovu teoriju konstanta h . Po tom uvjetu atom izljava svjetlost, kad elektron preskoči s jedne šire kružnice na užu.

Po magnetomehaničkom paralelizmu pripada najužoj kružnici ($n=1$) magnetski moment

$$\mu = \frac{eh}{4\pi mc}$$

poznat pod imenom Bohrov magneton. Momenti širih staza su mnogokratnici ovoga.

A. Sommerfeld je proširio Bohrovu teoriju razmatrajući gibanje elektrona po elipsama i uzevši u obzir relativističku promjenu elektronove mase s brzinom. Time je tumačio linu strukturu vodikovih crta i našao novu vezu između naboja e elektrona i Planckova kvanta djelovanja h .

7. SPIN ELEKTRONOV je nova hipoteza o elektronu, do koje su dovela spektroskopska istraživanja. — Već prije Bohrove teorije uspjelo je uglavnom razmrsiti spektre alkaličnih i zemnoalkaličnih kovina u serije. Pri tumačenju tih spektara Bohrovom teorijom ostalo je neriješeno pitanje višestrukih spektralnih crta, tako na pr. natrijeve dvostruke žute (5890 Å, 5896 Å). Isto tako nije objašnjen anomaalni Zeemanov pojav. Sve te poteškoće rješava jednim udarcem hipoteza Goudsmita i Uhlenbecka (1925), da sam elektron ima magnetski moment jednak Bohrovu

magnetonu i zakretni impuls, t. zv. spin, $\frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$, dakle polovinu od onoga, koji bi mu po magnetomehaničkom paralelizmu pripadao.

8. PAULIJEVO NAČELO vrijedi za raspored elektrona po raznim kvantnim stanjima u atomu, molekul, dapače i u velikom komadu kovine. — Kvantno stanje jednog elektrona u bilo kojem atomu određeno je s četiri kvantna broja: n, l, m_l, m_s . Brojem n , t. zv. glavnim kvantnim brojem, određena je, uglavnom, energija elektrona, a brojem l , azimutalnim kvantnim brojem, koji može imati vrijednosti $0, 1, 2, \dots, n-1$, oblik njegove staze. Svakom kvantnom broju l pripada $2l+1$ vrijednost magnetskog kvantnog broja m_l , a to su: $-l, -(l-1), \dots, -1, 0, 1, \dots, (l-1), l$. Konačno je m_s spinov kvantni broj, koji može imati vrijednosti $-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$. — Paulijevo načelo kaže, da u

jednom atomu ne mogu biti dva elektrona, kojima bi sva četiri kvantna broja bila jednaka, t. j. koji bi bili u istom kvantnom stanju. Prema tome, ako su dani brojevi n, l, m_l, m_s , tad može biti u atomu samo jedan elektron, kojemu ti brojevi pripadaju. U brojevima n, l, m_l mogu se podudarati samo dva elektrona s obzirom na dvie vrijednosti m_s ; dok se u brojevima n, l može podudarati $2(2l+1)$ elektron, jer m_l može poprimiti $2l+1$ vrijednost. Konačno se u broju n može podudarati $\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1) = 2n^2$ elektrona; radi vrijednosti, koje broj l može primiti. Tim je načelom raztumačen periodički sustav elemenata. U najnižem energetskom nivou, $n=1$, t. zv. K-ljuski, mogu biti najviše 2 elektrona; u L-ljuski, $n=2$, već $2+6=8$ elektrona; u M-ljuski, $n=3$, $2+6+10=18$ elektrona, i t. d., a to su brojevi elemenata u periodama sustava elemenata.

Fermijeva statistika uzima Paulijevo načelo u svoje osnove.

Paulijevo načelo daje se donekle obrazložiti sa stajališta valne mehanike.

9. MATERIJSKI VALOVI jesu valovi, koje je L. de Broglie pridružio (1924) svakoj čestici, koja se giba. On nalazi od



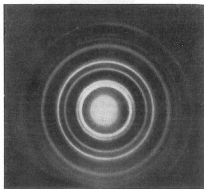
Sl.7.1.: Logotip Ujevićeve Hrvatske enciklopedije

relativističke formule $E = mc^2$, gdje je dana masa m , koja pripada energiji E , te od izraza za energiju fotona $E = h\nu$. Spajanjem tih dviju formula dobivamo polaznu točku teorije L. de Brogliea: $E = mc^2 = h\nu$. Svakoj čestici mase m pridružen je periodički pojav frekvencije ν . U prostoru, u kojem čestica miruje, t. j. koji se zajedno s česticom giba, ta formula glasi: $E = m_0 c^2 = h\nu_0$. L. de Broglie uzima, da je periodički pojav u tom prostoru čisto titranje. Pri prielazu u prostor, u kojem se čestica giba, valja se poslužiti Lorentzovom transformacijom ($\rightarrow$ relativnost), pa se onda periodički pojav u tom prostoru predoči kao val. Dužina λ tog vala dana je izrazom $\lambda = h/mv$, gdje je v brzina čestice, a brzina vala formulom $u = c^2/v$. Dakle je brzina tih valova veća od brzine svjetlosti c .

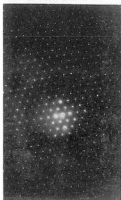
W. Elsasser je upozorio (1925), da bi se materijalski valovi mogli eksperimentalno pokazati kao difrakcija i interferencija elektronskih i atomskih zraka, t. j. u pojavima, značajnim za valove.

10. DIFRAKCIJA (OGIB) I INTERFERENCIJA ELEKTRONSKIH ZRAKA nađena je eksperimentalno g. 1927. Davisson i Germer pustili su uski svačlanj sporih elektrona, da pada okomito na plohu niklenog kristala, pa su istraživali, kako se oni od njega odražuju. Našli su, da za izvjestne brzine elektrona postoje u prostoru povlašteni smjerovi, u koje se elektroni osobito jako odbijaju. To se može protumačiti time, da se elektronski valovi, nastali ogibom na atomima kristala, u tim smjerovima interferencijom pojačavaju. Iz rasporeda atoma na površini kristala i povlaštenog smjera odraza mogli su Davisson i Germer odrediti dužinu vala elektronskih zraka. Ta se izvrstno slaže s onom, što je predviđa teorija de Brogliea. Razlog, zašto se takvo odbijanje elektronskih zraka dobiva samo za izvjestne brzine elektrona, t. j. samo za odabrane dužine elektronskih valova, jest u tome, što u pojavu sudjeluju i valovi nastali ogibom na atomima izpod površine kristala. Ako se uzme u obzir i dubinski raspored atoma u kristalu, to se mogu teoretski odrediti te odabrane dužine elektronskih valova. Ove se međutim ne slažu osobito s eksperimentalno nađenima, jer se u teoriji zasada ne može dovoljno uzeti u obzir zamršeno električko polje, koje vlada u unutarnjosti kristala.

Ogib brzih elektrona pokazao je G. P. Thomson (1927) pustivši, da uski svačlanj elektronskih zraka prolazi kroz mikrokristalinični kovinski listić vrlo male debljine (oko 10^{-6} mm). Zrake zatim padaju na fotografsku ploču, okomito na njihov prvotni smjer. Osim središnje mrlje, u kojoj zgađaju ploču one elektronske zrake, koje nisu promijenile smjera, pokaže se još nekoliko krugova, od zraka odsklo-njenih ogibom na kristaliničima listića. Sl. 6 jedna je snimka G. P. Thomsona ($\rightarrow$ Debye-Scherrerova metoda).



Sl. 6.



Sl. 7.

Sl. 7 prikazuje ogib elektronskih zraka dobiven njihovim prolazom kroz vrlo tanki listić tinjca (snimili Finch i Wilman). Taj ogib odgovara ogiba svjetlosti na ukrštenim mrežicama ($\rightarrow$ difrakcija), a dobiven je na način Laueovih diagrama kod rentgenskih zraka.

H. Börschu uspjele je (1940) dobiti s elektronskim zrakama ogib Fresnelova tipa na rubu poluravnine (sl. 8, povećano oko sto puta).

SL. 8 VALNI PAKET je zamisao E. Schrödingera, u kojoj su zorno spojene obje predočbe o elektronu: tjelešce i val. Materijski valovi elektrona imaju po toj zamisli amplitudu

različnu od nulta samo u jednom malenom djeliću prostora; u njemu je dakle zgusnuta sva energija tih valova. Prema tome se taj djelić prostora može smatrati kao mjesto tjelešca. Takav valni paket nije međutim jednostavan valovit pojav, nego je sastavljen od jednostavnih valova, koji



Sl. 8.

izpunjavaju čitav prostor. Dužine tih valova poprimaju sve moguće vrijednosti iz jednog uskog područja oko dužine vala, koja prema de Broglieu pripada tjelešcu, što se giba brzinom v . Ovi se valovi poništavaju interferencijom posvuda osim u gore spomenutom djeliću prostora, u kome grade valni paket. Premda pojedini jednostavni valovi putuju brzinama, koje su prema teoriji de Broglievoj veće od brzine svjetlosti c , ipak se valni paket giba, kako potajno, brzinom v tjelešca. Nažalost, valni paket povećava s vremenom svoj obujam i — kako vrijeme napreduje — znademo sa sve manjom točnošću mjesto čestice. Na granici pak dva područja, na kojoj se materijski valovi lome i reflektiraju, raspada se u dva valna paketa. To su poteškoće, radi kojih se valnom paketa ne može pripisati objektivni značaj.

12. VALNA MEHANIKA i njoj ravnopravna kvantna mehanika odriču se zrne predočbe o gibanju elektrona u atomima. — E. Schrödinger je osnovao (1926) valnu mehaniku vođen paralelizmom, koji postoji između klasične mehanike i geometrijske optike (Hamilton, 1828). Geometrijska optika vrijedi uz uvjet, da su leće i predmet, od kojega valja načiniti sliku, veliki prema dužini vala upotrebene svjetlosti. Pri prielazu na sitne predmete treba se poslužiti optikom, koja vodi računa o valovitoj naravi svjetlosti. Geometrijska optika je tek granični slučaj valne. Schrödinger uzima, da je i mehanika, koja vrijedi za velika tjelesa, tek granični slučaj valne mehanike, koja valja upotrebiti, ako se radi o sitnim tjelešcima i malenim prostorima, kao što je elektron unutar jednog atoma. Osnovnu jednačbu svoje valne mehanike dokučio je Schrödinger služeći se osnovnom jednačbom valne optike te paralelizmom klasične mehanike i geometrijske optike. Dužina vala, koja u tu jednačbu ulazi, izražena je kinetičkom energijom čestice, njenom masom i Planckovom konstantom, a poklapa se s dužinom materijskog vala, što ga je de Broglie pridružio čestici, ali uz uvjet, da je brzina čestice malena prema brzini svjetlosti c . Razlog je tome, što je Schrödinger pošao od klasične mehanike, koja je granični slučaj relativističke, ako su brzine tjelesa malene prema c .

U atomu ima elektron i potencijalnu energiju, jer na njega djeluje električko polje ostalih dijelova atoma. Ta potencijalna energija ulazi u osnovnu jednačbu valne mehanike, jer se na njezin račun može povećati kinetička energija elektrona, dakle smanjiti dužina materijskog vala. U slučaju vodikova atoma potječe to polje od jednog protona. Za funkciju, koja predočuje val u osnovnoj jednačbi, nalazi se diskretan niz jednodimenzionalnih i neprekidnih rješenja, koja su karakterizirana cijelim brojevima, t. zv. kvantnim brojevima. Svakom od ovih rješenja pripada posve određena energija elektrona. Bohrov kvantni uvjet ovdje je suvišan, jer se diskretan niz stacionarnih stanja nadaje sam od sebe. Iz dobivenih valnih funkcija grade se vjerojatnosti, da se elektron nalazi u nekom djelu prostora, odnosno da prijeđe iz jednog stacionarnog stanja u drugo (Born, 1927).

13. RELATIVISTIČKA VALNA MEHANIKA je ona, koja zadovoljava načelo relativnosti. — Već je sam Schrödinger pokušao (1926) uskladiti osnovnu jednačbu valne mehanike s teorijom relativnosti. Jednačba, do koje je došao, nije

medutim dala dobar rezultat za finu strukturu vodikovih črta, dok je Sommerfeldovo relativističko proširenje Bohrove teorije, kako je prije spomenuto, bilo u tom pogledu u skladu s izkustvom. Odatle je Dirac zaključio, da Schrödingerova relativistička valna jednačba nije osnovna jednačba relativističke valne mehanike. Služeći se četverorednim matricama Dirac je uspio (1928) razčepiti relativističku Schrödingerovu diferencijalnu jednačbu, koja je drugog reda, u četiri jednačbe prvog reda. U Diracovu prikazu ima zato valna funkcija četiri komponente. Dvije od ovih odnose se na elektrone pozitivne kinetičke energije, a dvije, što se izprva smatralo velikom poteškoćom, na elektrone negativne kinetičke energije.

Promatra li se elektron s pozitivnom kinetičkom energijom, a s takvima se u izkustvu susrećemo, to iz Diracove teorije sledi, da on ima, kad nalazi u elektromagnetskom polju, osim potencijalne energije, radi svojeg električkog naboja, još i potencijalnu energiju, radi svojega magnetskog momenta. Za veličinu tog momenta teorija daje baš jedan Bohrov magneton. Isto tako sledi iz Diracove teorije, da elektrona pripada i spin u iznosu, što ga zahtijeva hipoteza Goudsmita i Uhlenbecka. Tako se ova hipoteza izvodi posve prirodno iz Diracove valne mehanike.

Dirac nije mogao zanemariti rješenja s negativnom kinetičkom energijom elektrona, jer teorija daje konačnu vjerojatnost, da elektron pozitivne energije, kad se nalazi u polju neke atomske jezgre, prijeđe u stanje negativne energije, a razlika se energije između tih stanja pretvori u foton. Kako bi na taj način domalo svi elektroni iz svijeta nestali, prečavši u »podsvijetu«, to Dirac uzima, da su stanja negativne energije već zaposjednuta, pa po Paulijeve načba takav prielaz nije moguć. Prielaz jednog elektrona iz podsvijeta u svijet moguć je u polju atomske jezgre, ako mu jedan energijom dovoljno bogat foton preda svoju energiju.



Sl. 9.

1933). Sl. 9 je snimka supruge Curie-Juliot, koja prikazuje

Nastala šupljina među elektronima negativne energije ima pozitivni električki naboj i energiju, t. j. masu, običnog elektrona. Ta se dakle šupljina vada poput pozitivno električkog elektrona, pozitrona. Viek je pozitrona međutim kratak. Čim naide na elektron, koji pripada jednom atomu, poništi se s ovim, i njihova se energija pretvori u energiju fotona.

Poteškoće s elektronima negativne energije i teorija šupljina našle su sjajnu potvrdu u eksperimentalnom otkriću pozitrona (Anderson, 1932) i u pretvorbi fotona u elektron i pozitron (t. zv. dvojci: L. Curie i F. Juliot,

pretvorbu jednog fotona gama-zraka ThC'' u elektron i pozitron. Staze ovih učinjene su vidljivima metodom Wilsonove komore, dok je staza fotona, koji je doletio odozdo, nevidljiva. Budući da je u prostoru komore bilo pobuđeno magnetsko polje, to su staze elektrona i pozitrona svinute na protivne strane.

LIT.: K. A. Mülken, *The Electron*, 1928; P. A. M. Dirac, *Die Prinzipien der Quantenmechanik* (prevod s engleskog), 1930; A. Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien*, I. sv., 1931, II. sv., 1939; M. von Laue, *Materiewellen und ihre Interferenzen*, 1948; Sir J. Jeans, *The New Background of Science*, 1933; H. A. Buser, *Grundlagen der Atomphysik*, 1938; Grimschl-Tomaschek, *Lehrbuch der Physik* III., 1943, V. L.-G.



8. INTERVJU GLASU KONCILA

Vatroslav Lopatić:

MODERNA FIZIKA OLAKŠAVA RELIGIOZNU MISAO¹

Razgovor s prof. Lopatićem objavljen u božićnom broju Glasa koncila godine 1967. pod naslovom "Moderna fizika olakšava religioznu misao".

Sveučilišnog profesora dra Vatroslava Lopatića susreli smo na našem velikom narodnom hodočašću u Rim u ovoj Godini Vjere. Njegov visoki lik isticao se među hodočasnicima već na zagrebačkom kolodvoru. Bilo ga je lako već izdaleka opaziti u grupi koja je obilazila sveta mjesta u Rimu. Vidjeli smo ga kako pobožno moli i kako se pričešćuje. Prišli smo mu i predložili da nam razjasni kako se to u njegovoj ličnosti slažu učenjak i vjernik. Izrazio je sumnju da bi njegova ličnost mogla koga zanimati. Morali smo ga uvjeravati da se o njegovoj praktičnoj vjeri među studentima pripovijedaju anegdote i da mnoge mlade intelektualce, osobito one koji su se na zagrebačkim tehničkim fakultetima iz njegovih usta upoznali s temeljima suvremene fizike, veoma zanima kako on u sebi spaja znanost i vjeru. Na kraju nam je obećao da će nam reći štogod, neka ga potražimo u Zagrebu. Ovih smo ga dana pohodili u njegovu stanu, i on nam je spremno odgovorio na nekoliko pitanja.

¹ Glas Koncila, str. 7-8, Božić 1967., (prepisak)



**Recite nam kako Vi gledate na odnos zna-
nosti i vjere.**

Vi zapravo mene pitate kako ja mogu biti i vjernik i fizičar. Da li to u meni harmonira, ili koegzistira ili možda kolidira. Ja bih ovako rekao: Čovjek nešto zna o prirodi. A da nešto zna, on mora prvenstveno vjerovati. Ako hoćete nešto znati o prirodi, morate naprosto vjerovati nekim osnovnim principima. Vjerovati eksperimentima, vjerovati svojim osjetilima, vjerovati da možete nešto spoznati... Dakle, možemo kazati općenito kao princip: mi znamo ukoliko vjerujemo. Fizičar svoje znanje vadi iz eksperimenata, iz iskustva, kojima vjeruje. On tako gradi neku predodžbu o prirodi. Pri tome polazi s vrlo skromnog stajališta, a to je da principijelno ne pita "zašto?", nego samo pita "kako?". On ne pita zašto kamen pada, nego se zadovoljava time da riješi kako kamen pada. Zašto kamen pada, to ni danas fizičar ne zna odgovoriti, a može vrlo fino raspravljati i jako fino razjasniti kako kamen pada. Taj princip da se traži "kako", a ne "zašto", to je ona eksperimentalna škola koja je zapravo počela s Galilejem i koja je prekinula s onim filozofskim nastojanjem da se u jednom potezu filozofskih pretpostavki riješi priroda. Ti pokušaji nisu dovodili do rezultata. Oni su možda mogli zadovoljiti čovjeka, njegovu duševnost, ali ti filozofski pokušaji za rješanje prirode nisu nikada mogli dovesti do nekih tehničkih rezultata, dok se ovaj drugi put pokazao u tom pogledu mnogo plodniji. Zato danas imamo u svijetu ogromne laboratorije koji svi samo ispituju "kako", kako se događa ovo, kako se događa ono. Onda se iz tih mnogih "kako" može odgovoriti na koje manje "zašto".

Ali onaj pravi "zašto?" mi ne znamo. Drogim riječima, mi smo tu na jednom kraju ovog intervala spoznavanja prirode i svijeta. Ako je čovjek samo to, on je nekompletan. Jer on

mora bilo kako riješiti svoje vlastito, intimno pitanje svoje egzistencije, svoga odnosa prema svijetu i što on tu zapravo radi.

Istraživanje prirode - bilo fizika, bilo medicina, kemija, astronomija itd. - to je još uvijek tek malen dio onoga što obasije spektar misli i htijenja. U čovjeku ima još nekih težnji koje treba zadovoljiti. I te težnje ljudi zadovoljavaju. Ljudi su i pjesnici i slikari itd... Prema tome, ako je netko fizičar i ako je misaon čovjek, on nije samom fizikom zadovoljio sebe. Mora biti nekako filozofski orijentiran. Mora imati neki filozofski stav, naprosto stoga što fizika ne daje filozofskog rješenja. Fizika je sama svjesna da su i njezini odgovori privremeni. Njezine se teorije usavršavaju, napreduju. Ona po svojoj naravi nikada neće biti završena. A čovjek je konačan u životu, on želi i prije smrti nekako za sebe stvari riješiti.

Tu dolazi ona druga strana intervala spoznaje, gdje opet treba vjerovati. Sad je tu pitanje da li čovjek vjeruje u Boga ili ne vjeruje u Boga. Ima li Boga ili nema Boga? I tu sad treba odlučiti. Ja sam se odlučio da vjerujem u Boga, da vjerujem da je Bog naš Otac, da je sve stvorio, upravo kako to sve stoji u Vjerovanju. To je onda kompletnost čovjeka - po mom mišljenju.

Spomenuli ste odluku. Što Vas navodi da se odlučite za vjeru a ne možda ateistički nazor?

Mogu kazati da sam bio sretan što su mi roditelji bili kršćani. Odgoj je u kući bio potpuno kršćanski. Otac, istina, nije stalno bio u crkvi, ali on je bio kršćanin. Insistirao je na tome da se moli prije jela, poslije jela, da se moli prije spavanja, kad se ustaje, da se nedjeljom ide u crkvu. Po svojoj naravi moj je otac bio protivnik svakoga nasilja. To je za mene uvijek ostao lijep primjer. Majka je također

bila kršćanka i vrlo pobožna. Išla je često u crkvu. Prema tome, što se kršćanskog odgoja tiče, ja nisam bio prikraćen u svojoj mladosti. Kad sam pošao u gimnaziju, došao sam ovamo u Zagreb. (Rođen sam u Pakracu, ali sam živio u Srijemskoj Mitrovici.) Za vrijeme školovanja u gimnaziji kolege u razredu već su se počeli diferencirati. Meni se nekako činilo da su oni dečki koji su bili kršćani ugodniji, simpatičniji... Ja s njima nisam nikad imamo kakvih sukoba. Eto, meni je s kršćanima uvijek bilo ugodnije.

Ali ne bih mogao reći da je to onaj pravi razlog koji me je odredio da se odlučim. Ja sam zapravo bio impresioniran rezultatima kršćanstva. Kao fizičar volim da stvari i pojave nečim mjerim. Vrijednost neke ideje mjerio sam po njezinim rezultatima. Gledajući kroz povijest i gledajući u životu, ja sam vidio da je kršćanstvo dalo izvanredne rezultate. A najveći rezultat kršćanstva – to je ljubav među ljudima. Neću ovdje govoriti o umjetnosti i drugim područjima. Za mene je najvažnija ljubav među ljudima koju propagira kršćanstvo. I – uza sve ono što je tu i tamo ispalo protivno – ipak je kršćanstvo uspjelo tu ljubav pronijeti kroz svijet. Ako danas gledamo svijet, vidimo da oni narodi koji su prošli kroz kršćanstvo, bez obzira na to kakvu sad imali organizaciju i socijalnu strukturu, ipak u osnovi posjeduju kršćanske principe odnosa među ljudima. To je najveći rezultat kršćanstva, to je ono što je u cijelom zapadnom svijetu ipak neizbrisivo.

Hoćete reći da je kršćanstvo bilo višestoljetna škola humanizacije, a koji narod nije prošao kroz to školovanje, to se na njemu i vidi...

Točno. To je meni bio dokaz da je kršćanstvo na pravom putu, to je ono što me privlači. I to što je kršćanstvo optimistička religija

koja daje mogućnost čovjeku da se veseli već u ovome životu, zapravo da cijeli život vrlo radosno provede...

Nekima se upravo čini da je kršćanstvo vjera pesimizma, da je to religija smrti i patnje, a ne životnog optimizma...

Znate, ja cijelu stvar opet gledam iz osobnog iskustva. Mi smo imali u porodici mnogo tragičnih događaja, mislim tragičnih u ljudskom smislu, mnoge smrti i nesreće, ali, vjerujte mi, nikada nije skršilo optimizma. Moja je majka dugo bolovala prije smrti, ali je unatoč tome bila prožeta velikim optimizmom. I ona je umrla – veselo.

Vi ste uvjereni da je taj optimizam bio plod njezina kršćanskog uvjerenja?

Apsolutno! I ja sam sretan što sam vidio smrt svoje majke. To možda zvuči apsurdno..

Jeste li u toku svojih studija imali trenutaka kad vam je vjera dolazila u pitanje?

Ne, iz znanstvenih razloga ne... pa to je, po ovome što sam već rekao o odnosu fizike i vjere, nemoguće. Jer, vjera je na jednom kraju intervala spoznaje, a prirodne znanosti na drugom kraju. Između jednog i drugog je područje još neistraženo, nepoznato. Vjera i prirodne znanosti jedno prema drugome teže, dopunjuju se, i onda čine kompletnost. I još ostavljaju ogromno područje razmišljanja, istraživanja i života. Religija i znanost određuju rubove intervala. Možda jednom, kada se i znanosti i teologije više razviju, konačno dođe i do spoznaje, do sinteze, ali to možda na svršetku svijeta... Jer toliko je obilje toga, a ljudski um ograničen.

Jeste li kao sveučilišni profesor i visoki stručnjak a u isto vrijeme praktičan katolik imali teškoća u vršenju svoje službe? Niste li kada osjećali da je možda nekim studentima ili profesorima teško prihvatiti što ste vi vjernik?

Nije nikada bilo smetnji u mojim odnosima sa studentima i s kolegama. U tim ljudskim odnosima nisam nikad imao teškoća. Ako sam katkad imao kakovih teškoća, to je bilo od faktora koji su bili daleko od moje struke, koji s mojom strukom nisu imali nikakve veze.

Medu studentima se čak prepričavaju anegdote o Vašem otvorenom i praktičnom kršćanstvu. Tako se pripovijeda nešto o krunici iz vašeg džepa...

Vidite, nažalost, ja ne molim krunicu svakog dana, premda je molimo u obitelji. Bit će da je ta anegdota o krunici izmišljena, a izmišljena je svakako jer je nečim izazvana.

Nama koji smo laici na području fizike, ipak se nekako čini da je sadašnje stanje u fizici, nove spoznaje o atomima, o relativnosti prostora i vremena, strukturi materije, odnosu materije i energije itd., da su uopće te nove spoznaje prilično pokobile i dovele u pitanje neka previše stabilna gledišta stare fizike koja su se lakše mogla spajati s materijalističkim postavkama. Može li se uopće govoriti da nove spoznaje u prirodnim znanostima imaju direktnijih reperkusija na području filozofske i religiozne misli?

Svakako da to mora imati reperkusija. Jer, fizika je dala dubok uvid u pojam prostora i vremena. Ovakvo shvaćanje prostora i vremen-

na kakvo je sada dala fizika, to nijedna filozofija nije mogla ni slutiti. Konkretno mislim na Einsteinovu teoriju relativnosti. To su vrlo duboke misli, to je sasvim sigurno velik prodor ljudskog uma u shvaćanje prirode i to je od bitne važnosti. To je svakako napredak prema Newtonovim shvaćanjima. Ali Newtona se ne može potcjenjivati. On je danas isto onako na cijeni. On je, recimo, prva stepenica, Einstein je druga i tako dalje. S tim Einsteinovim prodorom zanimljivo koincidira drugi znanstveni prodor ljudskog uma također u ovom vijeku: to je Plankovo otkriće one konstante najmanjeg djelovanja, koja je zapravo ključ za shvaćanje pojava u atomskom svijetu. To je kvantna fizika. To su dva izvanredna otkrića ovoga stoljeća. Idejni razvitak fizike koji je iza toga slijedio kulminirao je, može se reći, prije tridesetak godina. Tek u novije vrijeme naziru se neki noviji prodori u shvaćanju elementarnih čestica.

Da li je u okviru tih novih spoznaja o prostoru i vremenu jednom intelektualcu lakše misliti o izvjesnim pojmovima vjere. Mislim na pitanja koja neki još uvijek postavljaju, npr.: "Gdje se nalazi nebo s anđelima i dušama pokojnika?", "Kako je Bog u isti mah prisutan svakom vremenu i svakom mjestu?" i slično. Jesu li modernija shvaćanja u fizici u tom smislu bliža mogućnosti vjerskog, evanđeoskog shvaćanja?

Apsolutno. Pokazalo se iz fizikalnih istraživanja da su prostor i vrijeme bitno povezani s materijom, da su materija, prostor i vrijeme jedno s drugima spleteni. Naprosto zato što smo mi u tijelu mi smo materijalno, prostorno i vremenski ograničeni. Tu je sada nekako bliža misao da Bog koji je nematerijalan nije ni prostoran ni vremenski. Jer to bi bilo protuslovno. Ovo shvaćanje, ovo produbljeneje

spoznaje o vremenu i prostoru olakšava shvaćanje Boga kao neprostornog i nevremenskog, odnosno kao bića koje nije određeno prostorom i vremenom. Kad je Bog stvorio materiju, stvorio je prostor i vrijeme.

Dr Vatroslav Lopašić je sveučilišni profesor u Zagrebu, jedan od naših najistaknutijih fizičara. Generacije naših mladih profesora i inženjera naučile su od njega osnove fizike. Već 17 godina predaje on tu znanost na tehničkim fakultetima, a prije toga predavao je na Višoj pedagoškoj i na sadašnjem Prirodoslovno-matematičkom fakultetu. Bio je među našim stručnjacima koji su udarili temelje zagrebačkom atomskom institutu "Ruder Bošković". Od 1950. do 1956. on je

kao pročelnik organizirao odjel za elektroniku na tom Institutu. Kao učenjak posebno se bavi ultrazvukom i elektromagnetizmom, a osobito se založio za rješavanje nastavnih problema na tehničkim fakultetima i organizaciju laboratorijskih radova. Dr. Lopašić je praktičan vjernik koji svoje vjerske dužnosti obavlja javno. Vjeri on ne pristupa ni kao stručni filozof ni kao teolog, nego kao praktičan kulturni čovjek koji poznaje svoju struku i opće kretanje povijesti i društva. On ne dokazuje Boga iz fizike, ali mu moderna fizika olakšava vjerovanje. Vjera je za njega stvar slobodne odluke da se prihvati Boga koji se objavio i koji se manifestira u kršćanstvu, a to kršćanstvo humanizira povijest i svakom pojedincu omogućuje da optimistički živi i umire.

Pismo dr. Ivana Rogića, kanonika iz Dakova, upućeno prof. Vatroslavu Lopašiću nakon objavljivanja razgovora u Glasu Koncila²

Dakovo, 22. XII.1967.

Dragi gospodine profesore!

Niste nam mogli ljepše Božić čestitati od objavljivanja Vašeg intervjua u Glasu Koncila. Kako sam odložio novine, sjeo sam, da Vam napišem ovaj list i najljepše Vam se zahvalim i čestitam. Sve mi to u glavnom znamo. Svi-ma nam je to više manje poznato. Odnos vjere prema znanosti, teologije prema fizici. Ali ne znamo tako reći. Ne znamo se tako izraziti. A što je najglavnije, nemamo toga auktoriteta, da se naša riječ od nas primi, kao što se prima od jednog opće priznatog i renomiranog stručnjaka i učenjaka. Vjerujem, da sa mnom

isto mišljenje dijele svi iz naših svećeničkih redova. U ime svih, ako smijem tako govoriti, a mislim da smijem, jer nas sve veže svećenička solidarnost, ja Vam čestitam i od srca Vam se iskreno zahvaljujem. Dragi Bog neka Vam naplati onim optimizmom, kojim naplaćuje prave, čiste i iskrene kršćanske duše. Svojom molitvom, naročito u Mementu kod svete Mise, nastojat ću da Vam se odužim iz solidarnosti, koja nas sve u Gospodinu ujedinjuje.

Vaše riječi u Glasu Koncila su bez sumnje pravi i - rekao bih - vrhunski kršćanski i katolički apostolat. To sigurno ne bi bile, da ih

² Prepisak.



S.J. S.J. Dakovačka katedrala

je objavio netko nepoznata imena i bez općeg priznanja i ugleda kao učenjak i stručnjak u predmetu, o kom piše. Tako na Vaše stručno znanje i sav trud, što ste ga ulagali, da to znanje proširite i prenesete na mlade, gledam kao na sastavni dio toga apostolata. Jedno je s drugim uvjetovano. U tom smislu Vaš je cio rad na stručnom području sastavni dio pravog kršćanskog života, u kom rad postaje molitvom, a molitva radom.

Kada ste dakle ovom publikacijom, i da tako kažem, javnom vjeroispovjesti tako hrabro i bez okolišanja stupili pred javnost, smijemo se nadati, da pri tom ne će ostati. Bar ne bi smjelo ostati. Ne mora biti u ovom stilu i na tu temu. Kapital, kojim raspolazete ne samo

kao učenjak, nego i kao vjernik, ne smije ostati zakopan. Pogotovo danas ne, kada svijet oko nas bez orijentacije i putokaza u grčevitom radu, stvaranju i istraživanju ili posvema zaboravlja na sebe, na čovjeka, ili bezglavo i apatično srlja u nepoznato.

Uz izraz mog visokog štovanja izvolite primiti, Vi i Vaša cij. gospoda, moje najbolje prijateljske čestitke i želje, da Božić i Novu Godinu dočekate i provedete uz Božji blagoslov u miru i zadovoljstvu.

Mnogo Vas i gospodu srdačno pozdravlja odani

Dr. Ivan Rogić

Bakovo, 22. XII. 1967.

Dragi gospodine profesore !

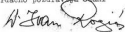
Niste nam mogli ljepše Božić čestitati od objavljivanja Vašeg intervju-a u Glasu Koncila. Kako sam odložio novine, sjeo sam, da Vam napišem ovaj list i najljepše Vam se zahvalim i čestitam. Sve mi to u glavnom znamo. Svima naš je to više manje poznato. Odnos vjere prema znanosti, teologije prema fizici. Ali ne znamo, tako reći. Ne znamo se tako izraziti. A što je najglavnije, nemam toga auktoreteta, da se naša riječ od nas primi, kao što se prima od jednog opće priznatog i renomiranog stručnjaka i učenjaka. Vjerujem, da sa mnom isto mišljenje dijele svi iz naših svećeničkih redova. U ime svih, ako smijem tako govoriti, a mislim da smijem, jer nas sve veže svećenička solidarnost, ja Vam čestitam i od srca Vam se iskreno zahvaljujem. Dragi Bog neka Vam naplati onim optimizmom, kojim naplaćuje prave, čiste i iskrene kršćanske duše. Svojom molitvom, naročito u Mementu kod svete Mise, nastojat ću da Vam se odužim iz solidarnosti, koja nas sve u Gospodinu ujedinjuje.

Vaše riječi u Glasu Koncila su bez sumnje pravi i - rekao bih - vrhunski kršćanski i katolički apostolat. To sigurno ne bi bile, da ih je objavio netko nepoznata imena i bez općeg priznanja i ugleda kao učenjak i stručnjak u predmetu, o kom piše. Tako na Vaše stručno znanje i sav trud, što ste ga ulagali, da to znanje proširite i prenesete na mlade, gledam kao na sastavni dio toga apostolata. Jedno je s drugim uvjetovano. U tom smislu Vaš je cio rad na stručnom području sastavni dio pravog kršćanskog života, u kome rad postaje molitvom, a molitva radom.

Kada set dakle ovom publikacijom i - da tako kažem - javnom vjeroispovijesti tako hrabro i bez okolišanja stupili pred javnost, smijemo se nadati, da pri tom ne će ostati. Bar ne bi smjelo ostati. Ne mora biti u ovom stilu i na tu temu. Kapital, kojim raspolažete ne samo kao učenjak, nego i kao vjernik, ne smije ostati zakopan. Pogotovo danas ne, kada svijet oko nas bez orijentacije i putokaza u grčevitom radu, stvaranju i istraživanju ili posvema zaboravlja na sebe, na čovjeka, ili bezglavo i apatično srlja u nepoznato.

Uz izraz mog visokog štovanja izvolite primiti, Vi i Vaša cij. gospođa, moje najbolje prijateljske čestitke i želje, da Božić i Novu Godinu dočekate i provedete uz Božji blagoslov u miru i zadovoljstvu.

Mnogo Vas i gospođu srdačno pozdravlja odani



9. KORESPONDENCIJA

PISMO KARDINALA ALOJZIJA STEPINCA
PROF. LOPAŠIĆU IZ KRAŠIĆA, 28. III. 1959.

Krašić, 28. III. 1959.



Poštovani gospodine profesore!

Već ste na u par navrata počastili svojim pošiljkama prigodom blagdana preko naše šupljanke, koja kod Vas radi. Srdačna Vam hvala na sjećanju!

Ne bih tolik želio, da radi mene imate možda kakve neugodnosti, jer je origen u očima vlastodržaca, ako tko podržava bilo kakove veze sa njom. Meni je doduše vrlo malo stalo, ili bolje nimalo, do njihovog suda, ali ne bih želio, da drugi trpi radi mene.

Čuo sam a više već strana, da ste i Vi imali dosta neugodnosti i zapostavljanja radi svoga kršćanskog uvjerenja. "a" sam mogu samo čestitati, da se niste sanijeli dali od struje vremena, u kojem živimo. "anas" dakako pripada bon-tonu pljuvati po svemu, što je sveto i uzvišeno. Medjutim, pokazalo se već mnogo puta, da "Wahrheit steigt, Spott sinkt in Surs",

kad se ljudi najmanje nadaју. Već je Voltaire porugljivo napisao, da će Biblija biti za sto godina zaboravljena knjiga. Pa ipak smo doživjeli, kako je javila štampa, da su godine 1933. boljševici prodali tako zvani Codex Sinaiticus (koji se dotada nalazio u Petrogradu) britanskom muzeju u Londonu za 100.000 funti, dok se je ukupno izdanje Voltaire-ovih djela u isto doba i usprkos velike reklame prodavalo za osam šilinga, znači po svesku za manju vrijednost nego što je vrijedio papir.

Ja nisam prorok. Ali Vam mogu sa sigurnošću reći, da će sav ovaj jurilj na Boga, na Crkvu Kristovu svršiti jednoga dana tako nizerno, kao što je svršilo i Voltaire-ov. Možda ja toga lično neću doživjeti, jer mi je zdravije kroz trinaest godina teških progona skršeno, ali to nije ni važno. Važno je, da iza Crkve stoji Krist, Bog, koji nikada ne gubi bitke, makar je na oko poražen, kao što je bio i na Veliki Petak u Jeruzalemu.

Želim zato i sebi i Vama i svemu našem hrvatskom narodu (a i drugima dakako), da ostanemo vjerni Aristu Bogu, a da ne spadnemo na nivo idolopoklonika, koji obožavaju drvo, srebro, zlato, materiju ukratko.

Ima jedna istočnjačka priča, da su Kaldeji, koji su častili vatru kao boga, odlučili utakmicom ustanoviti koji je bog najjači, da li njihov ili drugih naroda. Dakako, kad su drugi donijeli svoje drveće, mjedene i line bogove, vatra ih je udesila i pobijedila. Neki poganski svećenik Egipćanin izmislio je varku: u golemi lonac, sav šuplikav za čišćenje vode, nalio je vode, nakon što je sve šupljine začepio voskom, a na vrh tog velikog lonca nasadio glavu o ^{boga} Canopus-a i sve ofarbao šarenim bojama. Varka je uspjela.

Jer kad su Kaldejci primaknuli žestoki oganj oko Canopus
vosak se odmah rastopio, ali je i voda provalila iz lonca
i pogasila vatru! I Egipćani vikali su pobjedonosno:

"Živio naš bog Canopus! Jači je od ognjenog boga Kaldejac
I lude se masa klanjala zemljanom loncu kao bogu, ali se
nije sjetila, da bi odala počast Stvoritelju, koji je dao
snagu i vatri i vodi: već prema svrbi, za koju ih je odred
Ima i danas puno poklonika i ovog kaldejskog i egipatskog
boga, samo dakako u drugim formama, ali stvarno isto.

I to je najveća sramota čovjeka, obdarenog
od Boga razumom, da se tim razumom služi, da od kralja
avega stvorenja postane mizeran rob stvorenja.

Drago mi je, gospođine profesore, da Vi nist
u tome broju. Uz blagoslov i pozdrav u Gospodinu

† Kraljevi kard. Stepinac
nadbiskup zagrebački



Sl. 9.1.: Krdinal Stepinac u svojoj radnoj sobi u Kraljevu

**ZADNJE PISMO UREDNIŠVA ČASOPISA *THE LISTENER*
CROSSWORD SETTERS PROF. LOPAŠIĆU
I NJEGOVO ODGOVOR, 1980.**

Tel: (01) 888 4880

69 Marlborough Road,
Wood Green,
London, N22 4NJ

September, 1980

Dear *Slavko*

The Listener Crossword Setters' Annual Dinner will take place once more at *YE OLDE COCK TAVERN* in Fleet Street (opposite Chancery Lane), but slightly earlier than usual, on 25th October. The upstairs bar will be open for us at 5 p.m., so that those who wish may congregate and mingle well before dinner is served at 7 p.m., after which, among others, Azed of the Observer has agreed to address us, if all goes well.

Dress will be informal (but respectable, please!) and the cost will be an inflated £7.50 per head - any surplus will be used to hold costs down next year.

Whether you accept or decline this invitation, I would be grateful for a prompt return of the attached slip, and some indication of any circumstances under which non-attenders would join us. For example, would you come if you could be put up for the night in or near London? Is there anyone prepared to offer such accommodation?

Please do not hesitate to write or phone me (evenings - not Friday) with any queries or special requests.

Yours sincerely,

Mike Laws
(JUDE)

Prof. V. Arpašić,
 Đinđićeva 1,
 41000 Zagreb, Yugoslavia
 27th September 1980.

Dear Jude,

Thank you very much for sending me
 the invitation to the Listener⁺Crossword
 Letters' Annual Dinner. ~~I had been~~ ~~glad to attend~~ Unfortunately, I ~~shall~~
 not be able to attend at this
 special occasion. My fragile health
 is the main reason.

My cordial greetings to all ~~setters~~
 and friends who come to the dinner,
 and thanking you once more for
~~for~~ your letter, I am,

Yours sincerely,

Slavko.

**POSVETA PROF. BOŽIČEVIĆA SVOJEM UDŽBENIKU
TEMELJI AUTOMATIKE PROF. LOPAŠIĆU, 2. travnja 1980.**

Juraj Božičević, docent
Trg kralja Tomislava 18
41000 ZAGREB

Cijenjeni prof. Lopašić!

Sa zadovoljstvom Vam šaljem svoju knjigu iz područja
mjerenja i mjernih pretvornika, što sam Vam je posvetio sa
zahvalnošću sa znanje i iskustvo koje sam stekao dok sam
bio demonstrator u Zavodu za fiziku. Vašim predavanjima iz
fizike i eksperimentima pomoću kojih ste ih ilustrirali bili
ste mi uzor u vlastitom nastavnom radu.

Uz štovanje

Juraj Božičević

2. travnja 1980.

JURAJ BOŽIČEVIĆ

TEMELJI AUTOMATIKE

II KNJIGA

MJERNI PRETVORNICI I MJERENJE

Svojim profesor
Vatroslavu Lopašiću



Školska knjiga, Zagreb, 1980

U predgovoru udžbenika *Temelji automatike* prof. Božičević je napisao: » ... Stjecanje prvih iskustava u mjerenju i eksperimentiranju drugom profesoru Vatroslavu Lopašiću, koji

mi je kao studentu i zatim demonstratoru u Zavodu za fiziku bio i ostao uzor eksperimentatora«. Slika prikazuje naslovnicu knjige stavljenju preko posvete knjige.

PISMO PROF. LOPAŠIĆA
 PROF. TOMISLAVU PETKOVIĆU, 14.VII.1991.

Podkoren 9
 64380 Kranjska Gora
 14. VII. 1991.

Dragi gosp. Tomislave! ~
 Vaš ljubakni poziv od
 1. listopada p.g. dostavili su
 mi ovamo gdje provodim
 ljetne mjesec. ~ Ja vam
 šaljem na proslavu
 i intimnijim prihvatanjem
 i želim da uspješno
 nastavite svoj književni
 karijeru.

U mnogo pozdrava

V. Lopatnjak.

PISMO PROF. LOPAŠIĆA DR. MARIU ESSERTU
za 4. godišnjicu skupštine HKDPD-a održanoj 13. prosinca 1997.¹

Poštovani gospodine predsjedniče dr. M. Essert!

Obradovao me je Vaš poziv da dođem na godišnju Skupštinu našega društva 13. prosinca na dan svete Lucije, na dan svjetlosti i prosvjetljenja, a na početku Godine Duha Svetoga. Koliko god bih želio osobno prisustvovati toliko mi je žao da mi to moje zdravstveno stanje ne dopušta. Bit ću sa svima vama u mislima želeći vam mnogo uspjeha i dobrih zaključaka koji će unaprijediti naše Društvo.

Vrijedan je i prilog na zelenom listiću, gdje se odgovara na pitanja: "Tko smo, Što želimo, Što radimo..." . Naročito mi je drago da se iz odgovora na pitanje "Što želimo" vidi da smo shvatili što je prvo i glavno u našem djelovanju i nastojanju, pa da tako ne konkuriramo sindikatima, kad oni ističu svoje želje (koje treba pozdraviti).

Blizu je Božić, pa vam svima želim da vam bude SRETAN i BLAGOSLOVLJEN. Da donese mnogo zadovoljstva i vašim obiteljima, a i onoj omladini koju vi obrazujete i odgajate uz nesebičan trud i u radosti da im možete pomoći da u svojim životima idu dobrim putovima. Nemojte nikada klonuti u svom plemenitom nastojanju. To će vam vaši odgajanci u zahvalnosti uzvratiti. To vam svjedoči stari profa, koji potpisuje ovo pismo.

Sve sakupljene i sve one koji iz bilo kojeg razloga nisu došli na Skupštinu, srdačno pozdravljam sa željom da Nova Godina bude uspješnija od prošle koja se sada gasi.

Voli vas vaš odani vam član

Vatroslav Lopašić

¹ Pismo je uz snažan aplauz nazočnih pročitano na Skupštini društva (prepisak).

PISMO PROF. LOPAŠIĆA PROF. ŠOLCU,
4.siječnja 1995.

Zagreb, dne 4.siječnja 1995.

Dragi Veleposlaniče, dragi prof.Šolc !

Ovo je već treći Božić saredom kako mi dolazi od Vas Božićna čestitka. Po prvi put to je bilo 1992. Sada je konačno krajnje vrijeme da Van se od srca zahvalim na toj pažnji. Doista, dirnut sam činjenicom da me moji bivši studenti ne zaboravljaju i u susretima s njima dolaze mi u sjedenje oni lijepi dani kad sam gledao pred sobom dvoranu punu omladine koja je sračila životnu energiju i tako lijepo pratila moja predavanja. To su bili časovi mojeg najvećeg zadovoljstva, jer sam osjećao suglasje njihovih misli i osjeđaja s mojim; a to je svijest da ja s njima činim jednu cjelinu koja harmonizira na nekom intelektualnom nivou. Stoga sam vrlo rado predavao i volio sam taj posao kao svoju najdražiju zadaću. Dakako, starenje donosi svoja ograničenja i tako se i aktivnošći moraju smanjiti. Prije odlaska u mirovinu, a to je bilo 1.listopada 1982., već godinama misam držao veliki auditorij, oglašio sam se na neka predavanja u postdiplomskom studiju. Tako je moj odlazak sa fakulteta bio postepeni i bez nekakih, za mene osobno, posebnih poteškoća. Sada sam imao obilno vremena da se bavim stvarima za koje prije nije bilo prilike. Mnoge stvari si čovjek želi, no dok je kako se ono kaže u radnom odnosu, ne može te želje ostvariti. Kad dođe miravina, mnogo se toga može nadoknaditi. Međutim, ne možemo se tužiti da ne živimo u presudnom vremenu, kad se mijenja lice Zemlje. Pratim koliko mogu događaje i molim se Bogu da nas spasi iz ove naše opasnostima pune situacije. Ne gubim nade, no da sam kadkad zabrinut, među tajiti. Návraće sam 83 godine života. Obzirom na tu dob, ne tužim se na svoje sdravlje. Živim u skladu sa svojom ženom i materijalno osigurano. Ne mogu se pridružiti onima koji ritualno jadikuju. Imam znanaca s kojima komuniciram. Moji mladi kolege susreću me s pažnjom i prijateljski, tako se lagano udaljujem u svoje misli i uspomena.

Dragi prof.Šolc, pratio sam Vaš životni put i Vaše zalaganje na Sveučilištu u Osijeku. No, posebno sam ponosan, da Van je povjerenica tako časna, a i važno zadaća, da sastupate našu Domovinu u Mađarskoj, u zemlji a kojom su nas vezali vjekovi zajedničke povijesti. Šelim Van da Vaš rad donese obilje dobrih plodova za našu Hrvatsku. Bog Van dao dobro sdravlje i mnogo zadovoljstva i sreće u Vašem priklonom životu. To Van želi Vaš stari profesor

V. Kopce

ROĐENDANSKA ČESTITKA AKAD. VOJISLAVU BEGI

u povodu 75. rođendana poslana godine 1998.²

Čestitku je profesor Vatroslav Lopasić poslao profesoru Zijadu Haznadaru, predstojniku Zavoda za osnove elektrotehnike i električka mjerenja koji ga je pozvao na proslavu rođendana.

«Dragi Zijade, primio sam Tvoj poziv na svečanost povodom obilježavanja 75 godina života našeg dragog Vojislava Bega. Nažalost moja starost i odgovarajuće zdravstveno stanje mi ne dopuštaju da se tom ljubaznom pozivu odazovem, te da osobno prisustvujem tom svečanom činu, no to me ne priječi da ne izrazim svoje najiskrenije čestitke i dobre želje našem slavljeniku koji je svojim radom i plemenitim životom zaslužio da mu se oda najviše poštovanje i priznanje.

Sjećam se kad je Vojo došao na naš Fakultet u šezdesetim godinama kad je bila u jeku borba za novi način studiranja «godina za godinom». Bili su izrađeni nastavni planovi i programi. Svi su govorili «to ne može uspjeti». Vojo je tada tihim, no nadasve solidnim radom, postavio vježbe i ostalu nastavu svojega predmeta na uzorni način da se uklapa u taj novi koncept nastave. Kakovo je tada bilo ozračje najbolje pokazuje izjava tadanjega predajednika Savjeta našeg fakulteta Josipa Čuljata da je to «borba stani pani». To smo sretno preživjeli i što je najvažnije pobijedili.

Naš mladi Bego zdušno se prihvatio i znanstvenog rada i suradnje s drugim ustanovama. Tako je svoje iskustvo i znanje o viskonaponskim transformatorima primijenio pri konstrukciji neutronske generatore u Institutu Ruder Bošković. Taj je uređaj svojim pouzdanim funkcioniranjem omogućio mnoge radove članova Instituta.

Međutim, jedno bih htio posebno istaknuti, a to je rad na naponskoj vagi kojom se naš slavljenik već godinama bavi i u koji ulaže najbolje snage svojega uma i znanja. Pratim tako sa strane to nastojanje koje je postiglo vrhunske rezultate mjerenjelstva koji su i međunarodno zapaženi i priznati. Uvođenjem brzine svjetlosti u praz-

² Mjeriteljski vjesnik, god. 18. rujan 2000, br. 1-2, str. 3562-3563, (preisak).



Sl. 9.2: Akademik Vojislav Begi (1923.-1999.)

nini kao stalnice s definiranim mjernim brojem ima za posljedicu da je i dielektričnost praznine dobila točan mjerni broj. Drugim rječima to znači da je za ostvarenje mjernih jedinica u elektromagnetizmu načelno jednako vrijedna kao i strujna vaga. Kojoj dati prednost? Tu ima više stvari koje treba, po mom mišljenju, uzeti u obzir. U prvom je redu stupanj preciznosti koja se može postići pri ostvarenju jedinice volt, odnosno amper. Drugo što je važno jest kako se mogu ostvariti sekundarne normale potrebne za baždarenje. Tu mislim da je u prednosti naponska vaga. Međutim, do sad postignuti rezultati opravdavaju u punoj mjeri da se rad na tom projektu nastavi i ja mu želim pun uspjeh.

Do sada sam iznio nekoliko svojih misli o mom dragom prijatelju akademiku prof. dr. sc. Vojislavu Begi kao djelatniku našega fakulteta i znanstvenom radniku. Međutim, ono što se je mene najviše dojmilo, to je visoka kultura i humanost mogeg toliko mi dragog Voje. Njegova klasična naobrazba bila je valjan temelj ne samo za znanstveni rad, nego i za Vojin odnos prema tom radu koji je primjer idealističke nesebičnosti i maksimalne poštivovnosti. Njega pri tome ne vodi nikakva materijalna probit; važni su mu znanstveni rezultati. Tu dolazi do izražaja Vojin odnos prema suradnicima koji primaju idealizam i poštivovnost svojega profesora i vođe. Tako u skladu uspijeva ne samo znanstveni projekt nego i sklad i harmonija međuljudskih odnosa.

Želim Voji dobro zdravlje i dug život, te da mu njegova plemenita nastojanja budu okrunjena punim uspjehom i priznanjem. Od srca pozdravljam sve sudionike svečanosti. Vaš odani Vam Vatroslav Lopašić.*

POTPISANI:

Juraj Božičević	?	Koroman Vladimir
?	Zdravko Hebel	Jurica Sorić
?	Vladimir Mikuličić	Božidar Liščić
Z. Kniewald	Stanko Tonković	Tomislav Filetin
Alfirević	Tomislav Lovrić	Neven Duić
Dražen Aničić	?	Nikola Šerman
Z. Gomzi	Janjanin	Branko Staniša
Darko Maljković	Zvonko Benčić	Zdravko Virag
Ante Mihanović	Zlatko Plenković	Antun ?
V. Bogunović	Jeren	Ivo Senjanović
Siniša ?	Boris Kviz	Marin ?
Stjepan Car	?	Mario Žagar
Ivan Ilić	Zvonimir Marić	Dinko Mikulić
M. O. Ščitaroci	Karolj Skala	Branimir Milčić
?	Vesna Kos	Marijan Andrašec
Mladen Kos	Vesna Cerovac	Alojz Čaharija
?	Višnja Henč-Bartolić	Josip Marušić
Jakobović	?	Mate Sršen
Zentner	Nediljka Gaurina-Međumurec	Mladen Šercer
Drago Ban	?	Risović Stjepan
Ante Miliša	?	Zdenka Bolanča
?	Ana Marija Grancarić	Stanislav Bolanča
?	Zijad Haznadar	Ružica Čunko
J. ?	?	Hrvoje ?
Sever Stanislav		Ivo Soljačić
		Tripal Branko
		Bernard Franković

10. PUBLICISTIČKI NAPISI I PREDAVANJA O PROFESORU LOPAŠIĆU

Vladimir Muljević¹

ŠEZDESETA OBLJETNICA PROFESORA VATROSLAVA LOPAŠIĆA²

¹²Dana 9. prosinca ove godine navršava profesor Vatroslav Lopašić, redoviti profesor Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, šezdesetu godinu života. Rođen je 9. prosinca 1911. u Pakracu u činovničkoj obitelji.

Osnovnu školu polazio je u Srijemskoj Mitrovici, a realnu gimnaziju u Zagrebu. Maturirao je 1930. godine. Upisao se na Filozofski fakultet u Zagrebu, gdje je diplomirao 1934. na grupi za Teorijsku matematiku. Iste godine je imenovan asistentom dnevničarom u Fizikalnom zavodu Filozofskog fakulteta u Zagrebu, a godine 1936. asistentom pripravnikom na istom Zavodu.

Godine 1938. položio je stručni ispit pred Komisijom Univerziteta u Beogradu, i te iste godine doktorirao iz Eksperimentalne fizike na Sveučilištu u Zagrebu. Godine 1939. imenovan je pravim asistentom

iz Fizike. Od godine 1943. do 1945. predavao je Teorijsku fiziku na Filozofskom fakultetu u Zagrebu.

Godine 1946. postavljen je za honorarnog nastavnika Fizike na Visokoj pedagoškoj školi u Zagrebu, a godine 1947. postaje profesorom na toj školi. Godine 1950. izabran je za izvanrednog profesora fizike na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od tada je profesor Lopašić sedamnaest godina predstojnik Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta.

Iste godine imenovan je članom Odbora za podizanje Instituta za fiziku u Zagrebu (kasnije Institut Ruder Bošković). U Institutu Ruder Bošković bio je pročelnik III. odjela do godine 1956.

Godine 1958. izabran je za redovnog profesora fizike na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Šk. god. 1959/60. bio je profesor Lopašić dekan Elektrotehničkog fakulteta, te je imenovan i za predsjednika Komisije za izbor nastavnika za Elektrotehnički fakultet u Splitu.

Godine 1960. profesor Lopašić pohvaljen je i nagrađen od GNO Splita za

¹ Profesor emeritus Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu (1913.-2007.).

² *Hrvatsko sveučilište*, 8. prosinca 1971., rubrika *Izjave*, str. 5; autor potpisan inicijalima v. m./ceerisakl

taj rad. Godine 1965. odlikovan je Ordenom rada sa zlatnim vijencem. Čuvena su njegova predavanja iz predmeta Eksperimentalna fizika za studente tehničkih fakulteta, osnovana na mnogim lijepim i brižno pripremljenim pokusima. Godine 1958. postavio je profesor Lopašić laboratorij za studentske vježbe iz fizike. U tom laboratoriju vrše vježbe studenti Elektrotehničkog, Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Tehnološkog, Rudarsko-geološkog fakulteta, kao i studenti raznih visokih tehničkih škola civilnog i vojnog smjera.

Profesor Lopašić objavio je niz radova iz ultraakustike, elektromagnetskih mjerenja,

termodinamike, nastave fizike, te skripta za slušače na tehničkim fakultetima. U povodu 50-godišnjice studija elektrotehnike u Hrvatskoj, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu dodijelio je zlatnu plaketu profesoru dr. Vatroslavu Lopašiću u znak priznanja za doprinos razvoju i unapređenju Elektrotehničkog fakulteta.

Čestitajući profesoru Lopašiću 60-ti rođendan želimo mu dug život, dobro zdravlje i mnogo plodne aktivnosti na našem Sveučilištu.

Zdravko Mršić³

Naši pokojnici - VATROSLAV LOPAŠIĆ⁴

U Zagrebu je 17. prosinca umro istaknuti znanstvenik, profesor i vjernik prof. dr. Vatroslav Lopašić. Rodio se je u Pakracu, kao potomak stare karlovačke obitelji. Osnovnu školu pohađao je u Srijemskoj Mitrovici. Kao sedmogodišnji dječak čudio se prestanku rata (I. svjetskog), jer mu se rat, u kojem je došao k svijesti, činio normalnim stanjem. Gimnaziju je pohađao u Zagrebu. Njegova izuzetna umna nadarenost dobila je pravo priznanje kada je 1934. godine kao diplomirani student matematike i fizike jedini među kolegama zadržan, mimo ondašnje prakse, kao asistent na katedri za fiziku Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Dvane 1938. godine doktorirao je istraživanjem

ultrazvuka, kao jedan od pionira toga danas nezaobilaznog područja znanosti, medicine i industrijske prakse.

Godine 1945. dr. Lopašić bio je progнан s Filozofskoga fakulteta na Pedagošku akademiju u Zagrebu, upravo zato da mu se, kao nepoćudnom vjerniku, onemoguću znanstveno istraživanje. Ipak, njegovo neizmjerljivo znanje i zamjerno duboko razumijevanje prirodnih pojava i zakona doveli su ga za izvanrednog profesora u Zavod za fiziku Tehničkoga fakulteta u Zagrebu, gdje je već nakon svojih prvih predavanja u prenatrpanoj velikoj predavaonici u Kačićevoj ulici počeo prerastati u mit.

Posebnost Lopašićevih predavanja bila je u pokusima kojima je pokazivao i dokazivao zakone koji ravnaaju prirodnim pojavama. Logično zaključivanje o prirodnim pojavama i zakonima, kojim je naoružao desetine tisuća studenata, bilo je njegovim

³ Magistar matematičke logike i diplomirani inženjer matematike i fizike.

⁴ *Glas Koncila*, god. XLIII, br. 1, 4. siječnja 2004., rubrika Naši pokojnici. Autor se potpisao inicijalima Z. M. (inimik)

osobnim sredstvom kojim se borio protiv komunističke bezbožničke promidžbe. Lopašićevo držanje i ponašanje u znanstvenom radu i u društvu temeljilo se na njegovoj vjeri da je Bog nositelj života i da život, koji je čovjeku darovan, valja uporabiti za unapređenje Božjeg svijeta i time se Bogu odužiti.

Posljednjih bolnih tjedana svoga života ponavljao je kako »sada živi samo za nebo«.

Od obnove hrvatske države svaku svoju osobnu i obiteljsku molitvu završavao je zazivom: »Bože, čuvaj Hrvatsku!« Profesor Lopašić bio je prijatelj sve trojice preminulih kardinala njegova vremena.

Branko Hanžek⁵

U SPOMEN VELIKOM ČOVJEKU: VATROSLAV LOPAŠIĆ⁶



(Pakrac, 9. prosinca 1911. – Zagreb, 17. prosinca 2003.)

Kada me pred Uskrs 2003. godine telefonom nazvao profesor Lopašić, u jednoj sam ruci stiskao novac i kartu za put u Makarsku na simpozij fizičara, a u drugoj mi je ruci bila knjiga K. Cerovca "Sklad vjere i znanosti". Budući da je bila godina

krunice, u džepu sam imao krunicu, a u srcu nakanu njezina moljenja, u koju sam uključio i profesora Lopašića. Providnosna podudarnost osuportila me je. U tom stjecaju okolnosti bilo je sažeto sve: Lopašić, "visokoga lika i malo više Božji" – kako je običavala reći njegova draga supruga Terezija – bio je vrstan fizičar, ali i praktični katolik i aktivan laik. Gotovo idealan da bude svjetlost za budućnost i za sva vremena, svijetao primjer sklada vjere i znanosti, toliko potrebna i našoj napaćenoj Hrvatskoj, njezinu narodu.

Među nama nema više prof. dr. Vatroslava Lopašića, čovjeka uzorita i plemenita, pravedna i istinoljubiva, velikoga domoljuba, časnoga znanstvenika, omiljenoga profesora fizike, do 17. prosinca 2003. godine najstarijega člana Hrvatskoga mjeriteljskoga društva te najstarijega i ujedno prvoga počasnoga člana Hrvatskoga katoličkoga društva prosvjetnih djelatnika. Okrijepljen svetim sakramentima, zauvijek se oprostio od ovozemaljskoga života 17. prosinca 2003. godine. Napustio nas je onako kako je i živio: tiho, skromno i po-

⁵ Viši znanstveni suradnik (doktor znanosti), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti.

⁶ *Marulić*, br. 4, srpanj-kolovoz 2004., str. 751–755. Članak je u svojem nastajanju poticajno potpomagan dragocjenim kazivanjem supruge prof. Lopašića – Terezije rođene Ivaskić (rođom iz Kraljeva), (reprint).

božno, s krunicom na sklopljenim rukama i s krsnom košuljicom položenom na prsima. Krunicu, lijepu i sjajnu, od koje se nikada nije odvajao, darovao mu je blaženi kardinal Alojzije Stepinac, a krsna je košuljica simbol dubokoga poštivanja volje njegove majke, koja je željela da njezin sin na posljednji počinak pođe upravo s tim dragim predmetom. To je bila i njegova želja.

Veličanstven je bio, toga sunčanoga, ali prohladnoga 19. prosinca 2003., ispraćaj zemnih ostataka profesora Lopašića do obiteljske grobnice na zagrebačkome Mirogoju. Na vječni su ga počinak uz članove najuže obitelji ispratili pomoćni biskup zagrebački mons. Josip Mrzljak, vlč. Dragutin Komorčec, fra Bonaventura Duda, p. Ivan Pal-Sztrilich, vlč. Ivan Šestak i vlč. Hinko Goričanec. Uz mnoštvo prijatelja, kolega, suradnika, znanaca i poštovatelja, nazočan je bio i dekan Fakulteta elektrotehnike i računarstva prof. dr. sc. Mladen Kos.

Svi oni koji su se na bilo koji način našli u blizini osebuje osobnosti Vatroslava Lopašića složiti će se u jednome: nije lako o njemu pisati i govoriti. Nije lako, zato što je profesor Lopašić bio velik čovjek, istinski vjernik i iskren zaljubljenik svoje struke. Sve o čemu je razmišljao, čime se bavio i u što je vjerovao bilo je prožeto jednim ciljem: biti čovjek i osobnim primjerom pokazati kako biti pobožan i kako biti bližnji. Ipak, ovom prilikom oslonit ćemo se na – prikladniju, vremenski postojaniju a prostorno daleko-

sežniju – pisanu riječ kako bismo trajno sačuvali spomen na dragog pokojnika.

Svoje duhovne sposobnosti, razum i volju, uvijek je nastojao otvoriti Bogu. Bio je uvijek dionik dobra i znao je prepoznati dobro u ljudima. Ostao je u trajnoj uspomeni mnogobrojnim poštovateljima i učenicima u domovini, a rado ga se sjećaju i poštovatelji izvan domovine, primjerice u Londonu, gdje njegov lik i djelo promiče poštovatelj s kojim se dopisivao i koji ga je posjećivao u Zagrebu. Rado ga se sjeća i njegov bivši ciriški učenik, koji se s njim dopisivao a vijest o smrti prenijet će svojim prijateljima i znancima. Bio je Lopašić dionik dobra i onda kada je zanemarivao očitu, grubu ovozemnu domovinsku stvarnost i vidio bitno, čvrsto vjerujući u Božju prisutnost u svijetu – što je i istaknuo u jednom svom pismu upućenom bivšem učniku u Budimpeštu.

Bio je dionik dobra i onda kada je s dojmljivom sigurnošću ukazivao na zakonitosti ovoga svijeta oslanjajući se i na vlastita mjerenja. Isticao je da iz vjerovanja u načela, eksperimente, osjetila i spoznaju proizlazi znanje. Smatrao je da uistinu postoje ovostrana i onostrana stvarnost koje se međusobno isprepliću i skladno supostoje. Bio je osoba vjere i znanosti, koje su u njemu harmonirale (njegov izraz!), ali i duboko osjećajna duša prema onima koji su tu njegovu osobinu znali potaknuti. Osjećao je zadovoljstvo zbog suglasja između svojih i misli i osjećaja svojih učenika i poštovatelja. Posje-

dovao je i svijest da s učenicima čini cjelinu koja harmonira na nekom intelektualnom nivou – kao što je istaknuo u jednom svom pismu. Ukratko: rado je predavao i volio je svoj posao, smatrajući ga svojom najvažnijom zadaćom.

Fizikalne zakone, koji ravnaju ovim vremenitim svijetom, blagopokojni je Lopašić smatrao samo obostranim odrazom svijeta Vječne Radosti. Svojom izrečenom i napisanom riječju, a još više izvođenjem samo sebi svojstvenih eksperimenata – mnoge je naučio osnovama mjerenja, tom najsigurnijem načinu otkrivanja fizikalnih zakonitosti. Prema njegovim riječima: svrha je fizikalnih mjerenja da se, kad se skupi dovoljno iskustva, iznađu i matematičkim izrazima oblikuju veze između fizikalnih veličina, a ti se izrazi tada nazivaju fizikalnim zakonima. Broj znatizeljnih promatrača i ljubitelja Lopašićevih originalno smišljenih, sazdanih i izvođenih eksperimenata bio je znatno veći nego službenih slušača na tadašnjem Tehničkom fakultetu u Zagrebu, poslije Elektrotehničkom, danas Fakultetu elektrotehnike i računarstva (u daljnjem tekstu: FER). Ti promatrači i slušači nerijetko su znali i spontano zapljeskati Lopašiću nakon maestralno izvedena demonstracijskog pokusa. Ako se njima pridoda nimalen broj čitatelja i proučavatelja njegovih skripti i knjiga, tek onda naslućujemo prave razmjere blagotvornog utjecaja tog velikog čovjeka i pedagoga.

U ophođenju s ljudima svagda je

bio ljubazan i skroman, spreman pažljivo saslušati sugovornika i pomoći mu, i uvijek se držeći zadane riječi. Bio je skroman i onda kada se nećkao dati intervju novinarima "Glasa Koncila" 1967. godine. Nije volio da Ga se hvali, a ni kudi ako je pokuda bila zapravo njemu na hvalu. Veličina te skromnosti čudesno se prelijevala na posjetitelje njegova doma, gdje je zajedno s brižnom i dragom suprugom uzorito stvarao gostoprimljivo ozračje.

O važnim pitanjima eksperimentalne fizike pisao je u svojim skriptama i knjigama jednostavno i iscrpno. Poszao je i za povijesnom metodom kao za sigurnim pokazateljem te je, pozivajući se na velikane našeg podneblja poput Rudera Boškovića, Vinka Dvořáka i Nikole Tesle, gradio čvrste temelje svojem znanstvenom iskazivu. Stoga njegova pisana djela nije trebalo tumačiti. Napisao je nekoliko skripta pod naslovom *Predavanja iz fizike*, koja su doživjela mnoštvo izdanja, i skripta *Mjere i mjerenja u fizici*. Lopašić tu piše da su fizikalne zakonitosti neovisne o mjernim jedinicama kojima ih iskazujemo, a nezavisna je i matematička formulacija zakonitosti. Znao je Lopašić da se takvim poimanjem fizike, mjeriteljstva i matematike dalekosežno primiče istini. Ali znao je i da istinitost nije povezana s blistavom interpretacijom, nego jedino s pristupačnošću cjelokupne Istine.

Što se tiče pedagoških osobina dragog pokojnika, valja istaći da on nije bio samo vrstan učitelj, nego i

zahvalan učenik. Svoju zahvalnu učeničku odanost Stanku Hondlu iskazao je i predgovorom svojoj knjizi (udžbeniku) *Predavanja iz fizike, elektromagnetno polje*, koju je posvetio njegovoj uspomeni.

Vrhunskom profesionalizmu Lopašić je pridodao mudru opreznost, i to je razlog što nije objavio još više radova. Njegovi bliski suradnici mogli su se često osvjedočiti kako se o nekoj znanstvenoj tvrdnji nije htio očitovati sve dok je nije mogao trojako utvrditi kao činjenicu. Takav vrhunski rad nije mogao ostati nezapažen, te je Lopašić za nj dobio i konkretna priznanja: 1965. godine Orden rada sa zlatnim vijencem; 1969. godine, u povodu pedesetgodišnjice studija elektrotehnike u Hrvatskoj, plaketu Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu u znak priznanja za doprinos razvoju i unapređenju tog fakulteta; 1981. godine zlatnu plaketu Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu kao priznanje za 25 godina djelovanja na fakultetu; 1989. godine, povodom sedamdesete obljetnice osnivanja Tehničke visoke škole u Zagrebu, povelju za izuzetan doprinos razvoju tehničkih znanosti; i povelju Sveučilišta u Zagrebu za izuzetan doprinos razvoju tehničkih znanosti. Uz to primio je nagradu i priznanje grada Splita. Bio je i, od 1994. godine, počasni član Hrvatske Akademije tehničkih znanosti, a Institut "Ruder Bošković" imenovao ga je počasnim savjetnikom, nakon što je blagopokojnik bio član odbora za njegovo utemeljenje (1950.) i pročelnik nje-

gova III. odjela (1952. – 1956). Uz to, 21. studenoga 2001. godine FER ga je izabrao za počasno zvanje posebno istaknutoga profesor, zbog posebnih zasluga za napredak i razvitak tog fakulteta te zbog priznatu nastavne i znanstvene izvrsnosti. Dana 25. rujna 1981. New York Academy of Science izdao je plaketu Vatroslavu Lopašiću kao svom aktivnom članu.

Oproštajno slovo, malo preinačeno, što ga je Hondl uputio svom učitelju Vinku Dvořáku prilikom ukopa na Mirogoju, pristajalo bi i mojem učitelju: "Vatroslav Lopašić preselio se u Vječnost... Dobar čovjek položen je u grob licem prema gore, otkuda je svjetlost... Onamo se – 'nad zemaljske neravnosti' – obraća i naše duhovno oko svakom zgodom. Lopašić bijaše rodом i srcem Hrvat! Predajemo ga hrvatskoj zemlji, koja će ga rado primiti, jer je dužnosti prema domovini do kraja života savjesno vršio kao pravi rodoljub." Nama ostaje da Lopašića nasljedujemo, uvijek ga otimajući zaboravu, a njemu neka je laka hrvatska zemlja.

Hvala Vam za sve i Bog neka bude s Vama, uzoriti profesore Lopašiću!

Dubravko Pevec⁷

Prof. dr. sc. VATROSLAV LOPAŠIĆ⁸

(Pakrac, 9. prosinca 1911. – Zagreb, 17. prosinca, 2003.)



Prof. dr. sc. Vatroslav Lopašić, redoviti profesor u mirovini Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, rođen je 9. prosinca 1911. u Pakracu, gdje mu je otac dr. Jeronim Lopašić bio tada kotarski sudac. Pučku školu polazio je u Srijemskoj Mitrovici, a realnu gimnaziju u Zagrebu.

Nakon što je u lipnju 1930. godine s odličnim uspjehom završio realnu gimnaziju u

Zagrebu, iste je godine na jesen započeo studij matematike, teorijske fizike i eksperimentalne fizike na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Studij je završio u najkraćem mogućem roku u lipnju 1934. diplomiravši s odličnim uspjehom. Iste je godine dobio mjesto asistenta dnevničara u Fizikalnom zavodu Sveučilišta u Zagrebu kod prof. dr. Stanka Hondla. Znanstveni rad profesora Lopašića, koji je započeo po dolasku u Fizikalni zavod, uključuje teorijska i eksperimentalna istraživanja o ultrazvučnom interferometru s promjenljivom frekvencijom. Pomoću interferometra koji je izradio profesor Lopašić mogla se izmjeriti među inim brzina zvuka u benzolu i u vodi. Dobiveni rezultati slagali su se na manje od dva promila s vrlo točnim rezultatima mjerenja što su ih dobili drugi istraživači pomoću ultrazvučnih interferometara osnovanih na principu različitom od onog kojim se služio profesor Lopašić. Može se dakle smatrati da je eksperiment u potpunosti potvrdio teorijska razmatranja profesora Lopašića te je time po ocjeni akademika Mladena Paića dao lijep doprinos problemu određivanja brzine zvuka u kapljevinama. Taj je rad ujedno i njegova doktorska disertacija, koju je pod naslovom »Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom« obranio u svibnju 1938. godine. Rad je publiciran 1938. godine u časopisu Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, a 1939. godine i u njenom »Bulletin International«.

Nakon doktorata radi kao asistent u Fizikalnom zavodu Sveučilišta i u suradnji s profesorom Hondlom i ostalima priprema eksperimente za predavanja iz fizike i održava fizički praktikum. Godine 1939. dobio je

⁷ Redoviti profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

⁸ *Privreda*, god. 94., br. 923.–924., 6–7/04., str. 5–7. Isti tekst pročitao je Dubravko Pevec na komemoracijskom skupu 20. siječnja 2004. godine na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu

jednogodišnju stipendiju British Councila za postdoktorski studij fizike na University of London, koju zbog izbijanja Drugoga svjetskog rata nije uspio realizirati. Godine 1940. imenovan je honorarnim nastavnikom za vježbe iz fizike na Višoj pedagoškoj školi u Zagrebu. Ratne godine proveo je na radnom mjestu asistenta pri Fizikalnom zavodu Sveučilišta sve do veljače 1943., kad je bio imenovan izvanrednim profesorom za teoretsku fiziku na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Nakon rata vratio se u Fizikalni zavod Sveučilišta u svojstvu asistenta. Uz nastavni rad nastavio se baviti i eksperimentalnim istraživanjima u fizici. Bavljenje ultrazvukom i oscilatorskim krugovima dalo je profesor Lopašiću povoda za tri popularna članka, u kojima se nije zadovoljio pukom kompilacijom, nego je u njima iznio i rezultate svog eksperimentalnog rada.

Godine 1946. objavio je zajedno s dr. Zlatkom Jankovićem u Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom rad pod naslovom: »Jedan pokus fizikalnim njihovom«. U tom radu autori obrađuju ponajprije teoriju pojave, koja se vidi pri rušenju tvorničkih dimnjaka, gdje se otkida gornji dio. Na temelju te teorije autori izrađuju eksperimentalni uređaj, koji velikom točnošću potvrđuje njihova teorijska razmatranja. Konstruirani aparat je savršeniji od prije njih predloženih uređaja.

Od godine 1946. predavao je na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu kao honorarni nastavnik elektroniku. Iste godine imenovan je honorarnim nastavnikom Više pedagoške škole u Zagrebu, a 1947. godine prelazi na Višu pedagošku školu u svojstvu profesora fizike. Na tom položaju ostaje do 1950. godine, kada dobiva mjesto izvanrednog profesora fizike na Tehničkom fakultetu u Zagrebu. Istovremeno postaje i predstojnik Zavoda za fiziku Tehničkog fakulteta. Prelaskom na Tehnički fakultet glaviniu vremena i napora ulaže prof. Lopašić u opremanje i uređivanje

Zavoda za fiziku i organizaciju eksperimentalnoga kolegija fizike te u održavanja nastave i ispita pod izvanredno teškim uvjetima. Došavši u vrlo oskudno opremljeni zavod, morao je dvije godine posuđivati aparate iz Prirodoslovno-matematičkog fakulteta i prenositi ih odanle na Tehnički fakultet i natrag prilikom svakog predavanja, dok nije upornim nastojanjem uspio u okviru skromnih kredita, koji su bili na raspolaganju, postupno opremiti Zavod najnužnijim spravama. Napokon je postigao da su se nadgradile nove prostorije, u koje se Zavod mogao useliti. Obavljajući tako nastavu i ispite s vrlo velikim brojem studenata, uz nedovoljno pomoćno osoblje, prof. Lopašić je velikim zalaganjem uspio nastavu fizike na Tehničkom fakultetu dovesti na zamjetnu razinu.

Prigodom osnivanja Instituta »Ruder Bošković«, imenovan je 1951. godine članom Osnivačkog odbora. U Institutu je organizirao i opremio Elektroničku grupu, a surađivao je i u Odboru za izgradnju ciklotrona. U sklopu te aktivnosti bio je u znanstvenim posjetima u Engleskoj u ožujku 1952., gdje je radio mjesec dana na University of Birmingham, zatim u prosincu 1952. u Francuskoj, kad je sudjelovao u Parizu na Konferenciji za izgradnju protonsinkrotrona CERN-a, te je zatim radio tri tjedna na rekonstrukciji ciklotrona u Laboratory for Nuclear Research u Liverpoolu. Pri povratku iz Liverpoola posjetio je Atomski centar u Harwellu i Elektronički zavod Kraljevske tehničke visoke škole u Stockholmu. Godine 1954. radio je na ciklotronu u Saclay kraj Pariza te na ciklotronu u Hammersmith Hospital u Londonu.

Zajedno s Weissglassom i Čeljuskom objavio je profesor Lopašić u *Schweizerische Zeitschrift für allgemeine Pathologie und Bakteriologie* raspravu »Die Gewinnung einiger Antigene mittels Ultraschall« (Dobivanje antigena pomoću ultrazvuka). Istraživa-

nja su izvršena ultrazvukom proizvedenim pomoću oscilatora koji pobuđuje piezoelektričnu kvarc-ploču, od koje ultrazvuk prelazi na parafinsko ulje. U toj se tekućini nalazi ampula, u kojoj je vođena suspenzija klica. Problem prijelaza ultrazvuka kroz dno ampule riješen je tako, da je stakleno dno odbrušeno i nadomješteno celofanskom membranom debljine 0,1 mm. Uređaj je omogućio da se postigne amplituda ubrzanja od 150 000 g (g = ubrzanje sile teže).

U Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom 1955. izašla je nadalje rasprava »The electromagnetic catenary« (Elektromagnetska lančanica). U tom se radu obrađuje problem ravnoteže gipke, tanke i jednolične žice, kojom teče stalna struja, a visi u vertikalnom homogenom magnetskom polju. Problem je riješen pomoću vektorskog računa i upotrebom cilindričnih koordinata. Pokazano je da dobivena krivulja leži na kružnom uspravnom valjku te bi razmotavanjem toga valjka prešla u običnu lančanicu.

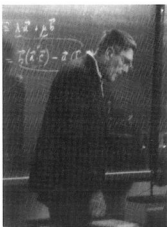
U istom časopisu iste godine izašao je još članak »A note on the wire loop method for locating the median plane in a cyclotron magnet« (Prilog metodi žičane petlje za određivanje medijalne ravnine ciklotronskog magneta). Na Sveučilištu u Chicagu upotrijebljena je za određivanje ravnotežne staze čestica u sinkrociklotronu žičana petlja, kojom teče stalna struja i koja je poduprta u jednoj točki hidrometarskim plovkom. Prof. Lopašić pokazao je u svom radu da se točka u kojoj je petlja poduprta plovkom nalazi vrlo približno u medijalnoj ravnini magnetskog polja ako promjena struje ne utječe na visinu plovka.

No treba sada istaknuti onaj dio djelatnosti prof. Lopašića koji je bez sumnje apsorbirao najveći dio njegovih snaga i njegova vremena i ostavio najdublji trag, a to je njegova nastavnička djelatnost. To su nespojava ne-

zaboravna predavanja iz fizike zasnovana na pokusima koji su se izvodili za slušače Elektrotehničkog fakulteta i nekih srodnih tehničkih fakulteta. Načelo njegovih izlaganja bilo je da se pokaže kako se na osnovi eksperimentalnih činjenica, a uz potrebna teorijska razmatranja, dolazi do fizikalnih zakona. To je postizao polazeći od osnovnih postavki te postupno stizao do konačne formulacije zakona. Stoga su, uz pomoć suradnika, izvedeni pokusi na predavanjima bili uvijek brižno pripremljeni. Ako je predavanje bilo sljedećeg jutra, dan prije, u četiri sata poslije podne dolazio je u pripremnu sobu kraj predavaonice, gdje se sastao sa suradnicima, asistentima i demonstratorima. Prikupile su se potrebne mjerne sprave i instrumenti, odnijeli se u predavaonicu na stolove ispred ploče. Tu su se složili eksperimenti. Svaki od eksperimenata bio je pažljivo iskušan. Ako je bilo potrebno, pokus se dotjerao. Stoga je uvijek bila u blizini radionica u kojoj se mogla izvesti dogradnja ili popravak. Često puta je pronalazio vlastita rješenja u izgradnji eksperimentalnih uređaja. Oko sedam sati uvečer bile su pripreme obično završene. Sljedećeg jutra u prepunoj predavaonici tekli su eksperimenti logičnim redom i korak po korak prožimanjem eksperimenata i teorije dolazilo se do zakona, čija je točnost bila ocijenjena kvantitativnim rezultatima. Takvim metodičkim postupkom slušači su stjecali vlastita iskustva o izloženim fizikalnim pojavama.

Prisjetimo se nekih originalnih pokusa koji su bili izgrađeni uz pomoć suradnika u zavodskim laboratorijima i radionici.

Početkom šezdesetih godina konstruirana je i puštena u pogon zaporna kvarcna ura koja ima točnost mjerenja do na šestu decimalu sekunde. Ura je među ostalim služila kao sastavni dio originalnog uređaja za direktno mjerenje trajanja slobodnog pada i određivanja akceleracije toga pada u laboratorijskim uvjetima.



Samostalno izgrađenim uređajem izvodio se pokus koji dokazuje da se dio fizičkog njihala, koji je udaljeniji od centra udarca mjereno od osi vrtnje, kreće brže od slobodnog pada. Uz pokus prikazana je jasna matematička obrada. Pokus je poznat pod nazivom »rušenje dimnjaka«.

U Foucaultovu pokusu pokazuje se zakretanje ravnine matematičkog njihala uzrokovano Coriolisovom silom. Spretnom dosjetkom uz povećanu sliku niti njihala pojava se vidi nakon samo nekoliko njihaja.

Efektivni su bili i pokusi lebdećim loptama u vertikalnoj struji zraka iz velikoga kanala za vjetar.

U svojim predavanjima nikada nije izostavio doprinose naših znanstvenika ili znanstvenika koji su imali utjecaja na razvoj našeg učilišta. Naročito je isticao radove R. Boškovića, načinio je replike značajnih eksperimenata Nikole Tesle, npr. uređaj za dobivanje Teslinih visokofrekvencijskih struja i asikroni mo-

tor. Izvodio je neke originalne eksperimente iz akustike Vinka Dvořáka, utemeljitelja Katedre za fiziku našeg sveučilišta.

Profesor Lopašić bio je izvrstan predavač, koji je znao teorijska izlaganja popratiti izvanredno obilnim, zanimljivim i dobro izvedenim pokusima.

Veliki trud uložio je profesor Lopašić u pisanje udžbenika iz fizike, koji su izašli u nakladi Sveučilišta u Zagrebu i »Školske knjige« u Zagrebu. Udžbenici su pisani osobito jasnim stilom tako da i netko tko nije stručnjak može pratiti izlaganje jer se gradivo nadovezuje jedno na drugo logičnim »matematičkim« redom.

Od upravnih funkcija koje je obnašao najprije valja istaknuti da je akademске godine 1959./60. bio dekan Elektrotehničkog fakulteta. Predstojnik Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta bio je u razdoblju od 1950. do 1967. godine. Za njegova je predstojništva u Zavodu za fiziku izrađen niz diplomskih radova i magisterija te tri disertacije iz tehničke fizike.

Za svoj uspješni rad primio je tijekom života niz priznanja: Orden rada sa zlatnim vijencem, zlatnu plaketu »Josip Lončar« (najviše priznanje Elektrotehničkog fakulteta), zlatnu plaketu Instituta »Ruder Bošković«, nagradu i priznanje grada Splita te povelju Sveučilišta u Zagrebu za doprinose razvoju tehničkih znanosti. Institut »Ruder Bošković« imenovao ga je počasnim savjetnikom.

Bio je član nekoliko kulturnih i strukovnih društava te počasni član Hrvatske akademije tehničkih znanosti i Društva inženjera i tehničara.

Krajem akademске godine 1981./82. odlazi u mirovinu. U mirovini se posvetio rješavanju problema iz teorije brojeva i numeričke matematike.

Doprinos profesora Lopašića u izvođenju i organizaciji nastave fizike ostaje trajnim dobrom Sveučilišta u Zagrebu i mnogih prošlih i budućih generacija.

Danko Žubrinić⁹

USPOMENE NA PROF. DR. VATROSLAVA LOPAŠIĆA

Veći dio teksta nalazi se u poglavlju »Glas-goljica, hrvatski jezik i matematičke zagonetke«, a preostali dio u poglavlju »Uspomene i sjećanja« ove Spomenice. Cjelovit tekst nalazi se na CD-u. Taj tekst pročitao je mr. sc. Josip

Grilec, na tribini *Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika* (HKDP) posvećenoj prof. dr. sc. Vatroslavu Lopašiću, 16. lipnja 2004. u Zagrebu (Palmotičeva 31).

Vladimir Muljević¹⁰

PROF. DR. VATROSLAV LOPAŠIĆ – HRVATSKI FIZIČAR¹¹

Rođen je 9. prosinca 1911. u Pakracu kao potomak stare karlovačke obitelji. Osnovnu školu polazio je u Srijemskoj Mitrovici, a realnu gimnaziju u Zagrebu, gdje je maturirao 1930. godine. Zatim se upisao na Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu gdje je diplomirao 1934. godine na grupi predmeta Teorijska matematika. Iste je godine imenovan asistentom dnevnika u Fizikalnom zavodu Filozofskog fakulteta.

Doktorirao je 1938. godine iz Eksperimentalne fizike na istraživanju ultrazvuka kod prof. dr. Stanka Hondla (Zagreb, 1873. – Zagreb, 1971.). Nakon toga 1939. godine imenovan je pravim asistentom iz fizike. Od 1943. do 1945. godine predavao je teorijsku fiziku na Filozofskom fakultetu. Godine 1946. bio je postavljen za honorarnog nastavnika fizike na Visokoj pedagoškoj školi u Zagrebu, a 1947. godine postaje profesorom na toj

školi. Godine 1950. izabran je za izvanrednog profesora fizike na Tehničkom fakultetu u Zagrebu.

Prije njega predavali su fiziku na Visokoj tehničkoj školi, a od 1926. godine na Tehničkom fakultetu, prof. dr. Ivan Plotnikov (Rusija, 1878. – Zagreb, 1955.), a zatim dr. Franjo Ivan Havliček, dipl. inž., Vladimir Glumac i dr. Vladimir Deduš.

V. Lopašić bio je 1950. godine, pored Ivana Supeka (1915.–2007.), Mladena Pašića (1905.–1997.) i Krešimira Balenovića (1914.–2003.), te Josipa Lončara (1891.–1973.), jedan od osnivača Instituta Ruder Bošković u Zagrebu¹². U tom je Institutu V. Lopašić bio do 1956. godine pročelnikom III. odjela (za elektroniku), ali je maknut zbog vjerskih razloga.

Za redovitog profesora Fizike na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu izabran je 1958. godine. Na tom je Fakultetu bio od 1950. do 1967. godine predstojnik Zavoda za fiziku. Posebnost njegove nastave bila je u pokusima, koji su bili sastavni dio svakog predavanja.

⁹ Redoviti profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

¹⁰ Profesor emeritus Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (1913.–2007.).

¹¹ Predavanje održao na tribini Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika (HKDPD) posvećenoj prof. dr. sc. Vatroslavu Lopašiću, 16. lipnja 2004. u Zagrebu (Palmotičeva 31).

¹² Krešimir Balenović nije bio jedan od osnivača Instituta Ruder Bošković, a izostavljeni su Drago Gedenić i Željko Marković.



Sl. 10.1. Tribina Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika posvećena prof. Lopasiću, od lijeva na desno: mr. Josip Grilec, prof. Vladimir Mušević, prof. Vilnja Heni-Bartolić i dr. Branko Hanžek



Sl. 10.2. Asistentica Vilnja Heni u laboratoriju Zavoda za fiziku

Na posljediplomskom studiju ETF-a predavao je *Mjerenja u fizici i tehnici*. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu predavao je honorarno neke specijalne kolegije iz područja fizike, kao npr. *Fizičku elektroniku*. U Zavodu za fiziku na ETF-u, za njegova predstojništva izrađen je niz diplomskih radova i magisterija, te doktorskih disertacija iz primijenjene fizike. Akademске godine 1959./60. V. Lopasić bio je dekan ETF-a.

¹² Popis nije potpun, pogledajte poglavlje *Objavljeni radovi profesora Lopasića*: (onaska urednika).

Vatroslav Lopasić objavio je na hrvatskom, njemačkom i engleskom jeziku niz znanstvenih radova, a Sveučilište u Zagrebu objavilo je ove njegove udžbenike¹²:

Predavanja iz Fizike, I. dio, Mehanika i hidromehanika (1956.), 158 str.

Predavanja iz Fizike, II. dio, Elektromagnetizam (1959.), 118 str.

Predavanja iz Fizike, III. dio, Valovi i atomistička struktura (1962.), 150 str.

Školska knjiga u Zagrebu objavila je knjigu

Predavanja iz Fizike. Elektromagnetsko polje (1979.), 246 str.

U petom poglavlju, na kraju knjige, nalaže se »Životopisne bilješke fizičara iz područja elektriciteta«. Profesor V. Lopasić potpuno se posvetio nastavnom zvanju iz fizike, a njegovi objavljeni radovi vezani su uz nastavu fizike na Tehničkom fakultetu, a zatim i na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu.

Bio je na studijskim posjetima u srodnim ustanovama u Engleskoj, Francuskoj, Šved-

skoj i Njemačkoj. Bio je član nekoliko kulturnih i stručnih društava, te počasni član Društva inženjera i tehničara (DIT) i Hrvatske akademije tehničkih znanosti. Primio je nagradu i priznanje grada Splita. Institut Rudera Boškovića imenovao ga je počasnim savjetnikom. Dodijeljena mu je zlatna plaketa »Josip Lončar«, te Povelja Sveučilišta u Zagrebu za izniman doprinos razvitku tehničkih znanosti. Prof. V. Lopašić odlikovan

je 1965. godine Ordenom rada sa zlatnim vijencem.

Premинуo je 17. prosinca 2003., tjedan dana nakon svojeg 92. rođendana. Na sprovodu su o znanstvenom i pedagoškom djelu i dugom životnom putu prof. Lopašića govorili dekan FER-a prof. dr. Mladen Kos i fra Bonaventura Duda, jedan od najvećih bibličara i teologa. Pokopan je na Mirogoju u Zagrebu u obiteljskoj grobnici.

Branko Haužek¹³

USPOMENE NA PROFESORA LOPAŠIĆA¹⁴

Ovo sjećanje skromno posvećujem uspomeni na osebnog, inspirativnog i plemenitog sina hrvatskog naroda Vatroslava Lopašića. Kako o velikim ljudima nije lako govoriti i pisati, ovim sjećanjem pokušat ću u svima nama potaknuti osjećaj bliskosti s njim. Iskazat ću vjersku, znanstvenu i ljudsku komponentu naših susreta. Objavit ću inspirativna razmišljanja o blagopokojniku, upotpunjena i obogaćena prelijepim kockicama – biserima mozaika velikanova života, sve to zahvaljujući ustupanju uspomena koje mi je podarila Slavkova supruga Rezika. Pokušat ću to učiniti kronološkim redom.

Moj prvi susret s prof. Lopašićem

Blagopokojnikov i moj prvi duhovni doticaj zbio se prije nekoliko desetljeća čitanjem

i proučavanjem njegovih izvrsnih skripata i knjiga. Živom i nadahnutom riječi o profesoru Lopašiću fizičaru, koju je izrekao nezabornom fra Bonaventura Duda u jednom našem susretu 1993. godine, rodila se želja i tinjala nada da ću imati prilike osobno upoznati profesora. A onda 1. ožujka 2000. u pola jedanaest nazvao sam telefonom prof. Lopašića, predstavio se i upitao za Vinka Dvořáka, govoreći o tome da je i Lopašić, uz ostale koje sam nabrojio, pisao o Dvořáku. Iznio sam i namjeru da Dvořák bude tema moje doktorske disertacije. Nakon toga, u pedesetak minuta, Lopašić je bez zastajkivanja i radosnim glasom iznio svoja svjedočanstva o uspomeni na Dvořáka ali i Stanka Hondla. Tada je prof. Lopašić iznio i detalje o karakteru odnosa koji su vladali između Ivana Plotnikova i Hondla, o nebrizi o Dvořáku nakon njegove smrti, spominjući i to kada je njegov grob prekopan. Iznio je i podatke o tome da je nakon Hondlova umirovljenja 1945. godine Zavod za fiziku ondašnjeg Filozofskog fakulteta preuzeo Marin Katalinić, koji je poslije po dekretu otišao u Skopje, a vrlo mlad fizičar teoretičar Vladimir Vrkljan umirovljen je. Lopašić je ista-

¹³ Viši znanstveni suradnik (doktor znanosti), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti.

¹⁴ Predavanje održano na tribini Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika (HKDPD) posvećenoj prof. dr. Vatroslavu Lopašiću, 16. lipnja 2004. u Zagrebu (Palmotićeva 31).

knuo ulogu prof. Hondla, koji je dao napraviti kutije u koje je pažljivo spakirao Dvořákové uređaje. Istaknuo je da su oni (misleći pritom na Hondla i sebe) pobornici Einsteinove teorije relativnosti. Po prvi put u tom razgovoru otkrio mi se prof. Lopašić kao čovjek koji je drugima, dakle meni, posvetio i predao svoje radosne uspomene, ali i poneku tužnu.

Moji razgovori s prof. Lopašićem o Dvořáku

Nakon toga razgovarali smo 1. prosinca 2000. telefonom dvadesetak minuta, opet o Dvořáku, a profesor me uputio na neke radove o metodi šlira (strija). Nakon toga sam, početkom 2001., nekoliko mjeseci istraživao i prikupljao radove i knjige o Dvořáku, a i same Dvořákové radove te istraživao lokacije na kojima je stanovao Dvořák. Povezao me s akad. Žarkom Dadićem, akad. Ksenofontom Ilakovićem i prof. dr. Srdanom Lelasom a u vezi s pokretanjem postupka za stjecanje doktorata.

Krajem lipnja 2001. otputovao sam u Daruvar, gdje sam dao da se na češki prevede i objavi moj rad o Dvořáku, koji je prije toga bio objavljen u časopisu *Tónovi* 2000. godine. Nakon toga javio sam telefonom prof. Lopašiću o događanjima vezanim za Dvořáka, a on je toga 25. srpnja 2001. izrazio želju da se sutradan nađemo u njegovu stanu u Vinkovičevoj 1 u Zagrebu. Napokon, dana 26. srpnja 2001., po prvi mi se put otkrio prof. Lopašić stasom i glasom. Opet na radostan način, uz puno sudjelovanje njegove drage supruge u toplu gostoprimstvu. Uspostavili smo najpotpuniji neposredan ljudski susret. No tada su na vidjelo izašla i trpljenja prof. Lopašića. Susret je trajao od jedanaest do pola jedan. Tema

je bila u vezi s Dvořákom, uz osvrt na ulogu prof. Pejnovića, jedinog Dvořákovu asistenta, ulogu Ladislava Stjepaneka i Franje Ivana Havličeka, uz napomenu da je on (Lopašić) posljednjeg zamijenio kao predavača fizike na Tehničkom fakultetu... Prof. Lopašić ukazao mi je na knjigu iz fizike koju je napisao Pavao Krivačić, a odlomak o akustici i ulozu Vinka Dvořáka kazivao je Lopašić, a zapisivao Krivačić, pri susretima u Lopašićevu stanu. Kao zanimljivost iznio mi je prof. Lopašić pojedinost da je prof. Hondl Dvořákovim uređajima ispitivao sluh Franji Duganu Starijem¹⁵.

Nakon toga s Lopašićem sam se susreo u njegovu stanu 3. rujna 2001. Tada mi je spomenuo da je kao profesor Visoke pedagoške škole svake godine na predavanju spomenuo Dvořáka. Uz to tada mi je dao i nekoliko korisnih savjeta u svezi s pisanjem članka o glazbi i akustici. Susret je trajao od podne do jedan.

Idući susret u stanu bio je 5. rujna 2001., također od podne do jedan, a tema je uz Dvořáka bila osvrt na dr. Mile Cindrića, prijatelja prof. Hondla. Spomenuo mi je da je postojala knjiga Cindrićevih radova pod nazivom Cindrićijana, ali ja toj knjizi nisam mogao ući u trag. Uz to tada me prof. Lopašić upozorio na dipl. inž. Tomislava Gjurića, koji bi mi trebao pokazati Dvořákové uređaje na FER-u. To se uz pomoć dr. Višnje Henč-Bartolić dogodilo. Na kraju susreta ostavio sam prof. Lopašiću svoj članak o glazbi i akustici.

Idući kontakt bio je telefonom kada sam 7. rujna četvrt sata razgovarao s njegovom suprugom Terezijom, koja mi je prenijela da je prof. Lopašić zadovoljan člankom, ali da ne može raditi bilješke o možebitnim poboljšanjima.

Idući susret u njegovom stanu bio je 30. listopada od pola dvanaest do malo iza pola jedan, kada je riječ opet bila o zbivanjima vezanima za Dvořáka. Tai puta profesor mi

¹⁵ Hrvatski skladatelj, orguljaš i glazbeni pisac, 1874.–1948.

je govorio o Ladislavu Stjepaneku, Bogdanu Ogrizoviću, te na upit o Dvořákovu nasljedniku, koje sam prosljedio od akademika Dubravka Tadića, Lopašić mi je odgovorio da Dvořák nije imao izbora između Hondla i Stjepaneka, spominjajući neke njihove ljudske karakteristike, te je suženje izbora ukazalo na Hondla. Tada mi je Lopašić dao jedan topao i vrlo mudar ljudski savjet nakon što sam mu izrekao neke svoje nedoumice i blago trpljenje.

Idući susret u stanu bio je 6. studenoga 2001., i to od jedanaest do podne. Tada mi je Lopašić govorio o akustici općenito, uz osvrst na ulogu rezonancije kod pjevanja. Dana 16. studenoga 2001. čuli smo se telefonom. U četvrtsatnom razgovoru otkrio mi je detalje vezane uz grob i spomenik supružnika Zore i Vinka Dvořáka. Tada mi je iskazao slutnju da je spomenik ipak djelo Hermanna Bollea. Međutim, moja istraživanja o pisanim trgovima koja sam načinio na Mirogoju, u Hrvatskom državnom arhivu (općenito i za Zagreb), Nadbiskupskom arhivu (gdje je i Bolleova ostavština) i Školi za umjetnost i dizajn, nisu potvrdila te slutnje. No prof. Lopašić nakon svega je rekao da nam ostaje riječ i oko umjetnika, poznavatelja Bolleova djela, koji će presuditi je li spomenik djelo Bollea.

Idući susret u stanu bio je 11. prosinca, kada smo nakon kraćeg razgovora o Dvořáku svečarski obilježili 90. rođendan prof. Lopašića. Susret je taj puta trajao od jedanaest do pola dva.

Naredni susret bio je 8. veljače 2002., a trajao je pola sata. Prof. Lopašić spomenuo mi je da je prof. Hondl poštivao talentirana Bogdana Ogrizovića. Prilikom Ogrizovićeva posjeta Fizičkom zavodu, kada su oboje stajala pred vitrinom s Dvořákovim uređajima, a Lopašić iza njih, Hondl je zapitao Ogrizovića bi li se pozabavio Dvořákom. Ogrizović na to nije afirmativno reagirao. Vrlo običan stav

prema Hondlu Lopašić je izrazio riječima: »Tada sam se ja priklonio prof. Pejnoviću, koji mi je vrlo pomogao. Bavili smo se radiovalovima i ultrazvukom.«

Naredni je susret bio 28. veljače od jedanaest do pola jedan kada smo razmijenili neke misli, a ja sam mu predao neke svoje objavljene članke o Dvořáku i akustici. Idući je susret bio 27. svibnja od jedanaest do pola jedan. Tom prilikom iznio sam prof. Lopašiću svoje dojmove s puta u Jihlavu i Prag, u vezi s Dvořákom. Naredni je susret bio 13. prosinca. svečarskog karaktera povodom 91. rođendana, i trajao je jedan sat.

Iduća posjeta prof. Lopašiću bila je 9. siječnja 2003., kada sam prof. Lopašiću dao radnu verziju svog članka »Genealogija znanosti i akustika« – uz prikaz uloge Vinka Dvořáka, u kratkom susretu od desetak minuta jer se profesor baš nije najbolje osjećao. Obćeo je da će pokušati pročitati taj članak, što je uz pomoć supruge i učinio. Kad sam ga poslije telefonom pitao za mišljenje o članku odgovorio mi je da je dobar, uz zahvalu što sve sve te podatke čuvam od zaborava. Nakon toga me je nazvao prof. Lopašić telefonom kući pred Uskrs 19. travnja 2003. kako bi mi uzvratio uskrсну čestitku. Tada mi je napomenuo da mu je zdravstveno stanje loše, zamolio za uvidavnost u pogledu našeg daljnjeg susretanja, ali napominjajući da će rado ostati u telefonskom kontaktu, pogotovo u vezi s Dvořákom i pripremama nekih pokusa iz akustike koje sam namjeravao izvesti. Kao da je bio pravi primjer onog svetopisamskog izričaja: *Dub je istina voljan, no tijelo je slabo*. U nekoliko navrata to sam iskoristio kada mi je prof. Lopašić dao vrlo dragocjene, dosjetljive, korisne inspirativne savjete u vezi s kontroliranim parametrima pokusa koji je bio u pripremi. I dalje sam s profesorom dijelio i radost i tugu i razveselio ga kao i on mene telefonom 1. listopada 2003., kada sam ga obavijestio o

promjeni radnog mjesta, a on mene radosnim glasom da se osjeća bolje te da ima pojačanu zdravstvenu skrb u kući. Kako sam ja uznapredovao u pisanju disertacije, rekao sam mu da bih mu rado predao rukopis. U polusatnom razgovoru rekao mi je tada Lopašić da će me, s obzirom na njegovo stanje, rado primiti i maksimalno mi pomoći. Obradovan takvim razvojem događaja prionuo sam još zdušnije na posao sa željom da mu predam prvu verziju radnje. S nakanom najave posjeta nazvao sam telefonom stan Lopašić 29. listopada i dobio suprugu, koja mi je rekla tužnu vijest, da nije dobro, te da je zdravstveno stanje profesora teško toliko da nije u stanju dići se iz kreveta.

Zadnji moj posjet Lopašiću bio je u Bolnici Merkur 17. studenoga 2003., kada je u petnaestak minuta profesor sam htio znati stanje stvari oko Dvořáka i disertacije te s te postelje razmatrao mogućnosti kako bi mi pomogao u što efikasnijem završetku tog posla. Tada je nabrojio i konkretna imena ljudi koja bi mi također mogli pomoći. Uz želju da će i on biti svjedokom završena posla rastali smo se. Onda to nisam mogao znati, ali to je bio naš posljedni susret. Zapamtio sam njegove zadnje riječi. Rekao je: »Moj oporavak bit će dug«. Dana 17. prosinca 2003. vinula se u Nebo i Lopašićeva duša. Položen je u grob s krunicom na sklopljenim rukama koju mu je darovao blaženi kardinal Alojzije Stepinac, koji je bio cijenjen i štovan u obitelji Lopašić, i s krsnom košuljicom na presima, za koju su željeli da mu se stavi njegova majka i on sam.

Katolička vjera prof. Lopašića

Svoj svijet patnje otvorio je kada sam ga upoznao i uvidio sve poteškoće s kojima se susreće i koje su bile posljedica njegove visoke dobi. No unatoč tomu, uvijek je bio

spreman izaći u susret i djelatno pomoći, u uvijek preciznim granicama svojih mogućnosti. Za sve one koji su ga tada susretali bio je poput visokog svjetionika, jasan pokazatelj moralne veličine i duhovne zrelosti. Svojom tjelesnom i moralnom patnjom otvoreno je i čak javno na to ukazivao. U mom slučaju aktivna zabrinutost za dobro drugoga bila je popraćena njegovom djelatnom pomoći čak i na bolesničkoj postelji. Trpio je do samog ovoživotnog kraja primjećujući i ističući to svojim najbližima, da njegova životna snaga polako hlapi te da sve intenzivnije živi za Nebo.

Njegovo duboko poznavanje Svetog pisma istakli su prije mene najkompetentniji teolozi i njegovi prijatelji (primjerice fra Božanventura Duda). Ja mogu posvjedočiti da je ta duhovnost odozgo kod njega razvijala duboko moralna obećanja oslonjena na prihvaćanje stvarnosti bez namjere da se nadilazi uočena datost. Ukratko: Lopašić je tada obećanje vezano uz njegovu djelatnu pomoć dao riječima: Pokušat ću to učiniti. Time je pokazao i duhovnost odozdo prihvaćajući stvarnost onakvom kakva je i znajući u svakom trenutku koliko može pomoći.

Lopašić je često isticao da je bio dionikom onih vremena kada su ljudski potencijali i znanstveni autoriteti bili slobodni i istinski poštovani i nespupavani; pod tim vremenima mislio je na Dvořákovu i doba. O naravi Dvořákovu doba saznanja je stjecao od svog učitelja Hondla, kojemu je bio uvijek istinski i odano zahvalan. Za Hondlova je doba mladi Lopašić sazrijevao i polako tkao svoje doba nastavljajući kontinuitet. A sve to uvijek neprestano se trudeći da bude i dionikom Božanske naravi. Ako se za rođenog Čeha Dvořáka može reći da je zavolio ovaj naš narod nikad ne zaboravljajući da je Čeh,

za Hondla i Lopašića može se reći da su od početka pa do kraja svim srcem voljeli hrvatski narod. Stoga njihova bliskost se ogleda i u smještaju njihovih zemnih ostataka. Svi leže nedaleko jedan u odnosu od drugoga na zagrebačkom Mirogoju.

Osim tog osluškivanja Božjeg dodira Lopašić je znao istinski osluškivati ljude, znajući dati dalekosežan savjet koji čovjek ne bi odmah uočio, nego tek poslije pritiješnjen životnim okolnostima i kušnjama. Lopašića sam otvoreno mogao pitati što sam god smatrao za potrebno, ali i reći mu sva svoja trpljenja koja su ipak više bila moralnog tipa, premda je Lopašić uvijek znao isticati da trebam čuvati i zdravlje. Pozvao me također da izgradim svoj svijet. Mogu posvjedočiti da je dragi profesor svoj život ispunio istinom i pravednošću i svakim našim susretom utvrđivao ljudsko dostojanstvo.

Na kraju ovog sjećanja neka duboko i zvonko odzvanjaju i riječi njegove drage supruge Terezije, da je njen Slavko bio osoba jasnog i čistog života. Svojim je životom volio svakoga čovjeka, ne naživši nikada nikomu niti riječju a kamoli nekim postupkom. Njegove riječi upućene veleposlaniku

RH u Mađarskoj Aleksandru Šolcu u pismu od 4. siječnja 1995. godine bile su:

Dolista dirnut sam činjenicom da me moji bivši studenti ne zaboravljaju i u susretima s njima dolaze mi u sjećanje oni lijepi dani kad sam gledao pred sobom dvoranu punu omladine koja je zračila životnu energiju i tako lijepo pratila moje predavanje. To su bili časovi mojeg najvećeg zadovoljstva jer sam osjećao suglasje njihovih misli i osjećaja s mojima, a to je svijest da ja s njima činim jednu cjelinu koja harmonizira na nekom intelektualnom nivou. Stoga sam vrlo rado predavao i volio sam taj svoj posao kao najvažniju zadaću.

Nadamo se kao vjernici da je to blaženstvo Preslikano i na Nebu. Kao što je Duhovni jezik ujedinio sve vjernike, tako neka i Lopašićev duh, koji se u svemu oslanjao na Božji Duh, ujedini sve nas prisutne vjernike da damo dobre različite plodove. A kao ljudima dobre volje ostaje nam želja da spomen na Lopašića bude djelatna i u našem životu i radu, a njegov duh neka nas upućuje na čovjekoljublje i domoljublje.

*Višnja Henč-Bartolić*¹⁶

NASTAVA PROFESORA LOPAŠIĆA¹⁷

Tekst predavanja nije sačuvan, ali je sačuvan audiodizapisi i nalazi se na CD-u. Prema kazivanju profesorice Višnje Henč-Bartolić, prezentirala je napisane radove prof. Lopašića povezane s njegovom nastavom iz fizike i

ekperimentalno pokazala njegovu originalnu izvedbu osnovnog tona a₁ pomoću gudala za kontrabas na glazbenoj viljuški.

¹⁶ Redovita profesorica Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu; u mirovini.

¹⁷ Predavanje održala na tribini Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika (HKDPD) posvećenoj prof. dr. sc. Vatroslavu Lopašiću, 16. lipnja 2004. u Zagrebu (Palmotićeva 31).

*Tomislav Petković*¹⁸

LOPAŠIĆ U EINSTEINOVJOJ GODINI FIZIKE¹⁹

(Znanstveni simpozij o Vatroslavu Lopašiću održan 17. prosinca, 2004. u Zavodu za primijenjenu fiziku Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu)

Ususret svjetskoj godini fizike 2005. posvećenoj Einsteinovoj čudesnoj 1905. godini, treba istaknuti da je Vatroslav Lopašić u hrvatskoj recepciji Einsteinove fizike bio relativist i modernist. Danas – godinu dana nakon Lopašićeve smrti – još više uvidamo vrijednost njegova djela i umijeća predavanja

U Zavodu za primijenjenu fiziku Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu prošli je mjesec održan znanstveni simpozij u povodu obljetnice smrti prof. Vatroslava Lopašića.

U radu jednodnevnog simpozija sudjelovalo je četrdesetak sudionika, uglednih sveučilišnih nastavnika iz različitih područja – tehničkog, prirodoslovnog, društveno-humanističkog i teološkog, stručnjaka iz gospodarstva, te bivših i sadašnjih studenata FER-a.

Lopašićeva metoda pokusa

O uglednome hrvatskom fizičaru i dugogodišnjem predstojniku Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta (staro ime FER-a) govorio je sadašnji predstojnik Zavoda prof. Tomislav Petković. U njegovu je izlaganju naglašena Lopašićeva metoda predavanja fizike sa stvarnim pokusima tijekom predavanja. Po tome je Lopašić utemeljitelj moderne eksperimentalne metode u sveučilišnoj nastavi fizike na tehničkim fakultetima Sveučilišta u Zagrebu.

O Lopašićevu životu i djelu u fizici u protekloj godini nakon njegove smrti objavljeno je devet radova u stručnim i znanstvenim časopisima i javnim medijima te jedan elektronički oblik prikaza djela i životopisa.

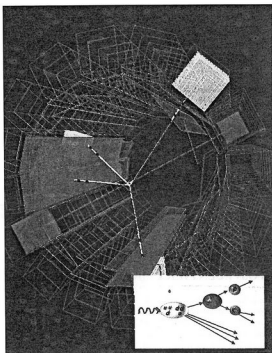
Lopašićev znanstveni rad, od doktorata u 1938., odnosio se na probleme generiranja i primjene ultrazvuka. Bili su to pionirski radovi u tom području (fizika čvrstog stanja) u Hrvatskoj. Bivio se i problemima nuklearne elektronike gdje je kao dekan ETF-a vodio nekoliko doktorata u tome području, a doktorandi su postali svjetski poznati stručnjaci. Lopašićev ethos i njegovo djelovanje bih su posvećeni razvoju i organizaciji sveučilišne nastave fizike, a temelj te etike bila je odgovornost znanstvenika i nastavnika. Kršćanska vjera bijaše Lopašićeva invarijanta u svim stvarima tijekom njegova dugog života.

Ususret svjetskoj godini fizike 2005. posvećenoj Einsteinovoj čudesnoj 1905. godini, treba reći da je Lopašić u hrvatskoj recepciji Einsteinove fizike bio relativist i modernist. Danas, godinu dana nakon Lopašićeve smrti još više uvidamo vrijednost njegova djela i umijeća predavanja fizike. Otkrivamo njegovu veliku kreativnost i mnoge dimenzije njegove osobe. To su – uz fiziku – njegovi duboki i plodni interesi za teoriju brojeva, glagoljicu i hrvatsku povijest.

Predavanje je održao i pozvani gost – poznati eksperimentalni fizičar iz Slovenije, iz Instituta Jožef Štefan u Ljubljani, doc. Tomi

¹⁸ Redoviti profesor u trajnome zvanju na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

¹⁹ *Nedjeljni Vjesnik*, 9. siječnja 2005., rubrika Znanost, str. 28; novinarsku prilagodbu povelja novinarka Vjesnika Živana Morić, (prepisak).



*OTKRIĆE PENTAKVARKOVA MEĐAŠA U FIZICI: Ipak, znanstveno
uvjerenje u postojanje pentakvarkova ostaje otvorenim pitanjem.*

Živko, koji je govorio o pentakvarkovima – zagonetki fizike elementarnih čestica. Obuhvatio je pregled sadašnjeg stanja istraživanja pentakvarkova u svjetskim akceleratorским centrima i otvorena teorijska pitanja postojanja pentakvarkova – egzotičnih barionskih rezonancija.

Pentakvarkovi – fizikalne zagonetke

Godine 1997., ruski su teoretičari Diakonov, Petrov i Poljakov u tzv. kiralnom solitonskom modelu izračunali da postoji pentakvark koji se raspada u neutron i pozitivno nabijeni kaon. Masa tog pentakvarka je ne-

obično malena, nešto veća od 1,5 puta mase nukleona, a energijska širina mase ekstremno mala. U istome modelu izračunati su i teži pentakvarkovi. Diakonov je na jednoj konferenciji u Australiji uvjerio japanskog fizičara Takashija Nakana da potraži pentakvarkove u svojim pokusima u Japanu.

Takashi Nakano ga je poslušao i njegova grupa je opazila pentakvark čija su se svojstva dobro slagala s predviđanjima modela. Otkriće je objavljeno u siječnju 2003. godine. Od tada vodeći svjetski znanstveni časopisi (*Nature*, *Physical Review Letters*, *New Scientist*, *CERN Courier*) i dnevne novine (*New York Times*, *The Economist*, *Le Figaro*, *Die Welt*, *Izveštija*) izvještavaju o eksperimentalnome otkriću pentakvarka – fizičke čestice koja je sastavljena od pet kvarkova.

Zavladala je pentakvarkovska euforija. Između 30 najcitatiranih članaka u području fi-

zike elementarnih čestica objavljenih u 2003. i 2004. godini, polovica njih bavi se pentakvarkovima. Neobično uska širina pentakvarkovskog stanja u spektrima zagonetka je za fizičare elementarnih čestica. Još su većim izazovom tumačenja onih vrhunskih pokusa koji ne vide pentakvarkove.

Predavanju u Zavodu za primijenjenu fiziku nazočili su i znanstvenici Instituta Ruder Bošković u Zagrebu, koji su u jesen 2003. godine otkrili novu česticu – egzotični barion – i pokazali da u njihovim ponovnim analizama podataka njegov signal ostaje te tako potvrđuje postojanje pentakvarkova.

Teoretičar Frank Wilczek, dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 2004. godine, izjavio je kako je otkriće pentakvarkova medaš u fizici.

Ipak, znanstveno uvjerenje u postojanje pentakvarkova ostaje otvorenim pitanjem.

Tomislav Petković²⁰

ŽIVOT POSVEĆEN FIZICI²¹ (Povodom smrti prof. dr. Vatroslava Lopašića)

Hrvatska je fizika nedavno izgubila jednoga od svojih iznimnih pregalaca, prof. dr. Vatroslava Lopašića, jednog od osnivača instituta za fiziku JAZU, poslije instituta »Ruder Bošković« u Zagrebu, na kojemu je od 1952. do 1956. godine bio pročelnik Odjela za elektroniku. Za redovitoga profesora fizike u Zavodu za fiziku Elektrotehničkog fakulteta izabran je 1958. godine. Bio je predstojnik Zavoda za fiziku ETF-a od 1950. do 1967. godine. Umirovljen je na ETF-u 1982. godine. Izabran za dekana ETF-a u šk. god.

1959./60., kao jedini dekan fizičar u povijesti tog fakulteta.

Uz nastavu, u kojoj su se predavanja zasnivala na eksperimentalnoj metodi s brojnim demonstracijskim pokusima iz fizike, glavno mu je znanstveno polje bilo istraživanje ultrazvuka. Profesor Lopašić posvetio je čitav svoj život fizici, proučavanju fizike i sveučilišnim predavanjima iz fizike na tehničkim fakultetima, razvijajući novu metodu predavanja utemeljenu na stvarnim pokusima što su se na katedri izvodili tijekom predavanja.

Izravan uvid u pokuse i zajedničko uzimanje podataka uključivali su zapravo sve slušače u predavaonici, tako da je to bilo doista zajednički sveučilišni hod stjecanja znanja i

²⁰ Redoviti profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

²¹ *Najbolji Vjesnik*, 29. veljače 2004. rubrika Znanost, str. 27. (nerisak).

zakona iz fizike toliko važnih za inženjerske znanosti i njezine primjene. U takvoj metodi predavanja pomoću demonstracijskih pokusa, demonstrira se i višestoljetna bit hrvatskog sveučilišta kao zajednice (*Universitas*) nastavnika i studenata, nastave i istraživanja. Zato se za Lopašićevo djelo u fizici s razlogom može reći da je prava *Physica Newtoniana* za inženjere tehničkih fakulteta. Pod time mislimo na klasičnu fiziku kao temelj tehničkih znanosti i nužnu komponentu u stručnim profilima inženjerskih fakulteta na višim godinama studija. Lopašićevi udžbenici iz fizike to najbolje pokazuju! U njima se nauk fizike gradi na eksperimentalnoj metodi. To je uzdignuto gotovo do filozofskog principa.

Lopašić je po svakodnevnoj i ukupnoj svojoj zainteresiranosti za fiziku, te po svome djelu u razvoju i organizaciji nastave fizike, bio ne samo poznatim nego i najistaknutijim imenom hrvatske fizike u drugoj polovici

20. stoljeća. Poživio je dugo, pa je tako dugo i plodno prenosio znanje iz fizike mnogim generacijama studenata ETF-a i ostalih tehničkih fakulteta. Njegov je kričanski svjetonazor ostajao isti unatoč burnom okruženju. U praktičnome ophođenju najviše je cijenio odgovornost i točnost u izvršavanju posla, ali se zato rukovodio i mekšim etičkim principom: *Errare humanum est!*

Od priznanja što ih je primio tijekom života, izdvajamo da je bio počasnim članom Društva inženjera i tehničara, te Hrvatske akademije tehničkih znanosti. Za svoje djelo i metodu u nastavi i znanosti fizike primio je niz priznanja: Orden rada sa zlatnim vijencem, nagradu i priznanje Grada Splita, zlatnu plaketu »Josip Lončar« (1976.) na ETF-u, zlatnu plaketu Instituta »Ruđer Bošković« (1981.) i povelju Sveučilišta u Zagrebu za doprinose razvoju tehničkih znanosti.

Tomislav Petković²²

VATROSLAV LOPAŠIĆ – NASTAVNO I ZNANSTVENO DJELO²³

(Spomen na fizičara profesora Vatroslava Lopašića – povodom njegove smrti)

Poznati hrvatski fizičar prof. dr. Vatroslav Lopašić umro je u Zagrebu 17. prosinca 2003. godine u 93. godini života, doživjevši visoku starost. Vatroslav Lopašić rođen je u Pakracu 9. XII. 1911. godine. Teorijsku matematiku diplomirao je 1934. na Filozofskom fakultetu u Zagrebu, a 1938. doktorirao eksperimentalnu fiziku disertacijom iz ultrazvuka. Od 1934. godine bio je asistent, a od

1943. izvanredni profesor teorijske fizike na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Profesura mu je bila oduzeta 1945., a 1950. ponovno je izabran za izvanrednog profesora fizike na Tehničkom fakultetu. Bio je jedan od osnivača Instituta za fiziku JAZU, poslije Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu, na kojemu je od 1952. do 1956. bio pročelnik Odjela za elektroniku. Za redovitoga profesora fizike u Zavodu za fiziku Elektrotehničkog fakulteta izabran je 1958. godine. Bio je predstojnikom Zavoda za fiziku ETF-a od 1950. do 1967. godine. Umirovljen je na ETF-u 1982. godine. Izabran je za dekana ETF-a u šk. god. 1959./60., kao jedini dekan fizičar u povijesti

²² Redoviti profesor u trajnome zvanju na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

²³ *Hrvatski radio*, 3 program, pripremni tekst za emisiju Ogladi i rasprave: »Sjećanje na uglednog hrvatskog fizičara Vatroslava Lopašića«, sudjelovali Juraj Božičević i Tomislav Petković, urednik Tomislav Krčmar, 28. 10. 2004.

tog fakulteta. U svom dekanskom periodu, Lopašić je bio i jedan od elektora koji su pomagali početku rada Elektrotehničkog fakulteta u Splitu 1960. godine. Uz nastavu, u kojoj su se predavanja zasnivala na eksperimentalnoj metodi s brojnim demonstracijskim pokusima iz fizike, glavno mu je znanstveno polje bilo istraživanje ultrazvuka. Objavio je do desetak znanstvenih radova u polju ultrazvuka (generiranje i primjene) i preciznih mjerenja na ciklotronske magnetu. Bili su to radovi među prvima u tim poljima u Hrvatskoj. Bio je u kratkotrajnim studentskim posjetima sveučilištima i institutima u Engleskoj, Švedskoj, Francuskoj i Zapadnoj Njemačkoj. Objavio je udžbenik *Predavanja iz fizike I, II i III*, 1956, 59, 62, te zapaženu knjigu *Mjere i mjerenja u fizici* (1975.), te nadasve vrijednu knjigu *Predavanja iz fizike: Elektromagnetsko polje* (Školska knjiga, Zagreb, 1979.).

Profesor Vatroslav Lopašić je posvetio čitav svoj život fizici – proučavanju fizike i sveučilišnim predavanjima iz fizike na tehničkim fakultetima, razvijajući novu metodu predavanja utemeljenu na stvarnim pokusima što su se na katedri izvodili tijekom predavanja. Izravan uvid u pokuse i zajedničko uzimanje podataka uključivali su zapravo sve slušače u predavaonici, tako da je to bio doista zajednički sveučilišni hod stjecanja znanja i zakona iz fizike toliko važnih za inženjerske znanosti i njezine primjene.

U takvoj metodi predavanja praćenoj pokusima, demonstrira se i višestruka bit hrvatskog sveučilišta kao zajednice (*universitas*) nastavnika i studenata, nastave i istraživanja. Zato se za Lopašićevo djelo u fizici s razlogom može reći da je prava *Physica Newtoniana* za inženjere tehničkih fakulteta; pod time mislimo na klasičnu fiziku kao temelj tehničkih znanosti i nužnu komponentu u stručnim profilima inženjerskih fakulteta na višim godinama studija. Lopašićevi udžbenici iz fizike to najbolje pokazuju! U njima se nauk i vještine fizike grade na *eksperimentalnoj metodi*. To je uzdignuto gotovo

do filozofskog principa. Newtonov komentar u predgovoru *Principia* koji slikovito naznačuje važnost odnosa *geometrije* (savršena točnost) i *mehanike* (manja točnost) za formuliranje aksioma gibanja i čitave teorije, usvojio je i Lopašić u svome pristupu fizici i njezinim mjernim metodama. U tome se pristupu predavanja i laboratorijske vježbe iz fizike zasnivaju na raspoloživoj instrumentaciji, ali ih odlikuje i nezatvoren metodski princip jer nove aparature omogućuju brža, točnija i jednostavnija mjerenja.

Impresivna brojka od četrdesetak laboratorijskih vježbi u Fizičkome praktikumu ETF-a odnosno FER-a omogućuje studentima samostalna mjerenja i obradu rezultata mjerenja kako bi samostalno izvodili i razumjeli fizikalne zakone u granama mehanike, topline, fotometrije, geometrijske i fizikalne optike, elektromagnetizma i atomske fizike. Možemo reći da su *Mjere i mjerenja u fizici* (udžbenik, 1975) bili, zapravo, najšire znanstveno polje kojim se Lopašić najdulje bavio. Pisac ovog *Spomena* u 1. svesku (A–Bd) *Hrvatske enciklopedije* (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1999.) u članku *Atwoodov padostroj*, još za života profesora Lopašića, napisao je: »U modernu sveuč. nastavu fizike u Zagrebu A.p. su u predavanja iz mehanike 1950-ih uveli V. Lopašić (Elektrotehnički fakultet) i M. Paić (Prirodoslovno-matematički fakultet).«

Uz izvorne doprinose pristupu klasičnoj i modernoj fizici što ih je u tim područjima fizike izgradio zajedno s mnogim svojim suradnicima, posebno treba naglasiti njegovu knjigu *Predavanja iz fizike: Elektromagnetsko polje* (Školska knjiga, Zagreb, 1979.), koja je jedna od najboljih uvoda u elektromagnetsku teoriju na hrvatskome jeziku. Knjiga se izdvaja originalnim fenomenološkim pokusima kojima se izvode i dokazuju glavni zakoni električnog i magnetskog polja, pa i slavne Maxwellove jednadžbe. U toj se knjizi Lopašić bavi i Rudermom Boškovićem i divi njegovu djela, prije svega *Boškovićevoj*

krivulji sile, te Boškovićevu fundamentalnom pokusu s dalekozorom s ciljem izbora između valne i čestične teorije svjetlosti. Smatrao je da Boškovićevu veliku prirodoslovnu teoriju o točkama (atomima) i jedinstvenoj sili između njih fizičari i filozofi, napose hrvatski, trebaju proučavati iznova i da trebaju pokušati dati nova tumačenja. Sam Lopašić može se smatrati pravim primjerom odnosa prema znanstvenoj baštini hrvatske fizike: etički uzornim jest njegovo njegovanje uspomene na prof. dr. Stanka Hondla i čuvanje zbirke originalnih pokusa iz akustike prof. Vinka Dvořaka.

Doktorske disertacije koje je 1961. i 1962. V. Lopašić vodio kao mentor ili je za njih bio koreferentom, imale su u tome vremenu na Sveučilištu u Zagrebu veliko značenje za znanost. Ti su doktorati međudisciplinarno povezivali fiziku i brzu elektroniku, napose proračune akceleratorskog snopa lakih čestica na niskim energijama i elektroniku (nuklearnu i digitalnu) za kontrolu snopa. Doktorandi iz toga doba, koji su potekli iz ETF-a, postali su poznatim znanstvenicima u svijetu i kod nas: V. Radeka kao šef Odjela elektronike u *Brookhaven National Laboratory* na Long Islandu, M. Sedlaček u Stockholmu kao stručnjak za mikrotrone, S. Turk kao osnivač studija *Računarstva* na ETF-u u Zagrebu, zbog čega je ETF i promijenio ime u FER.

Profesor Lopašić nije bio zainteresiran samo za klasičnu fiziku i metode! Koliko su mu energija i životna dob dopuštali, bavio se velikim teorijama fizike i divio im se: kvantnoj mehanici, teoriji relativnosti i nuklearnoj fizici. Smatrao je *Paulijev princip isključenja* najvećim dostignućem ljudskog teoretskog uma kojim je otkrivena tajna atomske i nuklearne strukture. Atomi, jezgre i subatomske čestice nisu više *stvari o sebi*, kako bi valjalo tumačiti prema Kantovoj spoznaji, nego su oni gradivne čestice u *Priradi*, čiju nam građu i zakone najbolje predočava kvantna mehanika.

Profesor je Lopašić po svakodnevnoj i ukupnoj svojoj zainteresiranosti za fiziku, te po svojem djelu u razvoju i organizaciji nastave fizike, bio ne samo poznatim, nego i najistaknutijim imenom hrvatske fizike u drugoj polovici XX. stoljeća. Poživio je dugo, skoro stotinu godina, pa je tako dugo i plodno prenosio znanje iz fizike mnogim generacijama studenata ETF-a i ostalih tehničkih fakulteta koji su nastavu fizike slušali u predavaonicama i fizičkim praktikumima ETF-a odnosno FER-a. Njegov je kršćanski svjetonazor ostajao isti unatoč burnom okruženju. U praktičnome ophođenju najviše je cijenio odgovornost i točnost u izvršavanju posla, ali se zato rukovodio i *mekšim* etičkim principom: *Errare humanum est!*

Od priznanja što ih je primio tijekom života, izdvajamo da je bio počasnim članom Društva inženjera i tehničara, te Hrvatske akademije tehničkih znanosti. Za svoje djelo i metodu u nastavi i znanosti fizike primio je niz priznanja: Orden rada sa zlatnim vijencem, nagradu i priznanje Grada Splita, zlatnu plaketu »Josip Lončar« (1976) na ETF-u, zlatnu plaketu Instituta »Ruđer Bošković« (1981) i povelju Sveučilišta u Zagrebu za doprinose razvoju tehničkih znanosti.

Prof. dr. Vatroslav Lopašić sahranjen je na *Mirogoju* 19. prosinca 2003. godine u obiteljskoj grobnici. Posljednjem su ispraćaju, uz obitelj i njegove brojne prijatelje iz kruga Katoličke crkve u Zagrebu, nazočili mnogi prijatelji i nastavnici *Fakulteta elektrotehnike i računarstva*, njegovi suradnici iz *Zavoda* za primijenjenu fiziku FER-a, nastavnici ostalih tehničkih fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te brojni studenti koji su nekada slušali poznata predavanja profesora Lopašića na *Elektrotehničkom fakultetu* u Zagrebu. U njihovu pamćenju, ali i za nadolazeće naraštaje, stoji kao klasik sveučilišne nastave fizike na tehničkim fakultetima u Zagrebu i Hrvatskoj.

Ivo Soljačić²⁴

PROF. DR. VATROSLAV LOPAŠIĆ – Život i djelo²⁵

(Hrvatski fizičar)

Hrvatsko katoličko društvo prosvjetnih djelatnika proglasilo je u jedanaest godina svoga postojanja svega šestoricu počasnih članova. Ta odlika dodjeljuje se samo onim prosvjetnim djelatnicima koje je društvo prepoznalo kao uzor drugima ne samo po uspješnosti u struci, već i po javnoj djelatnosti i životnom stavu. Prvi počasni član Društva bio je prof. Lopašić.

Prof. Lopašić rođen je u Pakracu 11. prosinca 1911. Osnovnu školu pohađao je u Srijemskoj Mitrovici, a srednju u Zagrebu. Studirao je teorijsku matematiku na Filozofskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je i diplomirao 1934. godine. Ubrzo zatim je i doktorirao, iz područja eksperimentalne fizike. Bio je asistent na zagrebačkom Filozofskom fakultetu, a 1943. izabran je ondje za izvanrednog profesora teorijske fizike. 1945. g. degradiran je natrag u zvanje asistenta, a 1950., za potrebe službe, ponovno biva izabran za izvanrednog profesora, iz fizike, ali sada na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Od 1952. do 1956. bio je pročelnik odjela elektronike na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. Za redovitog profesora na tada već osformljenom Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu izabran je 1958. g. Napisao je veći broj znanstvenih i stručnih radova, udžbenik "Predavanja iz fizike" i priručnik "Mjere i mjerenja u fizici". Akademске god. 1959/1960. bio je dekan Elektrotehničkog fakulteta. Dobio je veći broj priznanja, a

odlikovan je i ordenom rada sa zlatnim vijencem. Umro je u Zagrebu 17. prosinca 2003.

Prof. Lopašić bio je izvrstan predavač. Predavao je fiziku na svim odjelima tadašnjeg Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pedesetih godina 20. stoljeća, u vrijeme kada je godišnje njegov predmet upisivalo i slušalo preko tisuću studenata. Predavanja iz fizike bio je doveo gotovo do savršenstva. Ispredavano gradivo redovito je ilustrirao eksperimentom, ponekad vrlo efikasnim, te bi mu često studenti usred predavanja zapljeskali. Dvorana u kojoj je predavao, u Kačićevoj ulici, bila je uvijek duplom puna, iako on nije u studenata kontrolirao redovitost pohađanja predavanja. U svom nastavničkom radu bio je vrlo savjestan i požrtvovan; isticao se kao pravedan i strpljiv ispitivač, i onda kad bi u vrijeme ispitnih rokova imao i po dvadeset studenata dnevno. Za sav taj posao dostatna mu je bila pomoć jednog asistenta i nekoliko demonstratora. Kad se 1956. g. Tehnički fakultet razdijelio na više fakulteta, prešao je na novoformirani Elektrotehnički. Fiziku su studenti tehničkih fakulteta i dalje upisivali kod njega, ali na nekim fakultetima predavali su je i drugi nastavnici.

O znanstvenom i stručnom radu prof. Lopašića već je dosta pisano (npr. vidi "Marulić" 2004., br.4), te se ne ćemo podrobnije osvrtni na to. Nama je zanimljiv prvenstveno njegov životni stav Hrvata i katolika, stav koji nikad nije skrivao, već ga je, dapače, redovito isticao. Njegova visoka figura redovito se mogla vidjeti u Katedrali ili u Franjevačkoj crkvi na Kaptolu. To je bilo u vrijeme surovih represija titoističkog režima, kad su komunisti proglasili da nastavnik ne može i ne smije biti

²⁴ Profesor emeritus Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Katolički kalendar Danica, 2005., str. 88–90.

²⁵ Katolički kalendar Danica, 2005., str. 88–90, (prepisak).

religiozan, jer to "negativno" utječe na omladinu. Samo najhrabriji nastavnici odlazili su u crkvu, i to potajice nekamo na periferiju grada, nadajući se da ih ondje nitko ne će vidjeti. U manjim gradovima i selima i to je bilo nezamislivo. Svi su se bojali da ne izgube radno mjesto. Mnogi sveučilišni profesori, npr. prof. dr. Mihovil Gračanin s Agronomskog fakulteta i prof. Deželić s Prirodoslovno-matematičkog, zbog svojih su principijelnih stavova dobili otkaz na svom radnom mjestu, i to na poticaj tadašnjeg ministra prosvjete dr. Miloša Žanka i uz potpis dr. Vladimira Bakarića. No prof. Lopašić nije odustajao od svog stava. Dapače, na vratima predavaonice bi u onim godinama kad je predavanje padalo na Božić, ostavio oglas, po prilici ovakvog sadržaja: "Dne 25. prosinca ne će se održati predavanje iz fizike." Ipak su ga zadržali u službi, jer su ga nužno trebali. Nama studentima to je bilo veliko ohrabrenje i poticaj da ostanemo odvažni i ustrajni kao što je on bio. U njemu smo gledali svoj uzor katoličkog prosvjetnog djelatnika i znanstvenika, koji nam je svojim radom, svojom hrabrošću i principijelnim sta-

vom svjetlio u tim teškim i olovnim vremenima.

Vrata stana prof. Lopašića bila su otvorena svima dobranamjernim. K njemu su u kuću često navraćali suradnici, bivši studenti, mnogi svećenici, od kojih je jedan bio njegov bivši asistent, a od sedamdesetih godina i kardinal Kuharić, koji mu je dolazio na blagoslov kuće.

Manje je poznato da je prof. Lopašić bio u stalnoj vezi s blaženim Alojzijem Stepincem, i to u doba kad je blaženik bio zatočen u Krašiću. Njegova supruga, rođena Krašćanka, povremeno je uspijevala, unatoč strogoj policijskoj kontroli, doprijeti do zatočenika. Od časnih sestara na župnom dvoru saznala bi što mu je potrebno, i onda bi mu prof. Lopašić po njoj slao te potrepštine. Sačuvano je i jedno originalno pismo koje mu je blaženik poslao²⁶. Gđa. Lopašić ističe kako su na taj način ona i njen suprug dobili obilje milosti i ohrabrenja, a blaženik im je podario i niz svetih sličica sa svojim žigom i potpisom. Profesoru Lopašiću poslao je kronicu, na koju je on često molio. Š tom je kronicom omotanom oko ruku i pokopan.

*Branko Hanžek*²⁷

SPOMEN-PLOČA VATROSLAVU LOPAŠIĆU NA FER-u²⁸

U sklopu svečane sjednice povodom Dana Fakulteta elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu otkrivena je 19. studenoga 2010. spomen-ploča prof. Vatroslavu Lopašiću. Tom su se prigodom nazočnima

obratile prof. dr. sc. Zvonko Benčić, inicijator postavljanja spomen ploče, te prof. dr. sc. Višnja Henč-Bartolić, višegodišnja suradnica prof. Lopašića, koja je govorila o njegovim znamenitim pokusima. Na svečanosti je kao posebna gošća bila nazočna gđa. Terezija Lopašić, supruga prof. Lopašića, koja je i otkrila spomen ploču.

Spomen ploča postavljena je na FER-u, na početku stuba kojima su studenti ulazili u dvoranu B1 u kojoj je prof. Lopašić držao

²⁶ Reprint pisma se nalazi u 9. poglavlju Korespondencija.

²⁷ Viši znanstveni suradnik (doktor znanosti), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti.

²⁸ *Automatika* 51(2010)4, rubrika Savjetovanja i priredbe, str. 401, (prepisak)



SL. 10.4.: Gospođa Terezija Lopašić otkriva spomen-platu prof. Vatroslava Lopašića, do nje su prof. dr. Viliam Hent-Bartulić i prof. dr. Zvonko Benčić

predavanja i izvodio svoje pokuse u razdoblju od 1966. do 1982. godine. Pokusi prof. Lopašića izvode se još i danas na predavanjima iz fizike i u studentskome praktikumu. Njihova je suvremenost i bezvremenost jednaka sada kao i prije 50 godina, zato što i danas studente zanima kojom su metodom i zaključivanjem Newton, Maxwell i Schroedinger došli do svojih zakona. Izvorni pokusi prof. Lopašića, za koje su modeli izrađeni u zavodskoj radionici, nisu fizikalnu pojavu samo pokazivali, nego su u njima provedena fizikalna mjerenja. Kroz te su nadaleko poznate pokuse studenti na zoran način upoznavali fizikalne zakone.

Primjer prof. Lopašića pokazuje koliko je značajna generacijska neprekinutost obitelji i

generacijska neprekinutost znanstvene misli. Obitelj Lopašić, podrijetlom iz Jajca, svoj je značajan trag tijekom dva i pol stoljeća ostavila u Karlovcu. Prof. Vatroslav Lopašić peti je naraštaj obitelji iz koje su potekli mnogi ugledni članovi koji su se istaknuli kao notari, gradski sudci, gradonačelnici, povjesničari, političari, itd.

Generacijsku neprekinutost znanstvene misli čini niz od šest fizičara: *Ernst Mach (1838-1916)*, *Vinko Dvorak (1848-1922)*, *Peter Salcher (1848-1928)*, *Andrija Mohorovičić (1857-1936)*, *Stanko Hondl (1873-1971)* i *Vatroslav Lopašić (1911-2003)*. Mach je bio učitelj Dvorzaku, Salcheru i Mohorovičiću. Hondl je bio Dvozakov učenik, a Lopašić je

bio Hondlov učenik. Zanimljivo je da su se sva šestorica bavili valovima, bilo zvučnim bilo svjetlosnim, a osim kao znanstvenici, poznati su i po svojem didaktičkom radu u kojemu su koristili demonstracijske pokuse.

Spomen ploču s plaketom na kojoj je prikazan lik prof. Vatroslava Lopašića izradio akademski kipar doc. Mladen Mikulin. Na kraju

je svečanosti prof. Benčić zahvalio prijašnjem i sadašnjem dekanu FER-a prof.dr.sc. Vedramu Mornaru i prof.dr.sc. Nedjeljku Periću koji su podržali i ostvarili ideju o postavljanju spomen-ploče.

Zahvalio je i povjerenstvu koje mu je pomagalo te svima koji su prisustvovali svečanosti.

Darko Žubrinić²⁹

OTKRIVANJE SPOMEN-PLOČE PROFESORU LOPAŠIĆU³⁰

Profesor Vatroslav Lopašić bio je profesor fizike na Filozofskom fakultetu, Tehničkom

na FER-u, da bi akademske godine 1959./60 obavljao i dužnost dekana.



Sl. 10.5.: Sa svečanosti otkrivanja spomen-ploče prof. Vatroslavu Lopašiću. S lijeva na desno: Zorjuzdana Gregorina, mr. Drago Šubat, prof. dr. Zvonimir Jakobović, Ana Tužar, prof. dr. Radoslav Galić, (neprepoznat), (neprepoznat), akad. Leo Budin, prof. dr. Uroš Peruško.

fakultetu i Elektrotehničkom fakultetu (sada Fakultetu elektrotehnike i računarstva) u Zagrebu. Od 1985. godine je redoviti profesor

²⁹ Redoviti profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

³⁰ *Matematičko-fizički list*, LXII 2 (2010./2011.), str. 129-130, (prepisak).

Bio je nasljednik akademika Stanka Hondla (1873.-1971.), bivšeg rektora Sveučilišta u Zagrebu. Dr. Hondl bio je nasljednik profesora Vinka Dvoraka (1848.-1922.), izvrsnog češkog fizičara (i studenta Ernsta Macha), koji je osnovao studij fizike na Sveučilištu u Zagrebu godine 1975.



Sl. 10.6.: Sa svečanosti otkrivanja spomen-ploče prof. Vatroslavu Lopasiću: a) s lijeva na desno: prof. dr. Aleksander Šolc, umirovljeni profesor Građevinskog fakulteta u Zagrebu; prof. dr. Hrvoje Damitrović, prodekan za organizaciju i poslovanje; prof. dr. Mislav Grčić, prodekan za znanost; prof. dr. Davor Petrinović, prodekan za nastavu; pr prof. dr. Ljiljana Bistričić, predstojnica Zavoda za primijenjenu fiziku i prof. dr. Nedjeljko Perić, dekan FER-a;

Na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu je 19. studenoga 2010. održana svečanost obilježavanja Dana fakulteta. Pred kraj svečane sjednice dekan DER-a, prof. dr. Nedjeljko Perić pozvao je prisutne na otkrivanje spomen-ploče prof. Vatroslavu Lopasiću i uputio ih u aulu fakulteta. Istaknuo je da će svečanost otkrivanja spomen-ploče otvoriti prof. Zvonko Benčić, inicijator postavljanja spomen-ploče te će prof. Višnja Henč-Bartolić, višegodišnja suradnica prof. Lopasića, kazati nekoliko riječi o njegovim znamenitim pokusima.

Nakon toga prof. dr. Zvonko Benčić obratio se prisutnima:

„Drage kolegice i kolege, dragi gosti! Nazližmo se pred činom otkrivanja spomen-ploče našem profesoru Vatroslavu Lopasiću. Do mene je višegodišnja suradnica prof. Lopasića, višnja Henč-Bartolić i supruga prof. Lopasića, Terezija Lopasić. Spomen ploča je na početku stepenica kojima su studenti ulazili u dvoranu u kojoj je prof. Lopasić držao predavanja. Jedan od mojih susreta s prof. Lopa-

šićem bio je 1994. godine, na skupštini Akademije tehničkih znanosti hrvatske (HATZ), kada je dobio povelju počasnog člana HATZ-a. Pitamo me je kada sam slušao njegova predavanja. Odgovorio sam mu da sam Fiziku I. Slušao 1958. god. Komentirao je: „Oh, tada su moja predavanja bila u punom sjaju“.

Pokus profesor Lopasića izvode se i danas, na predavanjima iz fizike i u studentskom praktikumu. Izvode se jer su bezvremeni; jednako kao prije 50 godina i danas studente zanima kojom su metodom, kojim zaključivanjem Newton, Maxwell i Schroedinger došli do svojih zakona. Samo vrsta djela su bezvremena stvarnost, zamisao.“

Zatim se prof. dr. Višnja Henč-Bartolić nekoliko riječi obratila nazočnima govoreći o pokusima prof. Lopasića:

„Kako se u fizici dolazi do prirodnih zakona eksperimentalnom i teorijskom metodom, profesor je sustavno izlagao svoje spoznaje na taj način. Stoga su se priredivali pokusi, često puta originalni, izrađeni u zavodskoj radionici. Zašto se držao tog principa?

Fizikalnu pojavu nije samo demonstri-



Sl. 10.7.: Spomen-ploča prof. Vatroslava Lopašiću na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

rao. Treba posebno naglasiti da su u pokusu vršena mjerenja fizikalnih veličina, njegova povezanost i diskutirala se pogreška mjerenja. Kroz te nadaleko poznate pokuse studenti su upoznavali fizikalne zakone. Tim pristupom oni uglavnom nisu bili vođeni u srednjoj školi. Evo nekoliko primjera. Vlastitim uredajem mjerio je slobodni pad. Iz neposredno izmjenjenih dubina i pripadnih vremena padanja sitnog tijela zaključilo se ma akceleraciju slobodnog pada. Foucaultovim njihalom duljine niti oko 6 m potvrdilo se okretanje Zemlje oko vlastite osi, tako da je sjenu niti njihala uvećano projicirao na udaljeni zid. Već nakon nekoliko njihaja opazio se pomak sjene i iz najudaljenije klupe u dvorani. Mjerio je brzinu svjetlosti metodom rotirajućeg zrcala, koje se okretalo brzinom većom od 500 okretaja u sekundi. Svjetlost je prolazila put od 16 m. Ovo su samo neki primjeri koje smo ovdje istakli.*

Nakon toga je gospođa Lopašić otkrila spomen-ploču. Taj svečani čin zabilježen je na slici na drugoj strani omota lista. Na spomen ploči niše:

**U DVORANI B1
OD 1966. DO 1982. GODINE
PROF. DR. VATROSLAV LOPAŠIĆ
DRŽAO JE PREDAVANJA IZ FIZIKE
POPRAČENA NJEGOVIM ZNAMENITIM POKUSIMA**

**21. STUDENOGA 2010.
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I
RAČUNARSTVA
M. MIKULIN FECIT**

Na kraju se prof. Benčić zahvalio najzaslužnijima za postavljanje spomen-ploče profesoru Lopašiću koji je rođen prije 99 godina: „Spomen-ploču je izradio akademski kipar Mladen Mikulin. Zahvaljujem se kiparu Mikulinu na uzornom djelu.

Također se zahvaljujem prijašnjem dekanu prof. Vedranu Mornaru koji je podržao ideju postavljanja spomen-ploče te sadašnjem dekanu prof. Nedjeljku Periću, koji je tu ideju i ostvario.

Zahvaljujem se i povjerenstvu koje mi je pomagalo i svima vama koji ste prisustvovali ovoj maloi svečanosti.*



SL 10.8.: S priprema za predavanje prof. Vatroslava Lopašića. U pulveru je asistent Ljudevit Čeljski

Branko Hanžek³⁰

ZNAMENITA PREDAVANJA PROFESORA VATROSLAVA LOPAŠIĆA I DALJE ŽIVE³¹

Glavni dio teksta nalazi se u prvom poglavlju: »Životopis te nastavna, stručna i znanstvena djelatnost« te u prethodnom odsječku. Cjelovit tekst je na CD-u.

³⁰ Viši znanstveni suradnik (doktor znanosti), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti.

³¹ Objaviti će se u časopisu *Strojarstvo* 2011. godine.

11. USPOMENE I SJEĆANJA NA PROFESORA LOPAŠIĆA

Autorski tekstovi izražavaju osobni doživljaj. Zato su izvršeni samo očiti pravopisni ispravci; konstrukcija rečenice nije mijenjana. Više autora opisuje isti doživljaj, ponekad s manjim razlikama. Čitatelj će lako prosuditi kako je bilo ili kako je moglo biti. Pretjerivanja, idealizacije, karikiranja i sl. oslikavaju atmosferu doba profesora Lopašića

Ljubica Trajbar-Benčić¹

POČECI ZAPAŽENIH POKUSA



Sl. 11.1.: Predavaonica Fizikalnog zavoda na Maturalicevom trgu 19. u kojoj je predavao prof. Hondl, a Lopašić mu je bio asistent.



Sl. 11.2.: Predavaonica Fizikalnog zavoda na Maturalicevom trgu 19 danas

¹ Srednjoškolska profesorica fizike, matematike i kemije (1921.–2010.). Većinu radnog vijeka predavala u XIII. gimnaziji u Zagrebu.

Upisala sam se na Filozofski fakultet u I. semestar 1940./41., jer se onda fizika i matematika predavala na Filozofskom fakultetu koji je za vrijeme NDH ponovno imenovan u Mudroslovni fakultet. Kolegij *Ekperimentalna fizika* vodio je prof. dr. Stanko Hondl u novoj zgradi na Marulićevu trgu. Predavanja su počinjala svakog dana u osam sati i svakog dana u to vrijeme ulazio je u predavaonicu profesor Hondl u pratnji svog asistenta dr.

Vatroslava Lopašića. Predavaonica je imala dugačak i prostran stol koji je već bio ispunjen pomagalicama potrebnima za pokuse koji će se tog dana izvršiti. Dobro se sjećam dana kad je profesor Hondl uradio vrlo lijep i složen eksperiment i pošao zatim prema mjestu gdje je uvijek sjedio dr. Lopašić i duboko se pred njim poklonio izjavivši: »Ovaj lijepi eksperiment dugujemo gospodinu asistentu i ja mu zahvaljujem«.

*Zejezdana Gregorina*²

BILA SAM STUDENTICA, DEMONSTRATORICA I ASISTENTICA PROFESORA LOPAŠIĆA



Sl. 11.3.: Asistentica Zejezdana Gregorina u Velikoj predavaonici Arhitektonsko-građevinsko-geodetskog fakulteta (drži reflektor). U bijeloj kurti je asistentica Viliņa Henč (lijevo) i Vanda Jurilić.

Počeci Zavoda za fiziku

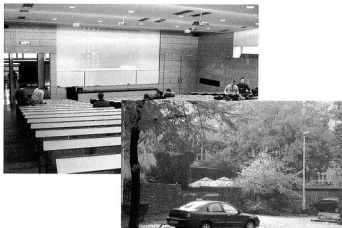
Studij na Tehničkom fakultetu, Elektrotehnički odsjek, smjer slabe struje, upisala sam školske godine 1953./54. Onda je Zavod za fiziku radio u danas teško zamislivim uvjetima. Bio je smješten u jednoj prostoriji nastaloj pregradnjom zapadnog kraja hodnika ispred Velike predavaonice u prizemlju zgrade

² Magistrica elektronike, u Zavodu za fiziku radila od 1960. do 1962., a zatim u tvrtki »Industrogradnja« i u državnoj udrugi kao inspektorica zaštite na radu.

Fakulteta u Kačićevoj 26. Prostorija je imala L -tlocrt ukupne površine oko 50 m^2 . Tu je bio smješten cjelokupan inventar: instrumenti, uređaji i pomoćna oprema potrebna za izvođenje pokusa na predavanjima. Tu je bio i radni prostor za profesora (drugih stalnih zaposlenika nije bilo), a tu su se polagali i ispiti iz fizike. Predavanja iz fizike održavala su se u velikoj predavaonici, dva puta na tjedan, utorkom i četvrtkom ujutro po dva sata.

Odsjek i prijemnim ispitom u srpeju. Međutim, krajem kolovoza 1953. godine Vlada je izmijenila regulativu o upisima na fakultete. Prijemni su ispiti ukinuti. Uvjet za upis bila je gimnazijska matura ili završena odgovarajuća srednja škola. Zbog velikog interesa za upis na Tehnički fakultet na jesen te godine upisalo se vrlo mnogo studenata.

Kada su svi studenti došli na prvo predavanje iz fizike, Velika predavaonica bila je pre-



Sl. 11.4.: Velika predavaonica na Arhitektonsko-gradevinsko-geodetskom fakultetu (AGG-u) danas: a) put na kojem su se obavljali pokusi i b) ulaz iz Klaićeve ulice

Predavanja

Fiziku su slušali studenti Elektrotehničkog, Strojarsko-brodograđevnog, Građevinsko-geodetskog i Rudarsko-kemijskog tehnološkog odsjeka. Raspoloživi kapacitet Fakulteta bio je dovoljan, jer je broj novoupisanih studenata bio ograničen upisnom kvotom za svaki

puna. Dio studenata nije uopće mogao ući u dvoranu. Problem prostora riješen je tako da se fizika predavala u Velikoj predavaonici, ali u dva turnusa. Prva je grupa imala predavanja od 6 do 8 sati, a druga grupa od 8 do 10 sati. Prvoj je grupi predavao profesor Lopasić, a činili su ju studenti Elektrotehničkog, Strojarsko-brodograđevnog i Građevinsko-geodetskog

odsjeka. Drugoj grupi, koju su činili svi drugi slušači fizike, predavao je (čitao) honorarni asistent dr. Draško Gospodnetić. Iako smo fiziku oba semestra slušali tako rano ujutro, dvorana je uvijek bila puna. Čak su za predavanja najzainteresiraniji studenti dolazili i pola sata ranije kako bi uhvatili bolje mjesto, što bliže katedri, stolu dugu 6 metara na kojem je profesor izvodio pokuse.

Istini za volju, naše generacije nisu imale niti udžbenik niti skripta za fiziku, kao uostalom i za većinu drugih predmeta. Učili smo iz svojih bilježaka, ali to nije bio jedini razlog pozornog praćenja predavanja i tišine u slušateljstvu. Profesor je izlagao jasno, tempo izlaganja bio je takav da ga se moglo pratiti i da se moglo bitno zabilježiti. Pokuse je izvodio kao magični čin, odmjerenih kretnji, a općem vizualnom dojmu doprinosio je profesorov visok stas. Najjednostavniji pokus i zaključak koji je slijedio bili su upravo doživljaj.

Profesor Lopašić je napisao skripta za *Fiziku I* 1956., za *Fiziku II* 1959., a za *Fiziku III* 1962. godine. Niti tada broj slušača na predavanjima nije se smanjio, studenti su osjetili i znali da prisustvuju izuzetnim predavanjima i zato su dolazili. Iako je prošlo gotovo šezdeset godina od kada sam kao studentica prve godine studija slušala Profesorova predavanja, do sada nisam naišla na kolegu koji se ne bi sjećao Profesora s poštovanjem i zahvalnošću za stečena temeljna znanja fizike na kojima smo poslije nadograđivali znanja struke.

Kada sam započela studij, olovna vremena već su bila nekoliko godina iza nas, ali još su uvijek vremena bila teška. Svi smo znali da je Profesor današnjim rječnikom rečeno desno orijentiran iako to ničim nije dao do znanja. Njegova predavanja kao uostalom i predavanja svih drugih naših profesora bila su apolitična. Te, 1953. godine predavanje iz fizike padalo je upravo na blagdan katoličkog Božića, koji je tada bio radni dan jednak svim radnim danima

i još malo jednaki. Bilo je mudro ne spominjati ga i ne znati da postoji. Poslije završetka predavanja pred Božić, prije nego što će od katedre krenuti prema izlazu, Profesor se okrenuo prema auditoriju i jednostavno saopćio: «Slijedeći put nema predavanja», okrenuo se i izašao iz predavaonice. Svi smo ostali zatečeni, u dvorani je vladao potpun muk, nismo vjerovali što smo čuli, nismo komentirali, jednostavno smo otišli iz dvorane za svojim obavezama.

Na Božić nisu niti drugi profesori održali predavanje, ali nitko nas nije unaprijed na to upozorio. Tako je prof. Blanuša bio «gripozan», pa smo umjesto predavanja imali vježbe iz matematike koje je održao tada asistent dr. Vladimir Devidić. Poslije podne po rasporedu su bile vježbe iz nacrtne geometrije, ali asistent Petričević nije došao. Došlo je samo nekoliko studenata, koji su se također brzo razišli.

Ispriti iz Fizike I i II

Profesor je na predavanjima mnogo davao slušačima, ali je isto tako mnogo tražio na ispitu. Gradivo oba semestra polagalo se kao cjelina u ljetnom i jesenskom roku. Ispit u zimskom roku bio je prekasno za redovite studente, jer je položena fizika bila uvjet za upis u drugu godinu studija. Ispit je bio usmeni. Profesor je ispitivao studente kojima je on predavao, a dr. Gospodnetić ispitivao je svoje slušače, ali organizacija ispita bila je jednaka.

Cijelo je gradivo bilo podijeljeno u tri grupe pitanja. Svako je pitanje bilo numerirano i napisano na jednoj strani ceduljice. Poledina ceduljice bila je potpuno prazna kako bi sve ceduljice jednako izgledale. Ne znam koliko je bilo ukupno pitanja, ali procjenjujem da ih je u svakoj grupi bilo najmanje 50. Isto pitanje nije se u jednom danu moglo izvući dva puta.

U prostoriju za ispit pozivala se se po dva studenta istovremeno, oni bi sjeli za stol suče-

lice Profesoru i naizmjenično odgovarali. Može bitne skice ili tekstove crtali su ili pisali na komadu papira ne napuštajući svoja mjesta. Pitanja su bila na stołu okrenuta tako da se njihov sadržaj ne može pročitati. Student bi iz svake grupe izvukao po jedno pitanje, dakle ukupno tri pitanja. Izvučeno pitanje nije se moglo mijenjati.

Profesor je u svoju, za ispite posebno namijenjenu bilježnicu upisao ime i prezime studenta i brojeve pitanja koja je student izvukao. Sada je student zamoljen da započne odgovarati na pitanje iz prve grupe. Profesor je slušao, a ako je smatrao za potrebno postavljao je potpitanja, tražio objašnjenje izloženog, opis pokusa ili slično. Ocjenjivao je odgovor na svako pojedino pitanje i to tako da bi u svojoj bilježnici iznad broja pitanja tijekom odgovaranja stavljao točke. Ukupan broj točaka bila je ocjena odgovora na to pitanje. Tako je ocijenio odgovore na sva tri pitanja i to je bila podloga za konačnu ocjenu ispita iz fizike.

Pred ispit su studenti bili vrlo uzbuđeni. Sjećam se svojega ispita. Kada smo kolega i ja pozvani da pristupimo ispitu, ušli smo u prostoriju Zavoda i našli se pred stolom s dvije stolice za nas dvoje. Zbog treme toliko smo se uzmuvali da smo oboje sjeli na isti stolac. Najprije je sjedio kolega, a gotovo istovremeno sjela sam i ja, njemu u krilo. Tog trena sve je bilo preozbiljno da bi nam onda bilo smiješno. Smijem se tom prizoru još i danas.

O Profesorovoj objektivnosti i pravednosti na ispitima znalo se. Za prolaz je bio samo jedan uvjet i jedna mogućnost, trebalo je znati. Jednom prilikom, tada sam već bila demonstrator, pokrenuo se razgovor na temu o intervencijama za ispite. Profesor je o tome rekao: »Nedavno me nazvao jedan moj znanac i napomenuo mi kako njegov sin ide meni na ispit iz fizike itd. Odgovorio sam mu neka ne brine, jer ako je vaš sin svladao građivo, sigurno će proći na ispit«. Da bi potkrijepio svoju tvrdnju, Profesor

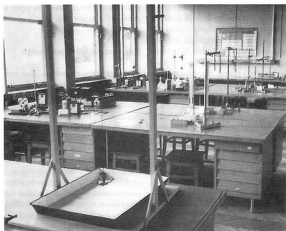
je dodao: »Prije nekoliko dana jedan student je polagao fiziku šesti put, znao je i prošao je«.

Priprema pokusa za predavanja

Očima demonstratora Zavod sam promatrala tri godine (od početka 1955. do kraja šk. god. 1957./58. Zadatak honorarnih asistenata Draška Gospodetića i Ljudevita Čeljuske te demonstratora bio je da dva puta na tjedan, kasno poslijepodne pripreme pokuse za predavanje sljedećeg jutra. To je značilo, da nakon što Profesor odredi koji će se pokusi izvoditi na predavanju, mi uz pomoć *Teloteke* izdvojimo iz ormara *Zbirke* sve instrumente, uredaje i pomoćni materijal te da to prenesemo u veliku predavaonicu. Asistenti uz pomoć demonstratora pokuse su postavili na katedri ili na nekom drugom mjestu pogodnu za izvođenje pokusa. Profesor nam je pomagao, nadzirao nas i na kraju izveo bitne dijelove pokusa. Bio je vrlo pedantan i zahtjevan kada su pokusi bili u pitanju, a i ne samo pokusi. Jednom prilikom, da naglasi kako ništa ne trebamo prepustiti slučaju, šaleći se, rekao nam je: »Danas morate isprobati gori li i ona šibica koju ćete sutra pri izvođenju pokusa upotrijebiti«. Pripreme su ponekad trajale do duboko u noć, a ponekad smo veseli brzo obavljenim poslom ostali razgovarati o različitim temama dok se ne bismo sjetili da je rano ujutro predavanje.

Prostorno proširenje Zavoda 1956. godine

Za Zavod je 1956. godina bila sretna i važna. Sretna zato jer se Zavod proširio za još oko 400 m² kvalitetnog prostora, a važna jer je počeo radom *Fizički praktikum*, prvi put od osnutka Zavoda 1945. godine. Nove su prostorije bile na prvom katu, djelomice točno



Sl. 11.5.: Fizički praktikum na Fakultetu elektrotehnike i računarstva danas



Sl. 11.6.: Prof. Miroslav Sedlaček i prof. Dranko Gospodnetić dogovaraju sa zavodskim majstorom Pavlom Vlatićem izradbu neke aparature. Pavlo Vlatić mnogo je doprinio pokusima, ne samo pažljivom i točnom izradom nego i korisnim prijedlozima na poboljšanje njihove aparature.



Sl. 11.7.: Tajnica Elza Krivošić (u bijeloj kći)

iznad do tada jedine prostorije Zavoda. Takav smještaj prostorija omogućio je spajanje prostorija internim stepenicama. U novim prostorijama bila je kancelarija, sobe za asistente, profesorova soba s knjižnicom i fotokomora. Fizikalni je praktikum zauzimao jednu prostoriju površine oko 100 m² i tri manje prostorije za vježbe koje su trebale posebne uvjete (optika, akustika).

Svi smo se veselili uređivanju novih prostorija. Domišljali smo se kako urediti poneki detalj da bude svrsishodan i lijep. Sjećam se borbe mišljenja oko pitanja kako oličiti interni hodnik koji vodi od ulaza u Zavod do ulaza u praktikum. Kako je hodnik bio bez direktnog osvjjetljenja, na kraju smo se dogovorili da zidove treba obojiti limunskožutom bojom i da na jedan od zidova treba objesiti oglašni ormarić većih dimenzija. Pozadinu ormarića obojili smo nebeskoplavom bojom, a unutrašnjost ormarića osvjjetljavale su neonske cijevi. Ormarić je zatvaralo staklo. Na kraju smo svi bili zadovoljni, hodnik je bio ugodno i vedro mjesto kroz koje su studenti prolazili do prak-



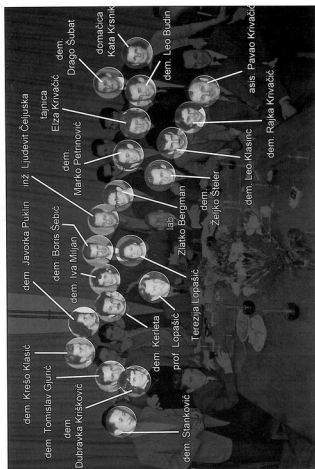
Sl. 11.8.: Asistent Pavao Krivošić i demonstrator Tomislav Gjurčić

tikuma, a usput bi vidjeli sve obavijesti namijenjene njima.

Profesorova misao vodilja pri stvaranju praktikuma bila je želja da se kod studenata razvije samostalnost i kritičnost, dakle znanstveni način mišljenja. Osmisliti i realizirati takav fizikalni praktikum zahtijevalo je mnogo truda. Koliko ja znam, taj ogroman posao, kako stručni tako i organizacijski dio, načinio je Profesor sam. U vrijeme stvaranja Praktikum-a u Zavodu su još uvijek bila samo dva honorarna asistenta. Najveća pomoć Profesoru u toj fazi rada bio je naš majstor Pavao Vlašić u zavodskoj radionici koji je svojim vještinama i znanjem znao realizirati mnoge Profesorove zamisli. Demonstratori su bili uključeni u sitne završne radove. Iako je Profesor izveo sve vježbe kako bi provjerio radi li sve ispravno i zabilježio izmjerene vrijednosti, demonstratori su morali vježbe ponovo raditi. Svrha tih provjeravanja bila je da se utvrdi može li student vježbu izraditi u raspoloživom vremenu i kakvi se rezultati mogu očekivati od studenata.

U konačnici praktikum je činilo tridesetak različitih vježbi koje su pokrivala sva područja fizike. Svaka je vježba bila postavljena na jednom stolu. Na stolu je bilo sve što je bilo potrebno za izvođenje mjerenja. Uz sva-





Slika 11.9: Zaposlenici i demonstratori Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu (1956.)

ku vježbu bila je priložena uputa za izvođenje vježbe natipkana na dva lista formata A4. Skripta za izvođenje vježbi nije bilo. Njih je Profesor sa suradnicima napisao mnogo poslije, 1981. godine. Studenti su nakon ulaska u Praktikum birali vježbu prema želji. Za jednim stolom istovremeno su dva studenta radila istu vježbu. Vježbu je trebalo završiti za dva puna sata.

Studenti su morali najprije vrlo pažljivo proučiti uputu, zatim spojiti aparaturu ili izvršiti neke druge pripreme, izvesti mjerenja, zabilježiti očitavanja instrumenata i obraditi izmjerene veličine. Na kraju rada prezentirao se i obrazložio krajnji rezultat vježbe. Cijelo vrijeme trajanja vježbi u Praktikum je dežurao jedan ili dva demonstratora; oni su svojim tumačenjima i savjetima priskakali studentima u pomoć kada je bilo potrebno.

Svi studenti, njih nekoliko stotina, možda se taj broj približavao tisući, bili su podijeljeni u grupe od po 60 studenata. Svaka grupa imala je vježbe jedanput na tjedan, tijekom oba semestra prve godine studija. Uspješno obavljene sve vježbe bio je uvjet za pristup ispitu iz fizike.

Praktikum kao i sve druge prostorije Zavoda bili su pomno održavane. Profesoru je osim svrsishodnosti bila vrlo važna estetika i urednost. Podovi svih prostorija bili su obloženi svjetlim drvenim parketom. Tada još nije bilo laka za lakiranje podova, već se parket mazao pastom od voska i laštio ručno posebnim četkama. U javnim prostorijama parket je obično premazivan posebnom crnom kremom, što je bilo ružno, ali lakše za održavanje. Iako je u Praktikum svaki dan boravilo prosječno nešto više od 200 studenata, parket je bio uvijek čist i ulašten kao da tamo nitko nije dolazio. Ne mogu na ovom mjestu ne

sjetiti se naše gospođe Kate i njezina supruga Vilka Krsnika, koji su svojim marljivim radom održavali prostorije Zavoda.

Reorganizacija Tehničkog fakulteta 1956. godine

Tehnički se fakultet reorganizirao i podijelio na četiri fakulteta, koji su samostalno počeli raditi 1. srpnja 1956. godine. Zavod za fiziku pripao je Elektrotehničkom fakultetu, ali je nadalje vodio nastavu fizike za sva četiri novonastala fakulteta. Početak rada Fizičkog praktikuma, povećani broj studenata te diferenciranje fakulteta i posljedično diferenciranje obujma predavanja iz fizike uvjetovali su potrebu za većim brojem nastavnog osoblja u Zavodu. Već krajem 1956. godine imenovan je asistent Pavao Krivačić. Glavni mu je zadatak bio vođenje Praktikuma. Sljedeće godine nastupile su asistentice Vesna Kos i Višnja Henč, a ubrzo Zavod je imenovao još petero ili šestero asistenata.

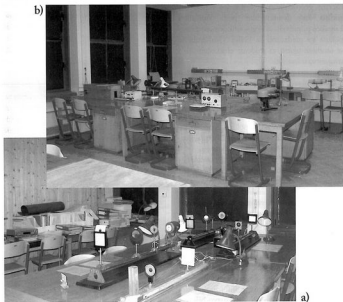
Za asistenticu sam izabrana krajem 1960. godine. Zadatak mi je bio vođenje *Zbirke*, što je obuhvaćalo brigu o inventaru i pripremu pokusa za predavanja. Mislim da su se u to vrijeme predavanja održavala u tri turnusa. Pokusi postavljeni za prvo Profesorovo predavanje izvodili su se i na sljedeća dva predavanja. Pripreme predavanja tekle su ovako. Profesor mi je tjedan ili više dana prije nego što će održati pojedino predavanje u *Zbirku* dostavio popis pokusa koje će na predavanju izvesti. Pretpostavljam da je Profesor imao svoju osobnu kartoteku pokusa jer je točno znao što je tijekom godine u *Zbirci* trebalo popraviti, zamijeniti, nabaviti itd., i na to me uvijek podsjetio i upozorio kako ne bi

bilo iznenađenja na dan postavljanja pokusa. Uskoro je u *Zbirku* dodijeljen na ispomoć još jedan asistent. Osim Profesora predavali su još kao i prije četiri godine honorarni asistenti dr. Draško Gospodnetić i inž. Ljudevit Čeljuska te dr. Miroslav Sedlaček. U Zavodu su početkom šezdesetih godina djelovala i dva honorarna docenta.

Nakon desetak godina (1950.–60.) predanog rada, profesor Lopašić dovršio je cjelovit

program nastave fizike – predavanja i vježbe. Sada po završetku obrazovne obaveze prema studentima moglo se odvojiti više vremena za znanstveni rad. Suradnici Zavoda tu priliku nisu propustili.

Zahvaljujem profesoru Lopašiću na njegovoj potpunoj predanosti studentima i suradnicima kod kojih je nastojao i uvelike uspio razviti aktivnu primjenu stečenog znanja i znanstveni način mišljenja.



Sl. 11.10.: Fizički praktikum (optički laboratorij): a) mjerenje s lećama i sfernim zrcalima, b) zakoni fotometrije (lijevo) i određivanje karakteristika izvora svjetlosti (desno), u pozadini do zida su mjerenja u vezi s Linsajusovim krivuljama

Juraj Božićević³

VRHUNSKI UČITELJ I SVJETONAZORSKI UZOR

Nedavno sam prilikom skupa o održivoj gradnji, koji se je održavao u Velikoj predavaonici Građevinskog fakulteta, imao priliku da u toj, danas lijepo uređenoj dvorani, održim predavanje. Osjetio sam nostalgичni osjećaj sjećanja na prve dane svojeg studija, jer sam u toj dvorani polazio predavanja fizike, matematike, nacrtna geometrije..., a zatim još i nekoliko godina kao demonstrator prof. Vatroslava Lopašića pripremao sa skupinom demonstratora pokuse za predavanja iz fizike. Održavala su se utorkom ujutro za studente elektrotehnike i strojarstva u šest sati.

Priprema pokusa za predavanja iz fizike bio je savršen obred. Nakon što smo višestruko provjeravali pokuse, posao smo završavali oko osam sati navečer sjedajući u prvu klupu i mirno čekajući zvuk koraka prof. Lopašića. Dolazio je da s njim još jednom provjerimo pokuse. Sutradan na predavanju sve se je moralo odvijati besprijekorno, jer pokusi su bili važna ilustracija teorije.

Prof. Lopašić bio je vrhunski odgovoran, egzaktni i etičan učitelj. Svoj je svjetonazor prenosio na mlade suradnike, zahtijevao odgovornost, preciznost, točnost i odanost. I kad smo završivši studije krenuli u život, svi smo, koliko mi je poznato, sačuvali taj svjetonazor. Prof. Lopašić bio nam je vrhunski uzor, ali nismo ga oponašali, već smo ga voljeli i cijenili. Željeli smo u svom poslu biti njemu što bliži.

Važno je istaknuti da je mudro birao demonstratore između studenata elektrotehnike, strojarstva, brodogradnje, kemijske tehnologije... pa ih poticao na druženje i interdisciplinarno komuniciranje. To mi je iskustvo bilo od važne dobrobiti u mojoj karijeri i ostvarenju

životnih uspjeha. Za današnje generacije korisno je spomenuti da se je za mjesta u prvim redovima, iz kojih je bilo najbolje pratiti predavanja, valjalo izboriti. Dolazili smo stoga na vrata zgrade već u pet sati ujutro, čekajući



Sl. 11.11.: S priprema za predavanje iz Fizike II. U pozadini, u bijeloj kuti, je laborant Ivica Perić

³ Redoviti profesor Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, u mirovinu



Sl. 11.12.: Arhitektonsko-geodetski-građevinski fakultet u kojem se nalazio Zavod za fiziku od 1950. do 1965. godine.

da podvornik otvori vrata... Na predavanjima prof. Lopašića dvorana je bila dupkom puna, studenti su sjedjeli na podu i prozorima.

Svoja je predavanja prof. Lopašić običavao oplemeniti s njemu svojstvenim posebnim humorom. Pri predavanjima o akustici pokuse je obogatio klasičnom glazbom s gramofonske ploče i duboko punoj dvorani izazvao izvanredno svečanu atmosferu.

Studentima elektrotehnike smjera slaba struja prof. Lopašić predavao je teorijsku fiziku. Predavanja su održavana četvrtkom ujutro i sedam sati. Učio nas je temeljima teorijske fizike izvoдеći složene jednačbe na ploči, strpljivošću i uz podrobna objašnjenja.

Prof. Lopašić bio je duboko religiozan, što se je odnosilo i na njegov život i na shvaćanje znanosti. Ali nije mišlao znanost i vjeru, tako da bi se moglo reći da je znanost dominirala nad vjerom ili pak vjera nad znanost. Priroda je djelo Božje ruke, koje se može re-

konstruirati, pokazati i objasniti u laboratoriju, pokazati studentima. No, čovjekova je spoznajna moć ograničena, pa on izvodi ekstrapolacije, služi se maštom... Prof. Lopašić ističe: »To vrijedi u našem laboratoriju, vrijedi i u drugim laboratorijima, vrijedi i u svakodnevnom iskustvu. Uvjereni smo da vrijedi i za cijeli svemir«.

Moj je studentski život bio omeđen suradnjom s dva sveučilišna velikana, profesorima Vatroslavom Lopašićem i Vladimirom Muljevićem. Uz prvog sam stekao vještine u eksperimentiranju i odgovornost, a uz drugoga, kod kojeg sam i diplomirao i nakon diplomiranja s njim surađivao, stekao sam organizacijske vještine i shvatio važnost relacijskog kapitala. S tim sam iskustvom gradio svoju nastavničku karijeru, a javnu sam im zahvalu uputio posvećujući im svoje knjige i oslanjajući se svojim životom i radom na njihovo djelo kao uzor.

*Leo Budin**

BRIGA ZA ČOVJEKA, KRITIČNOST I MATEMATIČKO ZNANJE

Za profesora Vatroslava Lopašića čuo sam od svojih malo starijih prijatelja, bruća na Tehničkom fakultetu, još u zadnjem razredu gimnazije. Oduševljeno su pričali o njegovim predavanjima. Odlučio sam pridružiti im se na jednom od predavanja. Predavanja su se održavala Velikoj dvorani Tehničkog fakulteta u Kačićevoj ulici (tu dvoranu danas koriste Arhitektonski, Geodetski i Građevinski fakultet). U dvoranu se ulazilo kroz malo dvorište iz Klaićeve ulice. Stigli smo pola sata prije početka predavanja, a dvorište je već bilo puno onih koji su željeli zauzeti što bolja mjesta. Odslušao sam te godine još niz predavanja. Tada nisam ni slutio da ću se s profesorom Lopašićem, na razne načine i s različitim intenzitetom, družiti punih četrdeset i pet godina.

U jesen 1956. godine upisao sam se na Tehnički fakultet, koji se upravo dijelio na više fakulteta tako, da sam već pri testiranju prvog semestra u indeks dobio pečat novog, Elektrotehničkog fakulteta. Profesor je Lopašić sa suradnicima održavao nastavu za studente svih novonastalih tehničkih fakulteta. S obzirom na to da je to bio veliki pogon, za pomoć pri organizaciji predavanja i za održavanje auditornih i laboratorijskih vježbi bio je angažiran veći broj honorarnih asistenata i demonstratora. Nakon odslušane prve godine studija pridružio sam se povećoj skupini demonstratora i ostao u tom statusu do kraja studija. Nakon diplomiranja mnogi su od tih demonstratora djelovali u Zavodu za fiziku kao honorarni asistenti. Tako sam i ja,

iako sam bio izabran za asistenta u Zavodu za elektroniku, još nekoliko godina bio i honorarni asistent u Zavodu za fiziku. Tijekom vremena postao sam s profesorom Lopašićem kolega po zvanju. Komunikacija između nas bila je ograničena svakodnevnim obavezama. Na redovitim sastancima bivših dekana malo smo se više zblížili i na njegov prijedlog počeli se nazivati po imenu i profesor je Lopašić za mene postao – Slavko. Nakon njegova odlaska u mirovinu mi bivši demonstratori i asistenti redovito smo ga posjećivali.

Iz tog dugogodišnjeg poznanstva odabrao sam četiri epizode, dvije iz početnog razdoblja i dvije iz završnog razdoblja, koje po mom mišljenju mogu pridonijeti spoznavanju pune ličnosti profesora Lopašića.

Zaštita na radu

Prvo sjećanje vraća me u kasne pedesete godine. U večernjim satima pripremali su se eksperimenti za predavanja koja će se održati sljedećeg jutra. U dvorani su uz profesora Lopašića bili asistenti i demonstratori. Uz zid dvorane bio je montiran Atwoodov stroj za mjerenje akceleracije sile teže. To je bio četiri metra visok stup na kojem je bila pričvršćena kolotura preko koje je bilo prebačeno tanko čelično uže na čijim su krajevima bili pričvršćeni utezi mase od po dva kilograma. Na jednom od utega bile su odrezane četiri kriške od po 50 g koje su se mogle prebacivati na drugi uteg i tako postići razliku mase utega od po 100, 200, 300 i 400 g. Jedan demonstrator stajao je na ljestvama i na vrhu stupa

* Akademik HAZU, profesor emeritus Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

pokretao spuštanje utega, a drugi je demonstrator pri dnu stupa morao pridržati i zaustaviti uteg. Stroj je bio postavljen, obavljani su prvi pokusi i tada se dogodila nezgoda – uteg se otkinuo od čeličnog užeta i prostim padom poletio prema dolje, odbio se od poda i nesretnim slučajem pogodio u nos demonstratora uz donji dio stupa. Nastala je konsternacija, koju je odmjerenim nastupom smirio profesor Lopašić. U prvom redu ukazana je prva pomoć demonstratoru, a nakon toga pristupilo se otklanjanju posljedica nastale štete. Majstor Pavao (Pavel) Vlašić (koji je uvijek morao prisustvovati pripremi eksperimenata za predavanja) uspio je popraviti nastali kvar, no pripreme za predavanje potrajale su do kasnih večernjih sati. Sutradan u sedam sati ujutro na predavanjima čitava posada demonstratora uz Atwoodov stroj nosila je zaštitne kacige! Kako su one i gdje nabavljene tijekom noći, nije mi poznato. U sjećanju mi je ostala istinska zabrinutost za čovjeka koju sam primijetio u inače strogu izgledu i nastupu autoritativna profesora. Moj prijatelj dr. Ivan Hrvoić (koji je nakon studija neko vrijeme radio u Institutu Ruder Bošković, a nakon toga imao uspješnu istraživačku i poslovnu karijeru u Kanadi) na nosu ima ožiljak koji nas uvijek podsjeti na tu zgodu.

Harmonika

Druga zgodica koje se rado prisjećam jest kupnja harmonike. Ona se zbila također u početnim danima mogega poznanstva s profesorom. On je svojoj budućoj supruzi Tereziji (svi smo ju poslije poznavali kao gospodu Reziku) odlučio kupiti harmoniku, htijući joj ispuniti davnajšnju želju. U Zavodu se pronio glas da ja imam neke veze s glazbom i profesor me zamolio da zajedno s njim i gospodom Rezi-
kom otidem u trgovinu i pomognem pri oda-

biru instrumenta. Obavili smo to uspješno. Gospoda Rezika rado je muzicirala na tom instrumentu. Još i danas čuva tu harmoniku iako već dugo nije svirala. Tom sam se prilikom uvjerio da profesor Lopašić s jednakom pažnjom i koncentracijom pristupao svakom poslu, bez obzira na to radilo se o nekom složenom eksperimentu iz fizike ili o problemu iz običnog života.

Putovanje u Lilliput

Negdje iza Slavkova 85. rođendana donio sam mu na poklon moju novu srednjoškolsku knjigu. Pripremao sam drugo izdanje i zamolio ga da mi kaže svoje mišljenje i ukaže na moguća poboljšanja. Slavko je knjigu pažljivo čitao i dao mi niz savjeta za poboljšanje teksta. Zanimljivo je bilo njegovo zapažanje kako digitalizacija svega i svačega potpuno mijenja svijet u kojem živimo. Iako je on cio svoj životni vijek djelovao bez digitalnih sustava (legendarno je njegovo pola metra dugačko drveno logaritamsko računalo koje je upotrebljavao na predavanjima za obradu rezultata mjerenja), iskazivao je svoju potpunu uvjerenost u to da u znanosti, uz teoriju i eksperiment, računalna simulacija i vizualizacija postaju sve više stožernom komponentom svakog istraživanja.

Jednoga dana telefonom me pozvao na razgovor o knjizi. Najavio mi je da je naišao na jedan ozbiljan propust u knjizi koji mi se nije smio dogoditi. Po dolasku mi je opet sa strogom maskom na licu prijekorno najavio kako je knjizi naišao na neke neistine koje moramo raspraviti. Ja sam, naime, u bilješci na dnu jedne stranice, kratko objasnio odakle dolaze nazivi *Little-Endian* i *Big-Endian* za dva načina pohranjivanja binarnih sadržaja u spremnik kojemu se adresiraju pojedinačni bajtovi (kao što je to uobičajeno u današnjim

radnim spremnicima – radnim memorijama). Ako se, primjerice, u spremnik pohranjuje 32-bitovni broj, tada se on smješta u četiri uzastopna bajta. Pritom se u bajt s najnižom adresom može pohraniti osam bitova s najvećim težinskim faktorima binarnih mjesta (engl. *Big-Endian mode*) ili osam bitova s najmanjim težinskim faktorima (eng. *Little-Endian mode*).

Tvorci tih naziva preuzeli su ih iz djela *Gulliverova putovanja* irskog pisca Jonathana Swifta (1667.–1745.). Kada se Gulliver nakon brodoloma spasio u Lilliputu, on se nakon početnih problema uklopio u tamošnji svakodnevni život. U to su se vrijeme vodili veliki sukobi oko načina kako treba jesti mekano kuhana jaja. Naime, pradjed ondašnjeg cara dok je još bio malo dijete okrenuo je jaje s debljim krajem prema gore i pri njegovu razbijanju porezao prst na ruci. Njegov otac naredio je da se ubuduće jaja moraju uvijek razbijati na užem kraju. U Lilliputu je zavladao veliko nezadovoljstvo – mnogi nisu htjeli promijeniti običaje i nastavili su razbijati jaja na debljem kraju. Nastali su veliki nemiri u kojima su mnogi poginuli. Buntovnici su dobili naziv *Big-Endians*. Mnogi su od njih emigrirali u susjednu carevinu Blefuscu. Upravo u doba kada se Gulliver našao u Lilliputu carevina Blefuscu je objavila rat Lilliputu. Gulliver je spriječio invaziju na Lilliput jednostavno zauzvivši cijelu protivničku mornaricu.

Ja sam u mojoj kratkoj bilješci bio malo neprecizan i ispalo je da nečasno falsificiram precizno i istinito izvješće časnog čovjeka Lemuela Gullivera. Zbog toga sam zaslužio opravdani prijekor časnog profesora Vatroslava Lopaišića.

Do tada nisam čitao Gulliverova putovanja na engleskom jeziku. Slavko mi je posudio knjigu tiskanu početkom dvadesetog stoljeća, ali na starijem engleskom jeziku Jonathana Swifta. Ona je malo teže čitljiva, ali djeluje

nekako dojmljivije. U našim daljnjim susretanjima često smo se osvrnuli na to djelo.

Prosti brojevi

Slavko se vrlo rado igrao brojevima. Tada, barem kod nas nisu bile proširene mozgalice *kakuro* i *sudoku*. Vjerujem da bi se rado njima pozabavio. Međutim, on je, oslanjajući se na teoriju brojeva, sam osmišljavao i čak objavljivao neke od mozgalica. Otrprike u isto doba kada smo se bavili Gulliverom (kada je već dobro premašio osamdeset godina), postavio si je problem pronalaženja nakupine specifično raspoređenih prostih brojeva.

Naime, znamo da su u bilo kojoj dekadi dekadski zapisanih brojeva kandidati za proste brojeve samo oni koji su neparni brojevi i ne završavaju znamenkom 5. Tako, u dekadi koja započinje brojem 10 postoje četiri prosta broja:

11, 13, 17, 19.

Relativno lako pronalaze se dekade u kojima također postoje po četiri prosta broja.

U vezi s tim Slavko je postavio prvo sljedeće pitanje: Postoji li parovi dekada s četiri prosta broja koje su razmaknute za 30? Primjerice, kada bi broj 49 bio prosti broj, tada bi imali jedan takav par dekada:

11, 13, 17, 19, ... 41, 43, 47, 49.

Međutim, 49 nije prosti broj i taj par ne zadovoljava postavljeni zahtjev.

Drugo, malo teže pitanje jest može li se naći opisani par dekada (tj. osmorka prostih brojeva) pri čemu će još dva broja koja se nalaze lijevo i desno od aritmetičke sredine parova brojeva iz obiju dekada biti prosti brojevi. Primjerice, kada bi 49 bio prosti broj to bi bila sljedeća nakupina od deset prostih brojeva:

11, 13, 17, 19, ... 29, 31 ... 41, 43, 47, 49

Ta desetka brojeva nije rješenje postavljenog problema jer, opet, broj 49 nije prosti broj.

Slavko je imao džepno računalo (mislim da je to bio tvrtke Texas Instruments i da je nosilo broj 74) za koji se moglo napisati kratke programe s ograničenim skupom strojnih instrukcija. Za njega je napisao program kojim je, uz povremeno zapisivanje međurezultata rukom, uspio naći prvu osmorku prostih brojeva. To su brojevi:

1006301 1006303 1006307 1006309
1006331 1006333 1006337 1006339

S tim džepnim računalom praktički se nije moglo računati.

Pitali smo se gdje su sljedeće takve nakupe osmorki i što je s desetorkama. Zamolio sam doc. dr. Leonarda Jelenkovića (tada mladog znanstvenog novaka na projektu koji sam vodio) da pomogne profesoru Lopašiću u daljnjem računanju. On je napisao program kojim je istražio brojeve do vrijednosti 10^{13} (zbog jednostavnosti u programu nije

korištena aritmetika više preciznosti). U tom rasponu pronađeno je 28258 osmorki prostih brojeva i 190 desetorki prostih brojeva koje zadovoljavaju postavljene zahtjeve. Prva pronađena desetorka je:

39713433671 39713433673
39713433677 39713433679
39713433689 39713433691
39713433701 39713433703
39713433707 39713433709

Slavko je time bio zadovoljan. Očigledno se u *svemiru* prirodnih brojeva može pronaći bezbroj takvih osmorki i desetoroki.

Ja bih bio jako zadovoljan kada bih se u 85. godini života bavio takvim problemima. Bio je Vatroslav Lopašić jednako bistra uma kada sam ga zadnji put posjetio u bolnici.

Vladimir Naglić⁵

PRIPADNIK NARODNE MILICIJE NA PREDAVANJU⁶

Osnivanje Zavoda za fiziku

Razvoj Zavoda za fiziku nije bio definiran samo interesima elektrotehnike i računarstva, nego se prilagođavao suvremenim tendencijama prema stanju prirodnih znanosti u svjetskim razmjerima. Svojeviti pečat tome daju (na cijelom Sveučilištu poznata i omiljena među studentima) predavanja iz fizike, temeljena na eksperimentalno zornim pokusima, smišljenim i ostvarenim u okviru Zavoda. Osnivač takve koncepcije

⁵ Profesor emeritus Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

⁶ Preuzeto iz knjige «50 godina FER-a – Zapisi dobronamjernog zlopanstila» autora Vladimira Naglića, Element, Zagreb, 2006., str. 129–133

je profesor Vatroslav Lopašić, dugogodišnji predstojnik Zavoda i četvrti po redu dekan ETF-a. Slučajno sam pripadao prvoj generaciji studenata na Tehničkom fakultetu u Zagrebu, kada nam je on počeo predavati kolegij *Fizika I* u četvrtom semestru, umjesto u prvom! Ova moja sjećanja uglavnom su ograničena tim vremenom. Prije toga je ta katedra bila totalno zapuštena. Mislim da stalnog voditelja poslije rata uopće nije imala? Profesor Bazjanac bi se pred nama studentima često zgražao: «Tehnika ... bez fizike ... pa gdje toga ima?» Povremeno se pokušavalo spasiti obraz angažiranjem honorarnih predavača s drugih

ustanova. Međutim, oni bi rijetko stigli provesti makar jednu generaciju kroz sve fizike. Fakultetskim ili nekim drugim još višim vlastima postali bi nepodobni, tko zna iz kojih razloga, pa su ih smjenjivali.

Profesor Lopašić je započinjao od ništice! Napuštene prostorije uz Veliku predavaonicu u Klaićevoj ulici, gdje je bio smješten, više su sličile na neko skladište nego sjedište sveučilišnog Zavoda. On je, međutim, uspio već od prvog predavanja napraviti pravi *show*. Povezano s tekstom izlaganja izveo je niz zanimljivih i vizualno atraktivnih eksperimenata, a sve začinio reprodukcijom s gramofonske ploče onog stavka Beethovenove 8. simfonije, u kojem skladatelj emocionalno dočarava funkcioniranje jednog tehničkog instrumenta – metronoma. Navodno je i kasnije svake godine time ukrašavao jedno predavanje.

Bio sam tada samo student-početnik, pa nisam ni razmišljao kako je Lopašić nabavio te naprave, instrumente i makete, da bi nam svaki tjedan predavanje pokrивao eksperimentom, potvrđujući zaključke svog izlaganja. Većinu toga je vjerojatno posuđivao, što isto nije bilo lako, ali je dosta toga morao i sam konstruirati, smisliti improvizaciju ili s laborantom »izmajstorisati«. Kasnije je stvorio malu vojsku suradnika i demonstratora. Mogao ih je birati, jer je odaziv bio masovan, a na predavanjima su studenti sjedili i na stubištu dvorane. Za desetak godina bio je to uzorno opremljen i sreden Zavod, koji je održavao nastavu za većinu tehničkih fakulteta, ali mu je domicil bio na ETF-u.

Milicioner na predavanju

Profesor Lopašić, dvometraš, blage čuđi, imao je odličnu dikciju i precizno zaokruženu rečenicu. Mnogo kasnije, kada sam ga i po-

bliže upoznao, shvatio sam zašto smo svi voljeli ići na njegova predavanja. Zato što je sam uživao u njima! To mi je sam priznao. Sve je s veseljem pripremao, scenu s instrumentima, režiju smišljenu kao kod Stanislavskog, tekst određen minutažom. Nije bilo *PowerPointa*! Jednostavno, volio je svoj posao, ne misleći na komercijalnu isplativost.

Jednom mu je usred predavanja u dvoranu banuo pripadnik Narodne milicije u uniformi, s oružjem i šapkom na glavi. Nije taj ni imao pojma gdje je ušao, koja je to ustanova, a nitko ga se nije usudio zaustaviti dok je lunjao zamršenim hodnicima. U to vrijeme ga u školi nisu učili o autonomiji Sveučilišta; »zašto da nasjeda malograđanskim budalaštinama dok neprijatelj vreba«!

Profesor Lopašić je dovršio zadnju rečenicu, prekinuo izlaganje i mirno mu prišao pitajući ga što ili koga treba. Ovaj je pokazao neki papir i rekao da ima naređenje predati ga tom i tom. Lopašić se okrenuo nama u auditoriju, pročitao to ime, a kako se nitko nije javio uputio je milicajca na portu, iako tražena osoba nije imala ni adresu Tehničkog fakulteta. Sirotom uljezu bilo je instinktivno jasno da je ušao gdje ne treba, pa se brzo pokupio. Uopće nije isključeno da ga je netko od nadređenih želio namagarčiti poslavši ga na fakultet. Kad je ovaj izašao profesor nam je vragolasto namignuo, i izazvavši smijeh, nastavio predavanje.

Duhovnost profesora Lopašića

Bio je veliki katolik, prakticirao je svoja vjerska uvjerenja, ali ih nije nikom uokolo nametao. Kršćanski nazori su bili dio njegove kulture i načina življenja, a ne populistička fasada za dnevno-političke potrebe! Sjećam se da smo jednog dana našli na vratima predavaonice obavijest da se datuma (tog i tog) na dan (ne znam više kojeg blagdana) ne će

održati predavanje iz fizike... Potpis profesora Lopašića. Bile su to pedesete godine, vrlo opasno vrijeme za ovakve deklarativne istupe. Iako to nitko razborit nije ni shvaćao kao nekakvu političku provokaciju, nego pridržavanje vlastitog intimnog stava poštenog čovjeka, nemoguće da o tome nisu raspravljali po komitetima! Koliko znam, javnih posljedica za profesora nije bilo, iako više nije bilo ni ovakvih obavijesti!? Može biti da ga je amnestirala baš ta velika popularnost kod studenata koju je stekao svojim nenadmašnim predavanjima. Ne znam ništa više o tome, a kasnije mi je bilo neugodno izravno ga o tome pitati.

Ispiti

Ispite je pedantno odrađivao sam⁷. Sastavio je popis pitanja iz gradiva koje je ispredavao i proradio na vježbama. U prvo je vrijeme i vježbe držao sam. Svako je pitanje mašinom napisao na tvrdi papir veličine igraće karte. Pomiješao bi ih i ponudio na izvlačenje kandidatima. Pojedinačno bi odgovarali sjedeći za stolom nasuprot profesoru, koji se za to vrijeme zabavljao miješanjem «karata» iz sljedeće skupine pitanja, rutiniranim kartaškim grifom poput krupjea iz Las Vegasa.

Bio je vruć ljetni dan i ispit je polagala jedna Splićanka, nije više važno s kojeg fakulteta, jer smo svi isto slušali. Izvukla je pitanje o Coriolisovoj sili! Nije joj baš išlo, pokušavala je nešto okolišati, ali nikako da dođe na definiciju te sile inercije u jednom prostoru u odnosu na drugi. Profesor Lopašić pomaže, pokušava je navesti na suštinu problema, ona

ne odgovara, pa joj napokon ponudi spasonosni izlaz u obliku primjera:

«Zamislite kolegice da se nalazite u tramvaju koji juri Ilicom. U jednom trenutku pred tramvaj iskoči pješak želeći prijeći na drugu stranu. Vozač je priseban, pa naglo zakoči kolima u kojima vi stojite. Što će se dogoditi s vama?».

Kandidatkinja ga gleda, nešto razmišlja, ali nikako da odgovori. Profesor napeto isčekuje i nutka ju na odgovor: «No... no... tramvaj je stao, što ćete vi?». Ova napokon tiho prozbori: «Pa... izaći ću vanka i nastaviti pišće!». Lopašić je svoje dugačko poprsje presavio unazad preko naslona stolice smijući se, ali ne baš glasno kao oni koji su došli slušati ispit. Više se ne sjećam, ali mislim da joj nije dao jedinicu.

⁷ Od 1959. godine (a možda i nešto prije), na Elektrotehničkom fakultetu ispite je držao i asistent Ljudevit Čubrilo.

Zvonko Benčić*

PREGORENI OSIGURAČ

Predavanja iz *Fizike I i II* slušao sam akad. god. 1958./59. Jedan od mojih susreta s prof. Lopasićem nakon diplomiranja bio je 1994. godine na skupštini Hrvatske akademije tehničkih znanosti (HATZ), kada je dobio povelju počasnog člana HATZ-a. Pitao me je kada sam slušao njegova predavanja. Odgovorio sam mu da sam *Fiziku I* slušao 1958. godine. Komentirao je: »Oh, tada su moja predavanja bila u punom sjaju«. Zaista, oko 1960. godine i predavanja i praktikum došli su u ustaljeno stanje.

Od akad. god. 1959./60. do dobivanja diplomskog u studenome 1962. godine bio sam demonstrator na Zavodu za fiziku; radio sam u *Fizičkom praktikumu* i sudjelovao u pripremama pokusa za predavanja. Od mog rada u pripremama pokusa nije bilo mnogo koristi jer nisam znao gdje treba postaviti pokuse i kako ih instalirati, što su asistenti i stariji demonstratori podrobno znali.

U praktikumu radio sam s asistentima Krstom Rožićem, Zdravkom Mršićem i Re-

ljićem (ne mogu se sjetiti imena). Zadatak demonstratora bio je da nakon smještaja studenata za stolove s postavljenim vježbama pri vrhu lista bijelog papira formata A4 udare žig (žig je imao širinu lista papira, a zbog veličine dvije male drške), te zatim pomažu studentima pri izradi vježbi. U rubrike žiga studenti su upisivali osobne podatke i osnovne podatke o vježbi.

Jednom prilikom studentima je zbog nepažnje pregorio mali osigurač u zakretnom transformatoru (tzv. varijaku). Žao mi je bilo da studente pošaljem doma, pa sam se iz Praktikum na prvome katu kružnim stepenicama spustio u *Zbirku* u prizemlje i iz jednog ispravnog transformatora izvadio osigurač. Upravo u tom času naišao je prof. Lopasić. Zaprepaštenje je bilo obostrano. Nešto sam promućao i odnio osigurač u Praktikum. Za dva dana u *Fizičkom praktikumu* stajao je ormarić s rezervnim osiguračima za sve vježbe.

*Tomislav Pichler**

PRVI SAT TEHNIČKE FIZIKE

Više nisam bio brucš Tehničkog fakulteta. Upravo je započeo zimski semestar i svi su očekivali početak nastave. Brucši su očekivali prvo predavanje iz Tehničke fi-

zike prof. Lopasića u Velikoj predavaonici zgrade u Kačićevoj 26. Mi stariji studenti pušili smo u predvorju zgrade promatrajući nove studente i studentice brucše. Znali smo da imamo još akademsku četvrt na raspolaganju. Brucši su davno prije počeli puniti Veliku predavaonicu, kako bi zauzeli što bolje mjesto i bliže katedri. U predavaonici bio je veliki žagor glasova, dovikivanja i naguravanja za mjesta. I brucši su o prof.

* Redoviti profesor Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, u mirovini. Radio trideset godina u Institutu Končar, a zatim sedamnaest godina na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

* Diplomirani inženjer građevinarstva.

Sl. 11.13.: Tehnički
fakultet (dovršen 1940.)
u Kačićevoj 26 nekad ...



... i danas

Lopašiću znali samo to da je to profesor neobične visine i veoma strog.

Najednom je galama prestala i nastala je gluha tišina i svi su se ustali. U Veliku predavaonicu ušao je »doktor Lopašić« s nekom knjigom ispod ruke, došao do sredine katedre i naklonio se. On im je tada rekao: »Dragi naši brucoshi, ja vas pozdravljam u ime nas starijih studenta Tehničkog fakulteta, a sada će

vam doći prof. Lopašić i dobro ga slušajte«, te izišao iz predavaonice. U predavaonici nakon toga nastao je sveopći smijeh kada su brucoshi shvatili kako ih je stariji kolega namagarčio.

Ulogu »doktora Lopašića« odigrao je naš stariji veoma visok student, jedan Dalmatinac. Tako je započelo prvo predavanje Tehničke fizike davne 1954. godine u Velikoj predavaonici u Kačićevoj 26.

Ernest Mibalek¹⁰

POKUSI I POSEBAN HUMOR

Fizikalni pokusi koje je na svojim predavanjima na ETF-u izvodio prof. Lopašić bila su poznata i akademskoj zajednici izvan tog fakulteta. Svaki je pokus bio temeljito pripremljen, bilo nam je poznato da je za te pokuse imao generalne probe u fizikalnom laboratoriju. Nije onda čudno da sve što je izveo pred studentima savršeno uspjelo i privuklo pozornost svih nazočnih. S obzirom na to da je pritom priredio i poneka iznenađenja, bilo je i smijeha i čuđenja. Uvijek nam je govorio da i on u tome neobično uživa. Evo nekih lijepih sjećanja o tim pokusima u idućih nekoliko ređaka (od 1961. do prvog semestra 1963.).

Na jedno od prvih predavanja donio je svoje logaritamsko računalo (onda još nije bilo kalkulatora!), u dvorani nastane smijeh. Naime, to je računalo bilo barem trostruko veće od računala kojim smo računali mi studenti. Kako je profesor bio izrazito visok, jednostavno je to objasnio riječima: »Svatko prema svojoj mjeri!«.

Pokus s tijelom koje pada

Da bi pokazao da tijelo koje pada nema težinu, priredio je ovaj pokus. U rukama je držao ravnu podlogu na kojoj je stajala ploča na koju je bila priključena napeta opruga (usidrena na podlozi). Na istoj ploči položio bi knjigu ili koji drugi predmet i zatim se popeo na katedru. Onako stojećeg na katedri gledali smo pomno što će se dalje dogoditi, što gledati: njega ili predmete koje je držao u rukama.

¹⁰ Magistar elektrotehnike (diplomirao 1967. na smjeru *Jaka struja*), u mirovini. Većim radnog vijeka proveo u Institutu elektroprevide i u Energetskom institutu Hrvske Podar.

Kao obično, najprije je nastao smijeh zbog nesvakidašnjeg šaljivoga ponašanja profesora u predavaonici. A zatim je profesor spretno skočio s katedre, a opruga je povukla ploču između podloge i knjige. Ponovno smijeh, ali smo naučili: knjiga je tijekom padanja bila u bestežinskom stanju, a tako je i sa svim tijelima koja slobodno padaju.

Pokus o održanju momenta veličine gibanja

Trebalo je pokazati da je suma momenata veličine gibanja u zatvorenom sustavu jednaka nuli. Profesor je donio i postavio pred katedru rotirajući stolac, a u ruke uzeo dugačku letvu na čijem je kraju, vezana uzicom, postavljena obična cjepanica mase dva ili tri kilograma. Sjeo je na stolac, odigao noge od poda i počeo iznad glave polako vrtiti letvu s cjepanicom sve jače i više. Stolec se počeno okretati u suprotnom smjeru, i nakon nekoliko zamaha profesor je već bio leđima okrenut prema predavaonici. U tom položaju više nije vidio kojom putanjom leti cjepanica: ravno prema studentima u prvom redu, a oni svi redom glave pod klupe! U predavaonici urnebes! Profesor se okrene i pita: »Ste živi?«. Glavno da nije bilo razbijenih glava.

Pokus o akciji i reakciji

Da bi pokazao načelo akcije i reakcije, profesor je na predavanje donio malen top (!), pri čemu je kao tane služila mala crna gumena loptica (otprilike kao loptica za stolni tenis). Svi su pažljivo promatrali: top je opalio i polerio na desno. Međutim nitko nije vidio gdje

je loptica završila. Profesor pogleda prema nama, veli, evo je, i pokaže lopticu na dlanu. Kako je tamo dospjela, sve je izgledalo kao mađioničarski trik. Zatim je pokus ponovljen: dok smo mi gledali taj top, profesor je lopticu uhvatio u zraku nakon što se odbila od lijevog zida u predavaonici i to tako brzo da prvi put nismo shvatili zašto je rukom mahnuo po zraku.

Pokus s natrijevom žaruljom

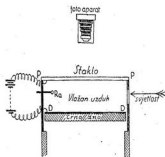
Natrijeva žarulja emitira svjetlo samo na dvije žute spektralne linije. U razvoju izvora svjetla te su žarulje odigrale važnu ulogu što se tiče energijske učinkovitosti, osobito u javnoj rasvjeti. Pri takvoj rasvjeti nije bitno raspoznavanje boja, nego samo jakost rasvjetle, što osigurava sigurnost prometa čak i u uvjetima magle ili smoga. Profesorov asistent (mislim da se zvao Gjurić) došao je u predavaonicu noseći izrazito svijetlo crvenu *kicošku* vestu. Potom je profesor upalio natrijevu žarulju i ugasio svjetlo u predavaonici. Svi su pogledali asistenta, vesta je potamnijela i umjesto kicoške boje, nastala je nekakva smeđa bljutava nijansa. Gjurić je pogledao prema nama i samo slegnuo ramenima. Smijali smo se i bilo nam je žao, ali to je bila dogovorena profesorova taktika.

Neke pokuse ne možemo zaboraviti, jer su se vjerojatno mogli vidjeti samo u fizikalnim laboratorijima. Za sjećanje neka bude npr. pokus s maglenom komorom. Profesor je na katedri u predavaonici postavio komoru sa suhim ledom (CO_2) koji se pomalo isparavao i stvarao maglicu (slično Wilsonovoj komori). Kad ionizirana čestica (obično se radi o kozmičkom zračenju) prođe kroz komoru, ostavi ionizirani trag. Svi smo kroz gornji otvor komore gledali kako nastaju i gase se tragovi prolaza čestica kroz komoru i pitali se koliko

tek čestica istog trenutka prolazi kroz nas a da to ne znamo i ne možemo primijetiti.

Slično je i s pokusom u kojem je profesor na katedri mjerio brzinu svjetlosti s pomoću brzorotirajućih zrcala.

U sjećanju svakako ostaje i profesorovo zadnje predavanje našoj generaciji (akad. god. 1961./62.). Dogovorili smo se da profesoru na kraju zahvalimo za sve što nam je prenio i dao te da mu poklonimo buket cvijeća. Jedan od kolega ulazi s tim buketom i govori profesoru da smo mu svi zahvalni povodom njegova posljednjeg predavanja. Profesor ustukne, i kaže: »Oprostite to nije moje posljednje predavanje,



Sl. 11.14.: Skica Wilsonove komore iz srednjoškolskog udžbenika Stanka Hondla, učitelja prof. Lopašića

imam ja još mnogo generacija kojima ću predavati, to je bilo samo zadnje za vas». Opet smijeh i pljesak, za čovjeka i nastavnika koji nam je ostao trajno u najljepšem sjećanju zbog svojeg truda, posvećenosti svojem radu i znanju koje nam je prenosio.

Ne čudi da se potom ispit iz fizike lakše i s razumijevanjem polagalo.

Krešimir Herman¹¹, Svetko Milin¹² i članovi AMCA-FA¹³

HARMONIJA ODNOSA STUDENATA I NJIHOVA PROFESORA

Pojava profesora Lopašića s njegovim predavanjima iz eksperimentalne fizike ostala je u najdubljem sjećanju svih studenata Tehničkog fakulteta kao događaj bez premca u povijesti Sveučilišta. Nadarenost, istinska ljubav prema znanosti, poštivost i velika radna disciplina, te vjera u potrebu temeljite promjene u edukaciji tehničkih kadrova koji mogu voditi napredak svoje zemlje, urodili su fenomenom koji se može nazvati savršenom harmonijom u odnosu studenata i njihova profesora, odnosno općem skladu nastavnog procesa.

Nezapamćen je slučaj u povijesti nastave na europskim sveučilištima da preko osamsto studenata svih odsjeka Tehničkih fakulteta dolazi stopostotno na nastavu bez primjene ma koje represije ili uobičajene kontrole. Prvoj smjeni nastava je započinjala u šest sati ujutro, a već u ranu zoru prije četiri sata studenti su hvatali red u predvorju ispred ulaza u Zavod. Kada je jednom zgodom portir zakasnio na vrijeme otključati vrata, naša generacija AG 53/54 razbila je sva stakla na ulaznim vratima. Tako se nešto u tim teškim poratnim vremenima moglo događati samo pred polupraznim dućanima pri raspodjeli na kartice. Na predavanjima se sjedilo na podu, što bliže pultu, po stubištu, na prozorskim klupama, na klupama i pod klupama. Oduševljenje eksperimentima bilo je golemo, a ozračje neopisivo sa standar-

dnim mjerilima. Mišljenja smo, što se može potvrditi postojećim podacima, da je nastava fizike koju je vodio profesor Lopašić bila početni naboj za uspješan razvoj postdiplomskih znanstvenih studija sedamdesetih godina na tehničkim fakultetima Sveučilišta. Zapravo, čitav sustav nastave profesora Lopašića bio je rani odgoj znanstvenih i istraživačkih kadrova još u studentsko doba, u kojem su studenti učili i metode istraživačkih procesa.

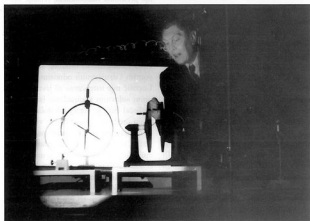
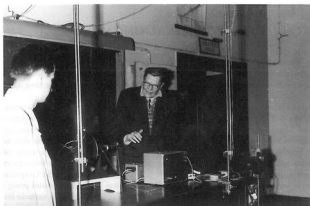
Gotovo svi studenti, bez izuzetka, voljeli su profesora Lopašića. Akademске godine 53./54. upisan je prema tada donesenu zakonu velik broj studenata, posebice tehničara, bez prijemnog ispita. Taj problem riješio je profesor Lopašić geslom: «Zaboravi sve što si učio fizike u školi. Ovdje ćemo naučiti fiziku». Studenti sa slabijom školskom spremom morali su uložiti dodatne napore, ali se nitko iz tih razloga nije žalio, dapače, svi su bili oduševljeni općom zauzetošću za fiziku. Nadalje, na Tehničkom fakultetu u Zagrebu studirao je i velik broj studenata iz drugih republika ondanje države, prema kojima je profesor Lopašić bio posebice osjetljiv, što je rezultiralo veoma srdačnim odnosima, ponekad i veoma prijateljskima.

Profesor Lopašić bio je osoba visokih moralnih vrijednosti, te nezavisan intelektualac koji je držao do svojega stava. Nije zato čudo da su ga u to krizno vrijeme pojedinci pokušavali ometati, no profesor je Lopašić imao nepodijeljenu podršku golemog broja studenata u svako doba i u svakoj prilici, a što je zanimljivo, podršku su mu javno iskazivali i iskusni tehničari koji su prije upisa proveli znatan broj godina u gospodarstvu te su imali i određeni društveni utjecaj.

¹¹ Redoviti profesor u trajnom zvanju Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u miru.

¹² Diplomirao na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu; tehnički direktor Industrogradnje i profesor Više građevinske škole u Zagrebu.

¹³ *Almae Matris Croatiae Alumnus - Facultas Aedificandi*, Hrvatska udruga diplomiranih inženjera Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.



Sl. 11.15.: Pokus kojim se pokazuje ovisnost kapaciteta pločastog kondenzatora o dielektriku između ploča. Na platnu je sjena elektroskopa obasjanog lučnicom; tako su studenti i u zadnjim klupama mogli dobro uočiti otklon listića.

Pavao Rebić¹⁴

POKUSI – ISHODIŠTE FIZIKALNIH ZAKONA

To je sjećanje na prof. Lopašića jednog bivšeg studenta koji je 1955. godine upisao Tehnički fakultet u Zagrebu i slušao kolegij *Fizika* kroz dva semestra sa satnicom 4+2, a koji je nakon desetak godina rada u privredi radio preko četrdeset godina na Zagrebačkom sveučilištu.

Prof. Lopašić bio je vrlo zanimljiva osoba, prvenstveno kao čovjek, humanist, znanstvenik te posebno pedagog, koji je znao svojim ukupnim nastupom ne samo zainteresirati studente za područje svojega rada, nego jednostavno oduševiti za područje fizike kao fundamentalno u području tehničkih znanosti.

Pojedine epizode s nastave, posebno povezivanje teorije i neposredno ilustriranje pokusima, ostali su u sjećanju i nakon proteka pola stoljeća. Svojom fizičkom pojavom (bio je izrazito visok) koristio je svoje komparativne prednosti u direktnom sudjelovanju u izvođenju i demonstriranju pojedinih pokusa. Tako bi primjerice na pokazivanju odnosa mase i brzine kod momenta vrtnje sjeo na okretni stol u raširenim rukama držeći utege, te okretanjem stola uz suradnju asistenta, primicanjem ruku s utezima, na vrlo dojmljiv način, pokazao znatno povećanje brzine vrtnje stola s primicanjem utega osi vrtnje. Ili drugi primjer, ilustrirajući djelovanje Teslinih struja, osobno držeći u rukama fluorescentne cijevi, dokazivao ispravnost teorijskih zakona.

Posebno je u tom sklopu pokusa ostao u sjećanju Foucaultov pokus kojim se ilustrirala rotacija Zemlje. Nit njihala visoko učvršćena

na strop dvorane, uz odgovarajuću rasvjetu, bacala je sjenu na suprotni zid (uz rub otvora za kinokameru). Već nakon nekoliko njihaja jasno se uočavao pomak sjene zbog djelovanja okretanja Zemlje.

Odnos između profesora i asistenata, koji su redovito prisustvovali predavanjima osobno me se dojmila epizoda s nastave, kada je prof. Lopašić prekinuo izvođenje složene matematičke formule iz područja teorije valova, rekavši: »Oprostite, nešto se loše osjećam, pa će izlaganje nastaviti gospodin Gospodnetić«. Asistent koji je sjedio na sredini prvog reda, ustao je i preskočio pult, te nastavio izvođenje prekinute matematičke relacije bez ikakvih priručnih pomagala (a radilo se o prilično složenu matematičkom dokazu, za koji su upotrijebljene sve tri klizne ploče u Velikoj dvorani).

Karakteristična potvrda nepokolebljivosti i dosljednosti osobnog stava prema životnim i društvenim odnosima, koji se prof. Lopašić nije ustručavao ni javno svjedočiti u onim »olovnim vremenima« (sredina prošlog stoljeća) bila je njegova katolička vjera. Na kraju predavanja u određeno vrijeme objavio bi studentima: »Idući tjedan nema nastave iz fizike, jer u taj dan pada blagdan Božića¹⁵«. Ili epizoda, koju su prepričavali mnogi studenti, o hodočašću prof. Lopašića na Mariju Bistricu. Navodno je zastao kod ograde od živice i pitao seljaka koji je kopao na njivi: »Koliko još ima do Marije Bistrice?«. Seljak je odgovorio: »Pa ima oko sat hoda popreko preko brijega, ali vi koji ste na konju stignete za ftrali vure«.

¹⁴ Redoviti profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, u mirovini; dakan Visoke politehničke škole u Zagrebu.

¹⁵ To se desilo 1953. godine (opaska urednika).

Darko Žubrinić¹⁶

ZAKON ODRŽANJA MOMENTA VELIČINE GIBANJA

Nekadašnji studenti prof. Lopašića vole se i danas sjetiti njegovih pokusa u nastavi, osobito prizora prigodom upoznavanja pojma održanja momenta veličine gibanja¹⁷ u fizici. Profesor je sjeo na stolicu koja se mogla lako zavrtjeti, držeći dva utega raširenih ruku. Nakon što ga je asistent lagano zavrtio na stolici, profesor je privukao ruke s utezima prema sebi, čime se je broj okretaja u sekundi naglo povećao, kao u pirueti kod skizlaža. Nedavno mi je jedan kolega, profesor na FER-u, pripovijedao da je to prizor koji nikada neće zaboraviti, i nakon kojega mu je pojam momenta veličine gibanja u fizici bio potpuno jasan. Od dr. Zvonka Benčića, profesora na FER-u koji je jedno vrijeme bio i demonstrator prof. Lopašiću, doznao sam da su studenti dolazili i preko sat vremena prije njegovih predavanja da bi u dvorani zauzeli prve redove. Doista, predavanja prof. Lopašića nisu se nikada svodila samo na nizanjanje nepreglednih formula po školskoj ploči.

Prema pričanju samog profesora Lopašića, on je imao običaj bruoče na studiju elektrotehnike na prvom satu predavanja iz fizike iznenaditi – glazbenom slušaonicom. Naime preko gramofona je u velikoj predavaonici znao pustiti Beethovenovu osmu simfoniju u F-duru, op. 93, u kojoj se razvijala glazbena tema povezana s metronomom. Možemo samo zamisliti kakav je to doživljaj bio za mlade studente. To pokazuje da se izobrazba koju je nudio profesor Lopašić svojim studentima temeljila ne samo na čisto fizikalno-tehničkim, nego i na pažljivo i svrsishodno odabranim duhovnim sadržajima u nastavi.

Od velike važnosti bila mi je nesebična pomoć koju mi je prof. Lopašić pružio 1992. godine dok sam tijekom više od pola godine pripremao knjižicu o Elektrotehničkom fakultetu na engleskom jeziku. Pažljivo je pregledao tekst, ispisao dragocjene primjedbe i sugestije svojom drhtavom, staračkom rukom na marginama mojeg rukopisa od osamdesetak stranica. Polovica tog teksta odnosila se na sažet pregled hrvatske kulture, povijesti i znanosti. Prof. Lopašić svojim mi je golemim znanjem, izvrsnim poznavanjem engleskog jezika, bio od velike pomoći. S radom na prikazu hrvatske kulture, povijesti i znanosti nastavio sam i sljedećih godina, sve do danas, ali kroz drugi medij – internet. Tijekom posljednjih desetak godina nastalo je tako ukupno oko dvije stotine internetskih stranica, a poznanstvo s dragim profesorom bilo mi je u tome doista velik poticaj. O jednoj od obrađenih tema, točnije, o značenju hrvatske glagoljčke baštine u hrvatskome narodu, imao sam čast biti predavačem upravo na tribini Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika (HKDPD) prije nekoliko godina.

Ostao mi je u sjećanju jedan nesvakidašnji događaj, koji se zbog godine 1996. na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, prigodom grandiozne proslave četrdesete obljetnice osnivanja fakulteta. U najvećoj dvorani fakulteta sjedjelo je šest stotina uzvanika u očekivanju službenog početka svečanosti, među njima i mnogo poznatih imena iz kulture, znanosti i politike. U jednom trenutku u dvoranu su počeli ulaziti posebni uzvanici, koji su jedan po jedan sjedali na svoja mjesta. Kada se na vratima pojavio profesor Lopašić, pomažući se u hodu štapom, svi su u dvorani ustali uz gromoglasan pljesak koji dugo nije

¹⁶ Redoviti profesor Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

¹⁷ Profesor Lopašić je upotrebljavao naziv *veličina gibanja*. No danas je uobičajen naziv *količina gibanja*.

prestajao, pa ni onda kada je profesor sjeo. Tek kada je nakon nekoliko trenutaka profesor uz vidljiv napor opet ustao, s visoko uzdignutim rukama naznačivši da sa zahvalnošću prima taj pozdrav, ovacije su prestale i publika se smirila. Nakon svečanosti bio je okružen mnogobrojnim studentima, od kojih su neki već i sami bili umirovljenici, koji su se s uzbuđenjem i oduševljenjem prisjećali njegovih nezaboravnih predavanja i pokusa.

Kao ilustracija lika prof. Lopasića neka posluži i završni dio njegove rođendanske čestitke poslane godine 1998. akademiku Vojislavu Begi, znamenitu po svojoj međunarodno priznatoj naponskoj vagi. Čestitka je objavljena u *Mjeriteljskom vjesniku*, Glasilu Hrvatskoga mjeriteljskog društva, u broju za rujan 2000., nakon smrti profesora Bege:

... Do sada sam iznio nekoliko svojih misli o mom dragom prijatelju akademiku prof. dr. sc. Vojislavu Begi kao djelatniku našega fakulteta i znanstvenom radniku. Međutim, ono što se je mene najviše dojmilo, to je visoka kultura i humanost mogeg toliko mi dragog Vojice. Njegova klasična naobrazba bila je valjan temelj ne samo za znanstveni rad, nego i za Vojin odnos prema tom radu koji je primjer idealističke nesebičnosti i maksimalne požrtvovnosti. Njega pri tome ne vodi nikakva materijalna probit; važni su mu znanstveni rezultati. Tu dolazi do izražaja

Vojin odnos prema suradnicima koji poprimaju idealizam i požrtvovnost svojega profesora i vode. Tako u skladu uspijeva ne samo znanstveni projekt nego i sklad i harmonija međuljudskih odnosa.

Želim Vojici dobro zdravlje i dug život, te da mu njegova plemenita nastojanja budu okrunjena punim uspjehom i priznanjem. Od srca pozdravljam sve sudionike ove svečanosti.

*Vat odani Vam
Vatroslav Lopasić*

Svaka priča o profesoru Lopasiću bila bi nepotpuna kada ne bismo spomenuli barem neku od anegdota povezanih s njegovim divovskim rastom. Jedna ide ovako. Sjedi prof. Lopasić u kinodvorani, a stariji mu čovjek iza njega iznerviran dobacuje: »Gospodine, pa sjednite već jednom!«. Nakon toga profesor ustaje, a onaj iza njega viče: »Vidi ga! Sad se još popeo na stolicu!«.

Druga, vrlo poznata anegdota, govori o njegovu hodočašću pješice u Mariju Bistricu. U jednom zagorskom selu, pred kućom s visokom živicom, prof. Lopasić pita koliko još ima do Marije Bistrice. Gospođa mu s druge strane živice odgovara: »Pješice pola sata, a vi na konju bute došli za deset minuta«. Sam prof. Lopasić volio je tu šalu koja ima nekoliko varijacija.

Željko Plavčić¹⁸

PRIPREME POKUSA ZA PREDAVANJA

Još kao nadobudan maturant, na nagovor i uz pomoć mogeg prijatelja koji je već studirao na ETF-u, otišao sam 1960. godine na dva predavanja iz fizike, upravo zbog očekivanih

sjajnih eksperimenata prof. Lopasića. Nažalost, oba puta nije bilo prof. Lopasića, već su tamo bili prof. Gospodnetić i prof. Sedlaček. Predavanje prof. Gospodnetića ostalo mi je ipak u sjećanju jer je na kraju predavanja, idući od lijeve strane ploče prema desnom kraju,

¹⁸ Magistar elektrotehnike.

gdje je bio izlaz iz dvorane, napamet ispisao broj π s četrdesetak decimala, naravno, uz burno odobravanje fasciniranih studenata. Sljedeće predavanje koje je održao Sedlaček završio je komentaron, očito malo na račun kolege i prijatelja prof. Gospodnetića (nažalost, više ne znam kako ga je improvizirao) – nešto kao da je glupo pamtit i velike brojeve kad se oni mogu uvijek naći u tablicama, a glavu treba koristiti za druge, pametnije stvari. Nedavno sam to ispričao prof. Sedlačku, s kojim sam se sastao nakon gotovo pedeset godina, pa smo se smijali, tomu kao i drugim zgodama iz tog vremena.

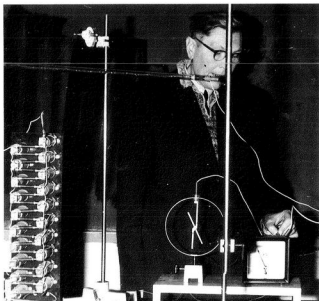
Na Elektrotehnički fakultet upisao sam se 1961. godine, a demonstrator u Zavodu za fiziku bio sam od 1963. do 1965., kada sam diplomirao. S mnom u grupi tada su bila i tri kolege iz iste generacije: Vladimir Uzelac, Goran Stojkowski i Ivan Šmalcelj. Uzelac je bio jedan od najboljih studenata te generacije i dozvoljen mu je upis poslijediplomskog studija i prije nego je diplomirao. Poslije magisterija otišao je u Njemačku u *Siemens*, ali se nakon nekoliko godina vratio u Zagreb (i jako nadrapao). Šmalcelj se zaposlio u novootvorenoj tvornici poluvodiča u RIZ-u, dok je Stojkowski nakon kraće avanture, isto u RIZ-u, nastavio karijeru kao asistent na Zavodu za visokofrekvencijsku tehniku (danas Zavod za radiokomunikacije). Ja sam se također nakon studija zaposlio u RIZ-u na projektu mikrovalnog radiorelejnog uređaja, koji se radio u suradnji sa Zavodom za visokofrekvencijsku tehniku, gdje se i nalazila cijela istraživačka grupa.

Na tom projektu ostao sam četiri godine, poslije na tome i magistrirao, a zatim dvadesetak godina radio u kontroli letenja, nekoliko godina u SAD-u i na kraju u *Ericssonu*, odakle sam 2002. otišao u prijevremenu mirovinu. Uz moj redoviti posao radio sam na Višoj zrakoplovnoj školi i Prometnom fakultetu, te

kraće vrijeme bio honorarni asistent na Zavodu za visokofrekvencijsku tehniku. Nekoliko znanstvenih i stručnih radova objavio sam u stručnim časopisima i na kongresima u Jugoslaviji i u inozemstvu.

Vrijeme koje sam proveo na Zavodu za fiziku omogućilo mi je da bolje nego ostali studenti upoznam nastavno osoblje. Osim pomaganja studentima pri izvođenju laboratorijskih vježbi, demonstratori su sudjelovali i u pripremi eksperimenata, koje je u sklopu svojih predavanja izvodio prof. Lopašić. Za pripremu eksperimenata bio je zadužen tadašnji asistent Gjurić zvan Đus. Sve se radilo i pripremalo prema tajnovitoj *Tabločki* koju Đus nije puštao iz ruku. Ne samo da se pojedine instrumente moralo staviti na točno određena mjesta na onoj vrlo dugačkoj katedri na AGG fakultetu, nego su se morale koristiti klupice točno određene boje i veličine, a i boja žica u eksperimentima bila je precizirana. Jednom prigodom, pri postavljanju nekog eksperimenta, učinilo mi se da na jednoj od strujnih utičnica nema napona pa sam uzeo avometar da to provjerim. Taman sam htio priključiti instrument, kad iza sebe čujem Đusov krik: »Ne!». Stanem kao ukopan u strahu s čime li sam izazvao takvu Đusovu reakciju. I tada mi Đus kaže da se to ne radi avometrom, nego sa žaruljom, grlom te dvije žice, i to je uvijek imao u pripremi. Tako se i danas kada vidim avometar, sjetim te zgode s tzv. Đusovim avometrom.

Jednom drugom prigodom dok sam studentima pomagao pri laboratorijskim vježbama, u laboratorij je osobno došao, što nije bilo često, prof. Lopašić u pratnji nama nepoznate gospođe. Bila je niska stasa, što je u odnosu na iznimno visoku staturu prof. Lopašića to još više došlo do izražaja. Vodio ju je od stola do stola objašnjavajući što se na pojedinom stolu nalazi i radi. Poslije je netko sa Zavoda nama mladima rekao da je to profesorova supruga.



Sl. 11.16.: Dobivanje visokog napona s pomoću Cockcroft-Waltonovog generatora

Na jednom Lopašićevu predavanju trebalo je nešto izračunati; u to doba nije bilo kalkulatora. Profesor je odnekle izvadio svoj *šiber*, koji je bio dvostruko veći od standardnog. Profesor je vidio i vjerojatno očekivao čuđenje kod studenata, pa je komentirao uz smješkak da svatko treba imati *liber* prema svojem statusu. Naravno, uz burno odobravanje duplom pune dvorane studenata.

Neki moji znanci, koji nisu bili studenti na AGG-u, i danas, nakon pola stoljeća, sjećaju se kako se Lopašić vozio na biciklu, na koji je montirao mali benzinski motor. Svo-

jom pojavom na toj spravi izazivao je svagdje opći interes i čuđenje.

Na poslijediplomskom studiju, između ostalog, upisao sam i kolegij fizike prof. Lopašića. Ostala su mi u sjećanju njegova predavanja kako se s osnovnim znanjem matematike i promatranjem može doći do matematičkih jednadžbi osnovnih prirodnih zakona (gravitacija, njihalo i dr.). Također je bio izvanredan niz predavanja o izvođenju Schrödingerove jednadžbe. Nažalost, sve te bilješke, nakon dugogodišnjeg čuvanja, nestale su vjerojatno pri nekoj selidbi. Vječna šteta!

Durdica Veselić¹⁹

HVALA LIJEPA

Kako sam diplomirala fiziku na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu nisam za vrijeme studija slušala predavanja profesora Lopašića. Od studenata na elektrotehnici sam čula da su ta predavanja veoma atraktivna. Kad sam počela kao asistent raditi na Zavodu za fiziku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, profesor Lopašić je odlučio da uz ostale svoje obaveze trebam slušati i njegova predavanja. Tako sam se i sama uvjerila da su njegova predavanja bila zaista atraktivna zahvaljujući efektivnim pokusima.

No efektivnost pokusa nije bila sama sebi svrhom. Predavanja iz opće fizike se ne mogu zamisliti bez pokusa, a njihova efektivnost je služila boljem pamćenju i razumijevanju biti predavanja koja su studentima trebala omogućiti razumijevanje temeljnih zakona fizike. Ta

su predavanja bila tako reći poputbina s kojom su oni 'krenuli u svijet', jer mnoga poglavlja fizike više ne će dotaknuti u svom daljnjem stručnom usavršavanju. Sjećam se kako se na predavanju eksperimentalno odredilo ubrzanje sile teže. Na tom primjeru je prof. Lopašić pokazao kako se iz niza mjerenja određuje srednja vrijednost i pouzdanost rezultata, ovisno o mjernoj aparaturi i biti pojave.

Spomenula bih još jednu sitnicu koja je posve osobne naravi. Profesor Lopašić me je poučio da se kaže 'hvala lijepa' jer je riječ 'hvala' imenica i slaže se s pridjevom. Ja sam naime dotada govorila 'hvala lijepo' što je krivo, jer je riječ 'lijepo' prilog. To sam zapamtila i gotovo svaki puta kada kažem 'hvala lijepa' sjetim se profesora Lopašića²⁰.

Zoran Krivačić²¹

POZNAVANJE OD DJETINSTVA

Želim ispričati neke anegdote i događanja koji nisu toliko poznati. Dakako, prvo je pitanje koje se postavlja: odakle ja poznajem prof. Lopašića od mogega djetinstva? Naime moji pokojni roditelji Pavao

Krivačić, viši stručni suradnik, i majka Elza Krivačić, činovnica, radili su u Zavodu za fiziku od 1957./58. godine pa sve do mirovine 80-ih godina. Privilegija mi je i to što su prof. Lopašić i moj otac bili fakultetske kolege, pa odatle slijedi i sve ostalo. Moja sjećanja protežu se do u 1960. godinu, kada sam kao osnovac polazio u Medulićevoj ulici prva četiri razreda osnovne škole. Dolazak i odlazak zahtijevao je prolazak kroz Kačićevu ulicu, ispred AGG fakulteta, u kojem se na prvom katu nalazio Zavod za fiziku kojeg je prof. Lopašić bio predstojnik. Malo je poznato da je prof. Lopašić za prijatelje bio Slavko. No, dobro

¹⁹ Magistrica fizike, asistenta Zavoda za fiziku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu.

²⁰ Jednostavno tumačenje: hvala je imenica i uz nju mora biti pridjev u ženskomu rodu, dakle, hvala lijepa. Međutim, radi se o jednoj vrsti pozdrava, pa se oblik hvala lijepo može tumačiti po porijeklu – kao Lijepo vam kažem hvala, skraćeno: hvala lijepo. Nije krivo! Dakle, tu je prilog, jer je izostavljen glagol, kako to već biva u pozdravima: Dobro dan – želim vam dobar dan.

²¹ Diplomirani inženjer elektrotehnike, ravnatelj I. tehničke škole Tesla, Klaićeva 7, Zagreb.

je poznato da je prof. Lopašić bio izrazito visok čovjek, oko 208 cm. Na predavanjima na kojima je bio slušatelj, često bi bio upozoren »Molim Vas, sjednite«, tada bi se prof. Lopašić ustao i samo okrenuo prema govorniku bez daljnjih komentara. Prvo mi je u sjećanju anegdota iz laboratorija Zavoda za fiziku, kada mi je prof. Lopašić pokazivao »avionsko krilo« – snažan ventilator s usmjerivačem. Ne misleći na to što bi se moglo dogoditi uključio je ventilator, a sve pripreme i upute za vježbe poletjele su sa stolova kao mali papirići.

Nakon otvaranja ETF-a na današnjoj lokaciji (Unska 3) trebalo je prevesti instrumentarij iz Kačićeve u Unsku ulicu. Neki dijelovi inventara bili su vredniji, pa su ih prevozili prof. Lopašić i moj otac u *fičeku* (Fiat 600). To i nije ništa posebno, ali glavna atrakcija bilo je ulazanje i sjedanje prof. Lopašića u taj minijaturni auto. Studenti su se sakupljali, promatrali i komentirali taj događaj.

Okoliš FER-a nije uvijek bio takav kakav

je danas. Tu su bile i male kućice s drvenom ogradom – plotom, a kako je prof. Lopašić imao bicikl s pomoćnim motorom (motor je bio na prednjem kotaču), bilo je komentara »Gle kako brzo hoda (trči) onaj gospodin!«.

Imao sam prilike tijekom studija 1968./69. godine slušati predavanja prof. Lopašića, koja su uvijek bila potkrepljena mnoštvom pokusa. Rezultati pokusa bile su i numeričke vrijednosti koje bi prije završetka samog pokusa prof. Lopašić relativno malim slovima napisao u kutu ploče – rezultati pokusa bili su točni u decimalu.

Ponekad bi se rezultat morao dobiti ponekom računskom operacijom i tada bi prof. Lopašić rekao: »Uzimam *šiber* primjerem svojoj veličini«, a ta veličina bila je oko metar dužine i oko desetak centimetara širine (*šiber* ili *rebušiber* ili logaritmar ili logaritamsko računalo, izašao iz upotrebe sredinom sedamdesetih godina te se danas može naći samo u muzejima i u ladicama tata i djedova inženjera).

Aleksandar Šolc²²

NEZABORAVNO DRUŽENJE – OD FAKULTETSKIH DANA DO SLUŽBE U VELEPOSLANSTVU

Prvi susret s profesorom Lopašićom bio je, zapravo, i prvi susret sa Sveučilištem. Kada sam počeo studij na Kemijskom odjelu Tehničkog fakulteta, imao sam dobre profesore ali posebno se isticao prof. Lopašić. Kada nam je rekao da zaboravimo sve što smo učili u srednjoj školi bio sam iznenađen, ali sam se brzo uvjerio kako je u pravu. Učili su nas kako je »akcija jednaka reakciji« tumačeći to

primjerom centripetalne i centrifugalne sile. Tek kad je prof. Lopašić rekao »...ili djelovanja dvaju tijela međusobno su jednaka i upravljena na suprotne strane«, shvatio sam treći Newtonov aksiom. Kako se nitko nije sjetio reći da se radi o dvama tijelima, a išao sam u dobru I. riječku gimnaziju. Moglo bi se u nedogled nizati slične primjere. Da danas pitam deset svojih kolega iz tog doba tko nam je bio najbolji profesor, devet od deset odgovorilo bi da je to bio prof. Lopašić.

Klaude godine postao sam demonstrator, u prosincu 1958. obranio diplomski rad *Trajno*

²² Profesor emeritus, rektor Sveučilišta u Osijeku, (1990.-1992.); veleposlanik Republike Hrvatske u Madridskoj (1992.-1996.)

osjetljiva komora za maglene tragove iona... pod vodstvom prof. Vatroslava Lopašića, a nakon diplome jedanaest godina honorarni asistent, na katedri fizike, iako nisam bio fizičar nego kemičar. (Nisam se bavio kemijom u užem značenju, nego uz kemijski sastav pretežno reologijom bitumena i asfalta, i to makroreologijom, koja tumači kako se materijal ponaša, i mikroreologijom (koja je bliža fizikalnoj kemiji), koja odgovara na pitanje zašto se tako ponaša). Za moj je rad dakle bila važnija fizika nego kemija. Mnogi od nas demonstratora postali smo sveučilišni profesori različitih struka. Prisjećam se Davora Butkovića, profesora matematike, Ive Heidla, profesora mehanike, Ivana Ilića, profesora elektrotehnike, Lea Budina, profesora računalstva, Rajke Budin, profesorice termodinamike (molim da mi se oprostí ako sam koga zaboravio).

Ne može biti slučajno da su stručnjaci tako različitih struka došli s iste katedre od istog profesora. Sve to pokazuje univerzalni interes profesora, ali i interes njegovih učenika koji se oslanjao na osnovno znanje koje

nam je prenosio.

Profesor Vatroslav Lopašić bio je izvrstan eksperimentator i predavao uz demonstriranje često i složenih eksperimenata, npr. slobodnog pada, Atwoodova padostroja, Foucaultova njihala i mnoge druge. Kako su predavanja počinjala u 6 ili 8 sati ujutro, dan prije svi su pokuši isprobani. Mi demonstratori sve smo trebali pripremiti, a onda bi došao profesor i sve provjerio. Ne sjećam se da se na predavanju ikada dogodila kakva pogreška.

Manje je poznato da je profesor Lopašić za rata započeo predavati teorijsku fiziku. (Prof. Ivan Supek pogrešno je izjavio da je »predavač teorijske fizike« uklonjen s fakulteta zbog suradnje s ustašama. Nikakve suradnje nije bilo, nego su zakonom poništena sva imenovanja uspostavljena za vrijeme NDH). I to znanje dobro mu je došlo, iako je promijenio područje.

Do kraja njegova života imao sam čast družiti se s dragim profesorom što ilustriram i kopijom pisma koje mi je uputio 4. I. 1995. u Budimpeštu²³.

Nenad Trinajstić²⁴

OD TEHNIČKOG FAKULTETA DO POVEZANOSTI S INSTITUTOM RUDER BOŠKOVIĆ

Mama me je upisala početkom rujna 1956. na Kemijsko-tehnološki odjel Tehničkoga fakulteta upravo kada se Tehnički fakultet podijelio na četiri fakulteta. Kemijsko-tehnološki odjel je ušao u sastav Kemijsko-prehrambeno-rudarskoga fakulteta, koji već sljedeće godine mijenja ime u mnogo prikladnije, Tehnološki fakultet.

²³ Reprint se nalazi u devetom poglavlju: Korespondencija.

²⁴ Akademik HAZU, Institut Ruder Bošković i Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.

Profesor je Lopašić (Lopac, kako su ga studenti zvali) predavao fiziku svim studentima Tehničkoga fakulteta. Predavanja su se održavala u Velikoj predavaonici u Kačićevoj ulici 26, dvorana je uvijek bila dupkom puna studenata. U stvari, bilo je više studenata nego mjesta u dvorani, pa su mnogi sjedjeli na stepenicama. Znali smo da je profesor Lopašić vrlo strog ispitivač i da kod njega nema švercanja na ispitu. Tada nije bilo pogodna udžbenika za (tehničku) fiziku, pa smo bili primo-

rani prisustvovati predavanjima i bilježiti profesorova izlaganja. Predavao je klasičnu fiziku i elemente teorije relativnosti, ali gotovo ništa iz kvantne fizike. Na tjedan je držao dva predavanja po dva sata, a vježbe su bile jednom na tjedan po dva sata, koje držali njegovi asistenti. Predavao je vrlo lijepo i razumljivo, a svako je predavanje bilo popraćeno zanimljivim pokusima koje je osobno izvodio i koji su svaki put uspijevali. Znao se i našaliti na svoj račun. Npr. prosti je pad demonstrirao skokom sa stolca ili bi se osvijetlio živinom lampom i kazao: »Zar ne izgledam privlačno!«. Čekao sam znatiželjno kada će mu se dogoditi neuspjao pokus, ali to nisam dočekao. Bio je bogobojazan čovjek i nikada nije održavao predavanja na Božić i Uskrs, premda su u komunističkoj Jugoslaviji to bili zabranjeni blagdani. Tada su predavanja držali njegovi asistenti.

Profesor je Lopašić bio vrlo visok i mršav. Kada nam je dijelio prve i druge semestralne potpise, sjeo bi na stolac kod garderobe blizu ulaza u predavaonicu. Sjedeći bio je viši od većine studenata. Na fakultet bi dolazio na biciklu u koji je ugradio elektromotor, pa se vozio kao na motociklu²⁵. Bio je sjajan eksperimentalni fizičar, a bavio se istraživanjima ultrazvuka. Utjecao je na razvoj fizike čvrstoga stanja u nas.

Studenti su znali da nema prelaska na drugu godinu bez položenoga ispita iz fizike, ali i to da je profesor Lopašić bio vrlo korektan ispitivač, koji je tražio znanje s razumijevanjem. Nastojao sam se riješiti fizike što prije, pa sam se prijavio za polaganje ispita prvi dan ispitnoga roka (3. lipnja 1957.) i ispit položio s odlikom, a istu sam ocjenu dobio i na pismenom ispitu, koji se sastojao od rješavanja zadataka. Zato sam ostao neugodno iznenađen kada sam dobio nazad indeks s ocjenom vrlo

dobar. Nisam nikada uspio doznati kako se to dogodilo. No, moram napomenuti da sam na vježbe išao vrlo neredovito te nisam sudjelovao u rješavanju zadataka, pa je moguće da je to utjecalo na konačnu ocjenu. Naravno da se tada nisam bunio, jer je važno bilo položiti ispit.

Nakon diplomiranja (diplomirao sam 12. studenoga 1960.), nakon kraćega boravka u *Pfvi*, došao sam 1. ožujka 1962. u Institut Ruder Bošković i u njemu ostao do danas. I tu sam naišao na trag djelovanja profesora Lopašića. Bio je u prvoj (graditeljskoj) upravi Instituta, koja se sastojala od istaknutih sveučilišnih profesora Ivana Šupeka, Drage Grdenića, Mladena Pačića, Željko Markovića, Josipa Lončara i Vatroslava Lopašića. Svi su oni umrli osim Grdenića, koji u doba pisanja ovih sjećanja navršava 89 godina. Profesora Lopašića nisam susreo na Institutu, jer sam došao kada je inicijalna gradnja Instituta bila davno dovršena. Međutim, kada je Institut obilježavao pedesetu obljetnicu, došao je Profesor Lopašić na svečanu priredbu, koja je održana u Koncertnoj dvorani Vatroslav Lisinski. Tada sam ga susreo i malo se našalio s njime. Sjedio sam u redu iza profesora Lopašića, a on i dok je sjedio stršao je iznad svih. Potapšao sam po ramenu i rekao mu »Gospon, bute sjeli?«. On se indignirano okrenuo, ali kad me je vidio, nasmijao se prepoznavši me (imao je začudujuću memoriju) i rekao: »Bio si i ostao obješenjak«. Malo smo porazgovarali, a poslije sam ga do smrti znao susretati na njegovu putu u katedralu, jer je redovito odlazio na jutarnju misu pokraj autobusne stanice, gdje sam čekao na autobus za Institut. Zastao bi, porazgovarali bismo i on bi produžio prema katedrali. Dugo je živio – rodio se 1911. u Pakracu, a umro 2003. u Zagrebu.

²⁵ Neki tvrde da se radilo o benzinskom motoru (opaska urednika).

Ivan Ilie²⁶

MIT O FIZICI ZA TEHNIČARE

Predavanja prof. Lopašića zasnivala su se, u najvećem dijelu, na dobro odabranim i organiziranim fizikalnim pokusima. Svakoj novoj generaciji, onako usput, ali sasvim ozbiljno, dao je do znanja da treba svoja poznavanja materije iz područja srednjoškolske fizike zaboraviti i pripremiti se za poimanje fizike i njenih zakona na način na koji će im se, u tijeku dva semestra visokoškolske nastave, pokazati riječju i djelom, a to je značilo: kroz predavanja bogato začinjena čuvenim Lopašićevim pokusima.

Kad sam tu uputu prvi put čuo, davne 1952. godine, učinilo mi se da, iako već tada od studenata vrlo cijenjen profesor Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Vatroslav Lopašić, pretjeruje i odviše nametljivo promovira svoja predavanja, posebno svoj stil predavanja iz fizike, kao da je fizika nekakvo božansko biće s kojim nema šale, a pogotovo se njome ne smije student tehnike poigravati, tražeći način što lakše pripreme za preskok u sljedeću godinu studija. Naime, nama brucosiima sasvim je jasno, od starijih kolega, dano do znanja da su predavanja iz fizike vrlo dinamična, gotovo kazališno atraktivna, da se na njima nije dogodilo da itko zadrjema, a kamo li utone u san, ali da se situacija, psihička i formalna, u ljetnom ispitnom roku drastično mijenja, da je priprema i polaganje ispita iz fizike mnogima dnevna i noćna mora, da se događa da na ispit u jednom danu izade tridesetak kandidata, a da ih prođe samo deset do dvadeset posto.

Nakon prvih nekoliko predavanja strahovi brucosa nestali su, fizika je postala za ve-

ćinu predmet broj jedan u skali zanimljivog i dinamičnog prikaza sadržaja i suštine tog predmeta. Već se na početku osjećalo da se, uz atraktivan prikaz materije, daje čvrsta i prirodna podloga za pristup razumjevanju zakona prirode, i to baš onog dijela koji je ključan za poimanje i razvoj načina inženjerskog mišljenja.

Nakon upisa u drugu godinu studija postao sam demonstrator na predmetu *Nacrtna geometrija*. Tom predmetu privukla me je vrlo draga i pedantna priroda prof. Justinijanovića, koji je u svoj prikaz predmeta, ne baš odviše zanimljiva i atraktivna kao *Fizika*, unio toliko živosti, da su mi mrtvi likovi i konstrukcije nacrtna geometrije ličili na animirana stvorenja iz crtanih filmova.

Ali, čim se pojavio oglas za prihvata novih demonstratora za predmet *Fizika*, nisam dvojio. Ta se prilika ne propušta. Prijavio sam se, i bio primljen. Tako sam dobio priliku da kazališnu scenu prof. Lopašića promatram i iza kulisa, ali je još važnije bilo sudjelovanje u pripremama pokusa, dan uoči predavanja, dva puta na tjedan.

Prof. Lopašić organizirao je tim, vođen njegovim asistentima i starijim demonstratorima, koji je vrlo jednostavno obavljao, kako po sadržaju, tako i po organizaciji, svoj posao pripreme fizikalnih pokusa. Pri tom je bila ključna *Tolstoka*, bilježnica najstarijeg demonstratora, u koju su se bilježili svi pokusi s režijskim naznakama i sadržajem, te popisom svekolike opreme koju režija pokusa zahtijeva.

Uhodane su pokuse postavljali iskusniji članovi tima, dok se pri pripremi novih, u pravilu, pojavljivao i njihov autor. Vrijeme prema protjecalo je, barem meni, prebrzo. Ne

²⁶ Profesor emeritus Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.

sjećam se da sam namjerno propustio ijednu priliku sudjelovanja u njima. One su predstavljale mogućnost neposrednog uživanja u režiju i sadržaj pojedinih pokusa, a svaki je pokus bio prilika za uživanje u nikad dovoljno ponavljaju zbiljavanju majke prirode.

Svima iz tima činilo se da su to naši pokusi, da su to pokusi po sadržaju baš oni koje bi svaki od nas htio proglasiti svojima. Ali, nije bilo baš tako. U trogodišnjoj demonstraturi, korak po korak, shvaćao sam da je u svim tim »našim« pokusima njegova kreacija i njegov duh, da je u svakom dijelu prikaza prirode prof. Lopašić ugradio sebe samoga. Nije čudo da su predavanja ličila na živu kazališnu scenu prikaza »Lopašićeve Fizike za tehničare«.

Repertoar pokusa, prikazanih u tijeku dva semestra Fizike, bio je nabijen ne samo sadržajima koje je trebalo uz njihovu pomoć ilustrirati, nego, u prvom redu, fizikalnošću onoga što se u predavanju izlagalo, a nije uvijek davalo jasnu i predodžbeno prihvatljivu sliku prirodne pojave. To se posebno odnosilo pri tumačenju pojava iz elektrotehnike. Zakoni iz područja elektrotehnike studentima su prezentirani onako kako su u XIX. stoljeću otkrivani, pri čemu su pokusi oživljavali scene i doživljavanja prvotnih istraživača. Kad se, na kraju izlaganja fizikalnih zakona iz područja elektrotehnike, došlo do Maxwellovih jednadžbi, temeljnog dijela teorijske elektrotehnike, poteškoće s predodžbama nerijetko su nadilazile mogućnosti mašte i najspremniji studenata.

Četiri Maxwellove jednadžbe gotovo redovito napišu se i objašnjavaju kao genijalni prikaz matematičkog uma u poimanju svih fizikalnih zbivanja u elektrotehnici. Lopašić nije odviše trošio riječi na matematski prikaz jednadžbi, nije forsirao izričekom ni svoje poimanje na tu temu, ali je studentu dao priliku da kroz nekoliko pokusa sam sebi dočara di-

votu prirode, sažete u četiri naoko jednostavne matematičke relacije.

Evo te maštarije za drugu Maxwellovu jednadžbu uživo:

$$\text{rot } \mathbf{E} = - \partial \mathbf{B} / \partial t$$

Jednadžba kaže da se oko vremenski promjenjiva magnetskog polja indukcije $\mathbf{B}$ stvara kružno električno polje jakosti $\mathbf{E}$. Izričekom rečeno izgleda vrlo prihvatljivo i sasvim jasno. Ali, pokus sa staklenim zvonom²⁷ na koje je postavljena zavojnica protjecana visokofrekventnom strujom iz Teslinog generatora, govori jezikom pokusa još rječitije i jasnije, jer tijekom provedbe pokusa oživljava ono što mašta studenta prihvaća i »guta« kao zbiljsko ponašanje prirode i u slučajevima nevidljivih pojava. Naime, iz staklenog zvona se tijekom prikaza zbivanja izsisava zrak, pa se pri dovoljno razrijeđenom zraku u zvonu počinje pojavljivati ružičasti svijetli prsten, paralelan sa zavojima zavojnice. Prizor koji vizualno očarava, a fizikalno potvrđuje postojanje električnog polja uzrokovanog (i ulančenog) visokofrekventnim magnetskim poljem zavojnice. Ma kako pokus bio jednostavan, student drugu Maxwellovu jednadžbu doživljava neposredno, tako da doživljava stvoren izvođenjem i tumačenjem pokusa ostavlja trajan trag u shvaćanju jednog od temeljnih zakona elektrotehnike.

Tako je prof. Lopašić stvarao, »ciglu po ciglu«, mit o »fizici za tehničare«, koju je predstavao kroz eksperimente punih trideset godina.

²⁷ Pogledajte sliku 5.18. u petom poglavlju.

Ksenofont Ilakovac²⁸

SJAJAN PREDAVAČ ELEKTRONIKE NA PMF-u



Sf. 11.17.: Prof. Lopašić s prof. Ksenofontom Ilakovcem u Birminghamu

U svojoj IV. godini studija ik. god. 1950./51. bio sam slušač tada novouvedena predmeta *Elektronika*, a nastavnik nam je bio profesor V. Lopašić. Pogledao sam svoje bilješke s tih predavanja²⁹ i podsjetio se njegovih vrlo jasnih i iscrpnih izlaganja, koja su često bila popraćena demonstracijskim pokusima. Započeo je nastavu povijesnim uvodom, opisao gibanje elektrona u električnom i magnetskom polju, objasnio i pokazao pokuse kojima se određuje omjer c/m elektrona i iscrpno protumačio kako radi katodna cijev i osciloskop s vremenskom bazom. Zatim je podrobno opisao osnovne elektroničke elemente, diodu i triodu. Slijedio je povećani niz elektroničkih krugova, kao što su ispravljači izmjeničnog napona (uključivši i visokonaponske ispravljače s kenotronima), pojačala, katodna sljedila, oscilatori, *flip-flop* krugovi, vremenske baze, multivibratori i još niz drugih. Na kraju svojih predavanja kratko je opisao zašto se

rabe elektronske cijevi s više elektroda, kao tetrode, pentode i sl. U ono vrijeme početka snažnog razvoja elektronike, kako elektroničkih elemenata, tako i njihovih sklopova, s mnogim namjenama i primjenama, ta su nas predavanja pripremila za novo razdoblje svijeta širokih primjena elektronike. Iako se vakuumske elektronske cijevi vrlo malo rabe u današnje vrijeme jer su ih zamijenili poluvodički elektronički elementi, posebno oni visokointegrirani (koji u jednom malom čipu sadrže ogroman broj elektroničkih elemenata), naučili smo osnovne elektroničke sklopove koji se rabe i u poluvodičkim sklopovima, tako je taj predmet bio od velike važnosti za mnoge od njegovih slušača.

Profesor je Lopašić bio šef Elektroničkog odjela u novoosnovanom institutu na Horvatuvcu, koji danas poznajemo kao Institut Ruder Bošković i imao je važnu ulogu u početnom razvoju istraživačkog rada u području elektronike u nas.

²⁸ Akademik HAZU, profesor emeritus Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

²⁹ Bilješke se nalaze na CD-u.

Vesna Kos³⁰

STVARATELJ I PRIGOVARATELJ

Maturirala sam 1949. godine i položivši klasifikacijski ispit, upisala sam se na Elektro-odsjek Tehničkog fakulteta u Zagrebu. Tek u drugom semestru slušali smo predavanja prof. Lopašića iz fizike u preponoj Velikoj predavaonici AGG fakulteta (Arhitektura, Građevina i Geodezija). Predavanja su bila atraktivna, popraćena eksperimentima pripremljenim prethodnih dana, u čemu sam kao asistent kasnije sudjelovala. Na *fašs* sam morala stići najkasnije prije sedam sati, da bih se jedva progurala do zadnjeg, ili koji put i predzadnjeg reda. Sva sjedala, radijatori, prozori i stube, bili su popunjeni studentima.

Nakon diplomiranja 1956. zaposlila sam se u RIZ-u (Radio industrija Zagreb) i radila na projektima i konstrukciji instrumenata za pogon i laboratorije, jer uvoza nije bilo. Ljudevit Čeljuska, dugogodišnji suradnik profesora, preporučio me, pa sam 1960. izabrana za honorarnog, a poslije stalnog asistenta u Zavodu za fiziku ETF-a (Elektrotehničkog fakulteta), izgrađena 1965. godine, gdje sam radila do 1982. godine. Projektirala sam i izrađivala laboratorijske vježbe za studentski praktikum i pokuse za predavanja na višim školama i fakultetima. To su bile posebno konstruirane vježbe i pokusi, za lakše prenošenje.

Moj suprug (izabran za honorarnog asistenta) i ja formirali smo stacionarne akumulatorne (preostale još od Wehrmachta u podrumu AGG fakulteta), koje smo poslije preselili u podrum ETF-a. Ti su akumulatori preživjeli i poplavu, a koriste se i danas, 2009. godine, unatoč tomu što im je uobičajeni vijek trajanja trideset godina.

³⁰ Doktorica tehničkih znanosti iz područja elektrotehnike.



Sl. 11.18.: Asistentice Marijana Gjumbir, Melita Coffou i Vesna Kos te domaćica Kata Krznik

Profesor je moj rad cijenio. Na svakom sam reizboru prošla, jer osim izvještaja i činjenica o mom radu, on je na Vijeću potkriješio izjavom: «Ona je veoma vrijedan i koristan suradnik». Uvijek mi je davao odgovorne zadatke, koji su mi omogućili da nakon mnogo uložena truda obavim kvalitetno sve što je trebalo.

Omogućio mi je da magistriram, doktoriram i napišem priručnike, upute, članke,



Sl. 11.19.: Asistentica Vesna Kos u radionici Zavoda za fiziku

stručne i teoretske radove. Obradivala sam najsvremeniju problematiku, pisala kao suautor skripte, udžbenike, po potrebi održavala honorarna i redovna predavanja i samostalno na predmetima postdiplomskih studija.

Zahvaljujući svemu tomu, postala sam samostalna, vjerujem u sebe. Za utjehu ili ohrabrenje profesor mi je govorio: »Gospodo Kos, stvaratelj realizira jednu mogućnost, a *prigovaratelj* ih je preostalo veoma mnogo!«.

*Mladen Stupnicki*¹⁰

UŽIVANJE U PRIRODI U SLOVENIJI

Profesora Lopašića upoznao sam prije dvadesetak godina u selu Podkorenu blizu Kranjske Gore, gdje je on imao vikendicu, koju je izgradio prije drugog svjetskog rata još kao mladi asistent. Iako nisam studirao u Zagrebu, od prijatelja sam čuo za spektakularna predavanja fizike za studente Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Profesor Lopašić i njegova supruga gospoda Rezika boravili su

u Podkorenu tijekom ljeta kao i ja s obitelji u našoj vikendici blizu njihove. Najčešće smo se susretali na nedjeljnoj misi u seoskoj crkvi a nakon toga provodili bismo ugodne trenutke razgovora u njihovoj vikendici. Premda je već bio u poodmaklim godinama, kod profesora Lopašića uvijek me je oduševljavala njegova sposobnost memoriranja i prosuđivanja o aktualnim zbivanjima, koje je pažljivo pratio, posebice u vrijeme nastajanja naše države. Kao susjedi razmjenjivali smo i plodove naših malih okućnica jer smo bili daleko od trž-

¹⁰ Redoviti profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, u mirovini.

nice i trgovina. Supruga i ja radovali smo se svakom novom ljetnom odmoru jer smo tada često imali ugodno druženje s gospodom i gospodinom Lopašićem. I domaći stanovnici Podkorena cijenili su ih i voljeli. Moja supruga i ja često odlazimo u Podkoren i prolazeći pokraj vikendice nekad njihove svaki se put s poštovanjem i ljubavlju sjetimo profesora Lopašića.

I u Zagrebu smo se posjećivali. Dolazak u Vinkovićeve uvijek nam je bila lijepa uspo-

mena na druženje s plemenitim i dragim prijateljima. Osim uobičajenih tema razgovora, profesor Lopašić govorio mi je i o svojem hobi rješavanja složenih matematičkih problema. Nažalost, u tom dijelu nisam mu mogao biti pravi sugovornik jer ne poznajem dovoljno to područje, ali smo se zato dobro slagali na političkim temama. S gospodom Lopašić i sada se povremeno susrećemo i nazivamo se te često obnavljamo uspomene na dragog nam profesora Lopašića.



Sl. 11.20.: Vikendica prof. Lopašića (veljača, 1952.) u Podkorenu u Sloveniji a), prof. Lopašić sa suprugom ispred vikendice oko 1970. b) i časkanje o Slovakovim križalj-kama s gostima namjernicima iz Engleske u vikendici c).



Sl. 11.21.: Prof. Lopašić na izletu

Joan-Pál Sztrilich SJ³²

PREDAVANJA, SAKRAMENTI I TEOLOŠKO PITANJE

Profesor je Lopašić bio odličan predavač. Predavanja iz Fizike bila su mu zanimljiva i živa. Uvijek su bila popraćena pokusima i bez pokusa ne bi predavao. Predavanja su se držala u Velikoj predavaonici Tehničkog fakulteta u Kačićevoj ulici. Zavod za fiziku bio je odmah do predavaonice, pa je bilo lakše pripremiti pokuse za predavanja. Kada bi studenti ujutro došli na predavanja, dočekao bi ih obično pun stol raznih »tajanstvenih« aparatura i sprava. Predavanja iz Fizike bila su uvijek prva dva

jutarnja sata, tako da se moglo prethodno popodne i večer spremirati sve pokuse. Predavanja su počinjala u zimskom semestru u osam sati, a u ljetnom u sedam sati.

Pod nadzorom i vodstvom Profesora pokuse smo za predavanja spremali u ono vrijeme jedan asistent i nas četvorica demonstratora. Profesor bi Lopašić svaki pokus iskušao. Ako je bilo potrebno, nešto bismo popravili ili ispravili. Svaki je pokus morao točno funkcionirati. Nekada bi spremanje pokusa trajalo do duboko u noć, a nekada bi se brzo završilo. U tom slučaju znali bismo mi demonstratori igrati stolni nogomet gumbima, a Profesor bi

³² Pater, redoviti profesor Fakulteta Družbe Isusove, u mirovini.

Otkrivenje

PROSLOV

1 Otkrivenje Isusa Krista: njemu ga dađe Bog da on pokaže slugama svojim ono što se ima dogoditi ubrzo. I on to označi, poslavši svog anđela, služi svome Ivanu koji posvjedoči za riječ Božju i za svjedočanstvo Isusa Krista — za sve što vidje.

Blago onome koji čita i onima što slušaju riječi ovog proroštva, te čuvaju što je u njemu napisano. Jer, vrijeme je blizu!

I. PISMA MALOAZIJSKIM CRKVAMA

Pozdrav

“Ivan sedmerim crkvama u Aziji. Milost vam i mir od Onoga koji jest i koji bijaše i koji dolazi i od sedam duhova što su pred Prijestoljem njegovim, i od Isusa Krista, Svjedoka vjernoga, Prvorodenca od mrtvih, Vladara nad kraljima zemaljskim. Njemu koji nas ljubi, koji nas krvlju svojom otkupi od naših grijeha te nas učini kraljevstvom, svećenicima Bogu i Ocu svom: Njemu slava i vlast u vijeke vjekova! Amen!

“Gle, dolazi s oblacima, i gledat će ga svako oko, svi koji su ga proboli, i naricat će nad njim sva plemena zemaljska. Da! Amen.

“Ja sam Alfa i Omega, govori Gospodin Bog — Onaj koji jest i koji bijaše i koji dolazi, Svevladar.

Uvodno viđenje

“Ja, Ivan, brat vaš i suzajedničar u nevolji, kraljevstvu i postojanosti, u Isusu: bijah na otoku zvanu

462

Sl. 11.22.: Početna stranica Otkrivenja (Apokalipse); hrvatski prijevod nije prema priloženom grihom tekstu; Novi zavjet, četvrto izdanje, Kričanska sadašnjost, Zagreb, 1977., str. 462)

nam se znao priključiti i s nama igrati. Igrao je veoma dobro.

Predavanja su bila zanimljiva i živa, na primjer kada bi Profesor skakao sa stolice da pokaže da kod slobodnog pada nema pritiska na podlogu. A vidjelo ga se dobro, jer je bio

visok preko dva metra. Nije čudo da je bilo veliko zanimanje za predavanja i kod onih koji nisu upisali *Fiziku* kao predmet, pa smo ih ponekad morali isključiti da se dvorana ne bi prepunila. Na početku školske godine kod prvoga predavanja Profesor bi preporu-

ΑΠΟΚΑΛΥΨΙΣ 'ΙΩΑΝΝΟΥ

Am 3,7
19; 4,1; 22,6 Dn 2,
28 s. 45 Theod
22,16
9 · 6,9f
19,10 · 1 J 1,1-3
14,13; 16,15; 19,9;
20,6; 22,7,14 · 22,
18f s
22,10

11
8; 4,8; 11,17; 16,5
Ex 3,14 · Is 41,4 · 5,
3,1; 4,5; 5,6 Is 11,
2 s
3,14; 19,11 Ps 89,38
Jr 42,5 · Ps 89,28
Kol 1,18 · Is 55,4 ·
Is 40,2 Ps 130,8 ·
1 J 1,7f
5,10; 20,6 Ex 19,6;
23,22 Is 61,6 1 P 2,
5,9 · R 16,27f

1 Ἀποκάλυψις Ἰησοῦ Χριστοῦ ἣν ἔδωκεν αὐτῷ ὁ θεός ἵ
δειξαι τοῖς δούλοις αὐτοῦ ἃ δεῖ γενέσθαι ἐν τάχει,
καὶ ἑστήμανεν ἀποστείλας διὰ τοῦ ἀγγέλου αὐτοῦ τῷ δοῦ-
λῳ αὐτοῦ Ἰωάννῃ, 2 ὃς ἐμαρτύρησεν τὸν λόγον τοῦ
θεοῦ καὶ τὴν μαρτυρίαν Ἰησοῦ Χριστοῦ ὅσα εἶδεν ὁ
3 Μακάριος ὁ ἀναγινώσκων καὶ οἱ ἀκούοντες τοὺς λό-
γους τῆς προφητείας καὶ τηροῦντες τὰ ἐν αὐτῇ γεγραμ-
μένα, ὁ γὰρ καιρὸς ἐγγύς.

4 Ἰωάννης ταῖς ἐπτά ἐκκλησίαις ταῖς ἐν τῇ Ἀσίᾳ χά-
ρις ὑμῖν καὶ εἰρήνη ἀπὸ τοῦ ὄντος καὶ ὁ ἦν καὶ ὁ ἐρχόμε-
νος καὶ ἀπὸ τῶν ἐπτά πνευμάτων τοῦ θρόνου
αὐτοῦ 5 καὶ ἀπὸ Ἰησοῦ Χριστοῦ, ὁ μάρτυς, ὁ πιστός, ὁ
πρωτότοκος τοῦ νεκρῶν καὶ ὁ ἀρχὼν τῶν βασιλείων
τῆς γῆς. Ὁ τῷ ἀγαπῶντι ἡμᾶς καὶ λύσαντι ἡμᾶς
ἐκ τῶν ἁμαρτιῶν ὁ ἡμῶν ἐν τῷ αἵματι αὐτοῦ, 6 καὶ
ἐποίησεν ἡμᾶς βασιλείαν, ἱερεῖς τῷ θεῷ καὶ πατρὶ
αὐτοῦ, αὐτῷ ἡ δοξα καὶ τὸ κράτος εἰς τοὺς αἰῶνας ὁ
αἰῶνων ἁμήν.

Inscriptio: ὁ (+ του αγίου αλ) Ι. του θεολογου ΒΒ | Ι. τ. θ. και ευαγγελιστου 046 pc | lat
(B A)

¶ 1,1/2 ὅτις γενομένης εἰς ἐμεῖς Ἰωάννην τὸν ἀποστόλον τοῦ κηρυξαὶ τὸν λόγον τοῦ
θεοῦ καὶ τὴν μαρτυρίαν Ἰησοῦ Χριστοῦ ὅσα εἶδον 2050 | ὁ ἀγίους B* | ὁ 2036 pc |
καὶ αὐτὸν εἰσι καὶ αὐτὸν χρῆ γενέσθαι μετὰ ταῦτα B* • 3 ἁκούων 2053, 2062 pc it
vg^l; Apr Bea | ὁ τ. λ. τούτους C | τὸν λόγον B 046, 1854 pc | ταύτης 1611, 2053, 2062
pc g^l vg^{ms} sy bo • 4 ὁ τοῦ B (a) t; Vic Prim | lat B¹⁸ B A C P 2050 al lat sy co; Apr |
τὸν B A sy bo | α εστιν 2053 B* • 5 ἔκ B* | ὁ bis B* | ὁ πησαντι 2053, 2062 B* |
λουσαντι P 1006, 1841, 1854, 2053, 2062 B¹⁸ lat bo | lat B¹⁸ B A C 1611, 2050, 2329,
2351 B* h sy; Prim | ὁ ἀπο P 1006, 1841, 2351 B* | ὁ A al • 6 ποιεσαντι 046, 1854
pc | ὁ ἡμιν A 1678, 1854, 2053, 2062, 2080, 2344 pc | ἡμιν C 1611, 2329 h t vg | lat B B
a g^l vg^l; Tert Vic Prim | ὁ λειον 046, 1854, 2050, 2351 pc | λεις και B* | ὁ ἱερα-
τευται 2351 pc vg^{ms} | ὁ B¹⁸ A P 2050, (2344) pc bo | lat B C B lat sy; Did

Sl. 11.23.: Početna stranica Otkrivenja (Apokalipse) na grčkom

čio studentima da zaborave sve što su do sada naučili iz fizike, pa da zapamte ono što vide i čuju na predavanjima.

Osim fizike profesor Lopašić bavio se i matematikom i matematičkom enigmistikom. Napose su ga zanimali prosti brojevi.

Imao je dva manja računalna koja su bili nekada uključena i satima bi rješavala neki zadatak koji bi im Profesor zadaao.

Sastavljao bi i (teške) matematičke probleme, zadatke koji su bili objavljivani u jednom engleskom časopisu. Nije bilo mno-

go rješavača koji bi ih znali riješiti. Profesor Lopašić bio je dobar vjernik. Obično bi posjećivao crkvu otaca franjevaca, jer mu je ta bila najbliža. U starijim godinama, kada je već teško izlazio, ja bih mu se telefonom najavio da ću ga posjetiti. Tada bi obično rekao: »Nemojte doći sami«. To je imalo značiti da dode sa mnom i Isus u pričesnoj hostiji. Onda bih ga prvo ispovjedio i pričestio, pa smo poslije razgovarali.

Kao vjernika zanimala ga je i Biblija. Napose ga je zanimala zadnja knjiga Novoga zavjeta, Otkrivenje, Apokalipsa. Da bi mogao čitati Apokalipsu u originalu, naučio je i biblijski grč-

ki jezik. Naučio ga je tako dobro da je napisao i znanstveni članak o statičkoj i dinamičkoj uporabi prijedloga *epi* u Apokalipsi. Članak mu je objavio Biblijski institut u Rimu u jednom svojem časopisu³³.

Profesor je Lopašić odgojio generacije tehničara. Poučio ih je da upoznaju osnovne zakone nežive materije, te njihovu primjenu u drugim prirodnim znanostima i tehnici. Pokusima i mjerenjima neka pristupaju mirni i staloženo. Ono što aparatura ili instrument daje treba prihvatiti kao objektivni podatak i iz toga izvoditi zaključke.

Zdravko Mršić³⁴

DUHOVNOST I VJERA U ISUSA

Vatroslav Lopašić bio je visok rastom i krupan čovjek. Pojavom se izdizao nad sve osobe koje su ga okruživale. On se, međutim, nad sve osobe koje sam poznavao i koje su nje ga poznavale izdizao i u ljudskom i društvenom, a ne samo u prostornom smislu. To je moj dojam o profesoru. U ovom kratkom prigodu pokušat ću taj dojam prenijeti čitatelju.

Prekretnica u javnom životu V. Lopašića nastupila je s njegovim udalžavanjem, poslije uspostave komunističke vlasti u Hrvatskoj, s istraživačkog mjesta na njegovu matematičnom Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Dobio je nastavno mjesto na Tehničkom fakultetu u Zagrebu, koje je on s vremenom učinio neobično vrijednim. Ipak, Lopašićev prvi izbor bilo je znanstveno istraživanje u fizici.

Naime, Lopašić je imao rijetko bridak matematički um, koji nije bio samo analiti-

čan, nego je imao i sposobnost konceptijskog razmišljanja i neobičnu kreativnost. Matematika se razvijala stvaranjem novih pojmova na raščlambi brojeva i prostora, a fizika na stvaranju novih veličina i pojmova raščlambom rezultata eksperimenata, kojima često prethode novi pojmovi, veličine i ideje.

Nakon Lopašićeva uklanjanja s istraživačkog mjesta njegovi su radovi trebali postati jalovima, kako mu, kao nepoćudnu čovjeku, ne bi donijeli osobne dobrobiti za kakve su vlasti smatrale da ga ne spadaju.

Taj slom veliki čovjek Lopašić pretvorio je u trijumf. Zdušno i predano, ali i kreativno i inovativno Lopašić se primio pedagoškog posla. Smislio je do njega neviden način predavanja fizike za sve buduće inženjere i inženjere sa zagrebačkog sveučilišta. Stoga je Velika predavaonica nekadašnjeg Tehničkog fakulteta za Lopašićevih predavanja bila prepuna.

Poslije II. svjetskog rata zemlja je trebala inženjere, što danas nije slučaj. S druge strane, naši mladi ljudi nisu vidjeli osobnu per-

³³ Reprint se nalazi u četvrtom poglavlju: Članci izvan fizike.

³⁴ Magistar matematičke logike i diplomirani inženjer matematike i fizike.



Sl. 11.24.: Prof. Lopašić i mr. Zvonkovi Mrlittem

spektivu u društvenim znanostima, koje su bile rezervirane za odabrane kadrove. Lopašić je svoj život posvetio temeljitoj izobrazbi i od-

goju tih ljudi. Zato je bio i obljubljen među studentima i naknadno neobično poštovan od kolega. (Mnogi profesori, koji ne bi potrošili dobiveni novac za nabavu opreme, dolazili su pred kraj financijske godine Lopašiću, nudili mu da tim novcem nabavi opremu za svoj laboratorij i, kako mi je sam govorio, naknadno zaboravljali danu pozajmicu.)

Golemu duhovnu okrepju cijelom zagrebačkom akademskom svijetu davala je Lopašićeva neupitna vjera u Isusa, koju on nije ni skrivao, ali kojom se nije ni kitio. Lopašić je pomogao da se u Zagrebu podigne cio naraštaj dorašlih inženjera i čestitih muževa i žena.

Lopašić je bio spriječen da za se uzme veliku istraživačku karijeru, za kakvu su se drugi jagmili. On je ostao samo sa svojim silnim, bogomdanim darovima od kojih je davao mladim ljudima i umjesto onih koji nisu sami mogli pružiti. Veličina Vatroslava Lopašića jest u *jedincatosti* njegove drage i divljenja vrijedne pojave.

Ivo Soljačić³⁵

OD STUDENTSKIH DANA DO BLIZINE STANOVANJA

Iako sam slušao predavanja mnogih uglednih i vrijednih profesora, mogu sa sigurnošću reći da je na mene najdublji dojam ostavio profesor Lopašić. To je bilo zbog njegovih gotovo savršenih predavanja, njegove točnosti, preciznosti, strpljivosti i pravednosti na ispitima te predanosti poslu. No ipak najviše od svega imponirao mi je njegov principijelan životni stav čvrstog katolika vjernika, koji je bio svima poznat, i od kojeg nije odu-

stao ni u doba najžešće diktature. Redovito je i javno išao u crkvu i to u pedesetim godinama u doba tvrde boljševičke diktature kako je to razdoblje nazvao akademik Ivan Supek, u vrijeme kad je bila bačena parola da je vjera nešto nazadnjačko štetno te da nastavnici ne bi smjeli ići u crkvu. Rečeno je da bi na taj način mogli prenijeti svoj nazadnjački mentalitet i stanovište na učenike. Mnogi »drugovi« i direktori škola u takvoj su propagandi bili jako aktivni i znam mnoge, mnoge nastavnike koji su od straha da ne izgube radno mjesto orestali nahađati crkvu ili su pak išli dotaiice.

³⁵ Profesor emeritus Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.



Sl. 11.25.: Kuća u kojoj je stanovao prof. Lopašić više od izdeset godina (Vinkovčeva 1, Zagreb). Stanovao je na prvom katu.

Ali prof. Lopašić nije se pokolebao. Išao je u crkvu, i to u strogom centru grada. Njegova je visoka figura gotovo svima dobro bila znana. Bilo je to veliko ohrabrenje i znak nade nama mladima.

Ja sam se upisao na kemijski odjel Tehničkog fakulteta 1954. i slušao sam fiziku kod profesora Lopašića zajedno sa studentima svih odjela tehničkih fakulteta osim studenata arhitektonskog odjela. Predavanja su se održavala u Velikoj predavaonici u Kačićevoj ulici. Zbog brojnosti studenata predavanja su se održavala u dva turnusa, utorkom i četvrtkom, i to prvi turnus od 6 do 8 sati i drugi turnus od 8 do 10 sati. Prvom je turnusu predavao prof. Lopašić, a u drugomu je turnusu profesorov predavanje gotovo identično

ponovio asistent Gospodnetić. Iako sam ja bio tek četvrta generacija koja je slušala profesorova predavanja, mogu reći da su se ona odvijala skladno, neusiljeno, prirodno, logično i zanimljivo. Sve svoje riječi prof. Lopašić potvrdio je eksperimentima, koji su uspijevali bez pogreške. Kad je profesor izvodio eksperimente s Teslinim strujama i ultrazvukom, to je bilo ne samo poučno, nego i tako efektno da smo mu spontano zapljeskali. Jednom se je ipak dogodilo da eksperiment nije uspio. Profesor je prekinuo predavanje i nastavio s tim eksperimentom sljedeći put. Poslije sam saznao da je profesor redovito dan uoči predavanja s cijelom ekipom izveo eksperimente te ih drugi dan ponovio na predavanjima. Kroz cijelu audijens predavaonica je bila puna do na-



Sl. 11.26.: Logotip Hrvatskog katoličkog društva pravovjernih djelatnika

sljednog mjesta. Čak su neki studenti sjedjeli i na stepenicama, jer nije bilo mjesta za sve. To je bilo moguće budući da je predavaonica bila amfiteatarska.

Profesor je davao redovite ispitne rokove u ljeti, jeseni i zimi. Ispit je bio pismeni i usmeni. Pitanja su se za usmeni ispit izvlačila, a ispit je bio javan. Unatoč vrlo velikom broju kandidata, profesor je svakomu posvetio veliku pažnju i strpljenje. Sjećam se svojega ispita.

*Dragutin Šubat*²⁶

ŽIVJET ĆE U NAMA DOK NAS IMA

Bio sam student i demonstrator profesora Lopašića, a zadnjih godina njegova života i čest posjetitelj u njegovu domu, posebno na njegov rođendan 9. prosinca, s njegovim prijateljima, uglavnom bivšim suradnicima. To su bili dani, kada smo prebirali po zajedničkim događajima o suradnji i životu s njim i pored njega.

Kao studenta impresionirala su me njegova predavanja iz fizike, kao i tolike gene-

brucō, uplašen, toliko sam se smotao da nisam znao odgovoriti na pitanje, a profesor je strpljivo čekao i na kraju postavio potpitanje. Najednom mi se je sve otvorilo i odgovarao sam dalje bez pogreške. Uvijek sam mu zahvalan na tomu i to mi se usjeklo u pamćenje za čitav život. Nikad nisam dozvolio da mi student padne na ispitu zbog straha. Ako je znao, onda je i prošao. Sjetio sam se profesora Lopašića i postavljao potpitanja.

Nekoliko godina poslije kad sam se oženio preselio sam se u blizinu profesorova stana. On je bio prijatelj s obitelji moje supruge. Često smo se sretali i ponekad vozili zajedno tramvajem na posao. Uvijek je bio ljubazan i pristupačan. Vrata njegova stana bila su nam otvorena i s radošću nas je dočekaao kad bismo mu došli u posjet.

Zadnji sam ga put vidio u bolnici. Rekao sam mu: »Gospodine profesore, danas bolje izgledate«, a on se nasmiješio i rekao: »Da, da, vrijeme je da se ide«, i pokazao je prstom prema gore. Umro je nekoliko dana iza toga.

racije prije moje i poslije moje. Posebnost tih predavanja bila je u pokusima, kojima je pokazao i dokazao zakone prirodnih pojava, a mi smo studenti kroz te pokuse otkrivali prirodu i fizikalne zakone, koji su temelj svih struka tadašnjeg Tehničkog fakulteta i spoznavali modele za prepoznavanje društvenih vrijednosti zbog kojih vrijedi živjeti.

Poslije kao njegov demonstrator, dan uoči predavanja, nas nekolicina pripremala je te pokuse, a poslije njegova dolaska sve smo ponavljali s njim, nekad mijenjali i dopunjavali na njegov zahtjev, ponekad do duboko u noć.

²⁶ Magistar elektrotehnike, honorarni viši predavač na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu; pomoćnik ministra prometa za željeznicu i generalni direktor Hrvatskih željeznica

U to vrijeme (1950.–1956.) bio je jedan od utemeljitelja atomskog instituta »Ruder Bošković« u Zagrebu. Bio je znanstvenik, a istovremeno i vjernik – kršćanin, humanist i domoljub. To je bila dobro znano svima nama iz njegove bliže i daljnje okoline. To potvrđuje niz primjera, kao neodržavanje predavanja na Božić, radost zbog stvaranja hrvatske države, čestitka veleposlaniku u Budimpešti gospodinu Šolcu, bivšemu demonstratoru iz fizike, i konačno njegov odnos prema svima nama suradnicima, studentima i okolini. Kao takav nije naravno bio podoban za rad u Institutu. Možda mu je upravo to dalo posebnu snagu da se posveti s ljubavlju radu sa studentima, kojima je bio uzor i inspiracija i mnogi su zahvaljujući i njemu postali istaknuti znanstve-

nici, inženjeri, profesori, rektori, direktori, diplomate i drugo.

Često se čulo u vezi s profesorom »kako je moguće biti znanstvenik i vjernik«, on je rekao: »Ja sam odlučio da vjerujem u Boga«. Na jednom predavanju »Fizika nuklearne jezgre«, završio je da za razrješenje te složenosti tih spinova nuklearne jezgre treba da se pojavi genij kakav je bio Isaac Newton. Nama na povratku u Zavod za fiziku rekao je: »To je Boge«.

I na kraju, nekoliko dana prije smrti profesora, bio sam kod njega u stacionaru, otkrio se i rekao: »Šubat pipnite moje noge«, učinio sam tako i on mi kaže: »Ja ništa ne osjećam, Šubat, ja odlazim«. Bio je tako spokojan, i otišao je 17. prosinca 2003.

Mario Essert ³⁷

TOPIM SE KO SVIJEĆA

Dragog sam profesora posjetio u bolnici tjedan dana prije njegova preminuća. Obradovao mi se, prstom načinivši pokret da mu se približim. Nagnuo sam se. Šaptao je:

»Hvala vam što ste došli! Kako Vaša obitelj?... A kako naše Društvo?«³⁸

Odgovarao sam kratko, misleći da će ga moje pripovijedanje umarati. No, on je pitao sve više, sve dublje. Do zadnjeg časa sve ga je zanimalo, vidjelo se to u upitnom pogledu vedrih očiju, umorna lica. Za to vrijeme, njegova gospođa Terezija marljivo je pokušavala ugrijati mu duge, suhe noge, koje su zbog okvira kreveta bile zgrčene. Povukla je pokrivač i izravnavala ih, trljajući ih nježno i ustrajno.

»Režika, nemoj se mučiti«, rekao joj je glasnije. Onda se osmjehnuo, pogledao me veselo i kao student kad zna da daje točan odgovor na ispitu, šapnuo:

»Topim se ko svijeća!«.

U tom je odgovoru sve bilo sadržano, a prije svega njegova voljena fizika. Topiti se – oslobađati energiju iz mase koja nestaje, transformirati se, širiti toplinu, davati svjetlost...

Sjetih se njegova intervjua iz *Glasu Koncila*, davne 1967. godine, u kojem govori o svojoj majci koja je umrla – veselo³⁹.

»Vi ste uvjereni da je taj optimizam bio plod njezina kršćanskog uvjerenja?«, pitao ga je novinar.

»Apsolutno! I ja sam sretan što sam vidio

³⁷ Redoviti profesor na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

³⁸ Hrvatsko katoličko društvo osnovateljskih članaka.

³⁹ Pretisak tog intervjua je u osmom poglavlju: Intervju *Glasu Koncila*.

smrt svoje majke. To možda zvuči apsurdno», odgovorio je tada prof. Lopašić, u ispovijedi svoje vjere.

Pa ja sam danas sudionik slične stvarnosti, pomislih sretan. Nije rekao »gasim se«, nego – »topim se«. Gašenje je nestajanje, topljenje je nastajanje, pretvorba. Gašenje je mrak, topljenje svjetlo. Sjetih se i pisma koje mi je napisao 1997. godine:

»Obradovao me Vaš poziv da dodem na Skupštinu našega društva 13. prosinca na dan svete Lucije, na dan svjetlosti i prosvjetljenja, a na početku Godine Duha Svetoga. Koliko god bih želio osobno prisustvovati toliko mi je žao da mi to moje zdravstveno stanje ne dopušta. Bit ću sa svima vama u mislima, želeći vam mnogo uspjeha i dobrih zaključaka koji će unaprijediti naše Društvo.«

Tako je umjesto njega plaketu počasnog člana *Hrvatskog katoličkog društva prosvjetnih djelatnika* primila njegova gospoda Terezija. Bilo mi je drago vidjeti tu uokvirenu plaketu, sa simbolom križa i uljanice koja svijetli, na istaknutom mjestu u njihovom stanu – bila mu je draga, kao i to Društvo kojemu je punim srcem pripadao. Sjećam se dobro, jer to se u muci ne zaboravlja, kako ga je i novcem podupirao, jer mi u ravnateljstvu HKDPD-a nismo uspijevali sakupiti novac čak ni za najam male prostorijice za okupljanje, iako smo kucali na mnoga vrata. Njegov je prilog bio redovit i višestruko iznad svakog pojedinačnog ostalih članova HKDPD-a.

»Naročito mi je drago da se iz odgovora "Što želimo" vidi da smo shvatili što je pevo i glavno u našem djelovanju i nastojanju, pa da tako ne konkuriramo sindikatima, kad oni ističu svoje želje (koje treba pozdraviti)«, pisao je dalje profesor Lopašić u istom pismu.

Iako sam ga bolje upoznao tek u zadnjim godinama njegova života, očevitno je, što će potvrditi i oni koji su ga dugo poznavali, da je prof. Lopašić živio svoje

kršćanstvo potpuno, od najkonkretnijeg do onog najtranscendentnijeg:

»Želimo se okupljati radi izmjene iskuštava, duhovnog i strukovnog napretka članova i zajedničkog djelovanja kako bismo što bolje služili onima koji su nam povjereni te svjedočili za općeljudske vrijednosti u svjetlu Kristova nauka i njegova primjera. Želimo da članovi Društva rade na svojoj duhovnoj formaciji i vjerskoj izobrazbi, te nastoje što potpunije živjeti po vjeri, kako ih nadahnjuje i potiče sveta Crkva.«

Ne čini li vam se kao da su ta Pravila Društva pisana po uzoru, po mjeri – stasitu, orijajskom liku dragog profesora?

Sjećam se naših druženja u njegovu stanu, njegova starog kalkulatora pomoću kojega je smišljao, tražio i nalazio proste brojeve, i to vlastitim algoritimima, pokazujući mi taj put do u najmanje detalje. Lice mu je znalo biti ozareno kao u najradosnijeg dječaka. (Priznajem, to mi je bilo zanimljivije gledati, nego broj s puno znamenaka na zaslonu tog džepnog računala.) Znali smo često čitati naglas omiljenu mu poeziju, kad se ono, na primjer, digne bura pod Velebitom, pa onda slušati njegovo divljenje pjesnikovim onomatopejama, prilozima i pridjevima, njegovo oduševljenje hrvatskim jezikom i izričajem. Znao se potom riječju nasloniti na drevne glagoljske natpise, koje je imao u glavi pohranjene, kao da su u nekom dobro uređenu muzeju – trebalo je samo otvoriti prečinac i ljepota duha hrvatske povijesti zalepršala bi među nama, prevalila stoljeća i zaljuljala se u naslonjaču, u skromnoj i otmjenoj sobi njegova stana.

Volio me pitati o mojoj obitelji, supruzi i djeci. Slušao je sve s velikom pozornosti. On i gospoda Terezija uvijek su djeci slali čokolade i kolače, unatoč momemu opiranju. Bili su presretni kad su se jednom moja kći Sara i njen pas Toto pojavili na njihovim vratima i



Sl. 11.27.: Posljednji portret profesora Lopašića (sui-mis 2001. prof. Mile Baće)

pokazali im sve vještine i vragolije koje su skupa naučili.

»Znam da je to skoro heretično«, rekao mi je kad su otišli, »ali meni se čini da i životinje imaju neku vrstu duše. Znače«, nastavio je, »naš mačak Mucko, kad je osjetio da mu je došao zadnji čas, znate li što je napravio?« »Što, profesore?«, pitao sam.

»Zaletio se Mucko k meni, skočio u krilo, sjeo i pogledao me ravno u oči. Nikad to nije činio. Znao bi Reziki sjesti u krilo, ona ga je dragala, meni nije nikad. Ali taj njegov pogled ... što da kažem, bio je drugačiji, strelovit, nije trajao ni pet sekundi. Meni je odmah sve bilo jasno – došao je oprostiti se, zahvaliti se, reći da odlazi.

Rekao sam Reziki da ga više nikad nećemo vidjeti i doista je bilo tako. A godinama je prije toga živio s nama.«

»Zanimljivo«, komentirao sam.

»Ah, mi premalo znamo o životu«, rekao je, »niti ne slutimo koliko smo povezani, sva bića na ovom svijetu. Baš sva.«

Slutio sam da je tako, još od vremena kad sam profesora Lopašića gledao kako mi kao svjetionik svijetli svojom pojavom u crkvi na Kaptolu, uspravan i malo pogrbljen u vratu. O, kad biste znali, koliko to jednom studentu vjerniku znači. Nama pogotovo, studentima iz provincije, koji su u oštrom, komunističkom okolišu velegrada čeznuli za uporištem drugačijim od onog nametnutog. »Nismo sami, i prof. Lopašić je tu!« Sjećam se kako su mi nakon tog otkrića sve njegove vježbe u fizikalnom labosu na ETF-u postale još draže. I detaljne upute u njegovim skriptama, metodološki pristup i pedagoška osmišljenost – sve je to poprimalo poseban značaj. Nismo bili sami.

I tako život ide dalje, jedni nastavljaju orati brazdu, koju su drugi započeli. Mi, obogaćeni toplinom svojih učitelja, koji su se topili kao svijeća, sve dok se nisu posve pretvorili u svjetlost. Ostavivši čak i uputu i blagoslov za dalje, kako nam u pismu iz 1997. piše profesor Lopašić:

»Blizu je Božić, pa vam svima želim da bude SRETAN i BLAGOSLOVLJEN. Da donesete mnogo zadovoljstva i vašim obiteljima, a i onoj omladini koju vi obrazujete i odgajate uz nesebičan trud i u radosti, da im možete pomoći da u svojim životima idu dobrim putovima. Nemojte nikada klonuti u svom plemenitom nastojanju. To će vam vaši odgajanci u zahvalnosti uzvratiti. To vam svjedoči stari profa, koji potpisuje ovo pismo«.

Hvala Vam, dragi profesore!

Zijad Haznadar⁴⁹

POŠTOVANJE, PRIJATELJSTVO I RECENZIJA

Profesora Vatroslava Lopašića prvi sam put vidio i slušao kao student prve godine na predavanjima iz Fizike na Tehničkom fakultetu u Zagrebu školske 1954./55. godine. Bio je to poseban doživljaj za mene mladog brucosa. Predavanja su bila veoma zanimljiva i popraćena živopisnim pokusima. Otvarala su nama, budućim inženjerima raznih struka tehnike, nove poglede na fiziku koja je temelj svih primjenjenih tehničkih znanosti. Satnica predavanja bila je osebujna, za ono doba uobičajena, u šest sati ujutro, no meni kao i velikoj većini studenata, nije smetalo buđenje u cik zore. Predavao je profesor Vatroslav Lopašić, koji nas je impresionirao ne samo svojom imponozantnom pojavom, već i svojim ogromnim znanjem.

Mnogo godina poslije, kao iskusan profesor, shvatio sam svu izvrsnost i pravo značenje predavanja prof. Lopašića. Njegova predavanja iz fizike ne samo da su bila najljepša koja sam ikad slušao, nego su sadržavala i duboke zasade temeljnih principa prirodoslovnih znanosti. Plijenila su jednostavnošću i razumljivošću približavajući nam tu *tešku* znanost i otvarala nam nove spoznaje koje smo s radošću usvajali. Uvjeren sam da su mnoge generacije inženjera tehničkih struka ne samo diljem Hrvatske, već i susjednih zemalja, ostale zahvalne prof. Lopašiću, svojem velikom učitelju.

Moj prvi neposredni susret s prof. Lopašićem zbilo se ujesen 1956. godine. U Ankaranu se održavao sastanak o reformi nastave i nastavnih programa. Sudjelovali su profesori

Elektrotehničkih fakulteta iz Zagreba, Ljubljane i Beograda, a ja sam bio predstavnik studenata. Rano sam se probudio, oko četiri ujutro, i šetao se krasnim parkom odmarališta u kojem smo bili smješteni. I na moje veliko iznenađenje u jutarnjoj šetnji susreo sam prof. Lopašića. Stao je i obratio se primjedbama o ljepoti prirode u ranu zoru, a onda nenadano me upitao gdje sam rođen. Odgovorio sam da sam rođen u Banjoj Luci, gdje su i moji korijeni. Prof. Lopašić nasmejao se i rekao da smo obojica porijeklom iz Bosne. Njegovi su predci iz Jajca, a prije dvjesta godina preselili su se u mjesto nazvano po njima Bosanci, nedaleko Karlovca. Tako je prošao naš prvi susret, koji je igrom slučaja, prerastao u naše dugogodišnje prijateljstvo, a profesor je za mene bio poput drugog oca.

Godine 1979., kada je objavio svoja *Predavanja iz fizike*, osjećao sam se počašćenim kada mi je među prvima, poklonio svoju knjigu s posvetom. Knjigu i danas čuvam i uvijek kada ju uzmem u ruke sjetim se njegovih predavanja. Kada sam pak s prof. Željkom Stihom 1997. objavio monografiju *Elektromagnetizam*, najiscrpnije i najpreciznije primjedbe iznio mi je upravo prof. Lopašić.

Kada je prof. Lopašić umirovljen i rijetko je dolazio na fakultet, posjećivao sam ga u njegovu domu u Vinkovičevoj. Posebne prigode bile su Božić i Nova godina. Uz šalicu kave i konjak Courvoisier znali smo satima raspravljati o najrazličitijim temama. Bio je pravi užitak s profesorom razgovarati ne samo o fizici, nego i o povijesti, filozofiji, religiji, o smislu života.

Naši susreti i prijateljstvo trajali su doslovno do zadnjih dana ovozemaljskog života prof. Lopašića. Kad je bio u Zajčevoj bolni-

⁴⁹ Akademik Akademije znanosti i umjetnosti Bosne i Hercegovine, profesor emeritus Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.



Sl. 11.28.: *Profesor Lopašić i profesor Zijad Haznedar*

ci, brinuo sam o njemu, i pomogao dragoj profesorovoj supruzi gospođi Tereziji. Posjećivao sam ga svaki dan dva puta. Ujutro

Josip Ivasić⁴¹

TEČEK SLAVKO

Profesora Vatroslava Lopašića zvali smo jednostavno *teček Slavko*. Od najranijeg djetinjstva pamtim njegove zanimljive priče. Često bih s ocem odlazio u posjete teti i tečku, a posebno na tečkov rođendan ili imendan. Stanovali smo samo nekoliko ulica dalje. Rado smo se u obiteljskom krugu sastajali i u veselju s tečekom proslavili. Imamo i lijepu fotografiju s tečkovog devedesetog rođendana. Na slici stojimo pokraj tečeka, moja supruža Jasna i kći Sara. To nam je vrlo draga uspomena.

Uvijek bih se radovao susretu s njim. Svaki bi me put iznenadio nečim novim, nekom novom pričom, volio se šaliti. Pamtim priče iz svijeta fizike i matematike, ispričane

sam mu donosio crni čaj – Earl Gray (koji je volio). Nije smio biti spravljen iz filter-skih vrećica, već iz rinfuze. Poslije podne ponovno bih ga posjetio. Iako ozbiljno narušena zdravlja, volio je razgovarati, koliko mu je snaga dopuštala.

Dojmljiv i nezaboravan ostao mi je u sjećanju naš posljednji susret u domu u Petruševcu. Kasno navečer, hladne i mračne zimske noći, oko osam, posjetio sam prof. Lopašića. Ležao je u krevetu gotovo nepokretan i nemoćan, no ipak, drago mu je bilo što sam s njim i što razgovaramo. Na odlasku profesor mi je mirno i pribrano rekao: »Zijade, ja Ti odlazim«. I zaista, te noći otišao je taj veliki čovjek i moj učitelj u *beskonačnost* kako je govorio.

primjereno dobi jednog dječaka. Te se priče ostale duboko utisnute u moje pamćenje.

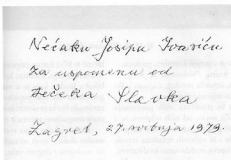
Negdje koncem mojeg srednjoškolskog obrazovanja dobio sam na poklon knjigu *Predavanja iz fizike* (Školska knjiga, Zagreb, 1979.) te je na prvoj stranici napisao: »Nećaku Josipu Ivasiću za uspomenu od tečeka Slavka, Zagreb 27. svibnja 1979.«. To je, vjerojatno, odredilo daljnji tijek mojeg života. Upisao sam se na studij elektrotehnike na zagrebačkom Sveučilištu, a u travnju 1984. godine diplomirao.

Bio je vrstan profesor, među studentima je slovio kao strog, ali pravedan profesor. Predavanja su mu bila vrlo posjećena jer je izvodio pokuse i na temelju njih zakonitosti i jednadžbe. U svojim predavanjima nije rabio tuđice. Predavanja, skripte i knjige bile su pozemlja hrvatskog književnog jezika. Nažalost, u vremenu kad sam ja studirao na ETF-u nro-

⁴¹ Magistar inženjer elektrotehnike, profesor na Elektrotehničkoj školi u Zagrebu; nećak supruge prof. Lopašića.



Sl. 11.29.: Proslava devedesetog rođendana profesora Lopaišića, od lijeva na desno: Josip Ivačić (nećak supruge profesora Lopaišića, prof. Lopaišić mu je krsni kum), prof. Lopaišić, supruga prof. Lopaišića Terezija, supruga Josipa Ivačića Ivana i kći Sara



Sl. 11.30.: Posveta profesora Lopaišića Josipu Ivačiću, nećaku svoje supruge, na udžbeniku Predavanja iz fizike

fesor je bio pri kraju svog radnog vijeka i radio je smanjenim intenzitetom. U mojem indeksu još stoje potpisi profesora Vatroslava Lopaišića iz kolegija *Fizika I* i *Fizika II*, premda već sada nominalno izbljeđili.

Danas, kada ga više nema među nama, često se sjetim tih predavanja, te koliko je žara i srčanosti objašnjavao studentima zakonitosti fizike. Često bi u svoja predavanja ubacivao anegdote i priče uz oduševljenje i odobravanje



Sl. 11.31.: Panorama Kraljeva

studenata. Bio je cijenjen i omiljen profesor.

U svojoj knjizi *Predavanja iz fizike*, u predgovoru je, između ostalog, napisao i dio o svojim predavanjima i pokušima:

«Osnovna bi struktura ovih predavanja bila ovakva. Za svako od njih odaberu se i slože prikladni pokusi, zatim se oni na predavanju izvedu i iz njihovih rezultata izvode se zaključci – isprva možda samo kvalitativni, no, što je prije moguće, i kvantitativni, u obliku fizikalnih zakona. Pri tome fizikalni zakon izlazi kao sažetak našeg iskustva. Zato su pokusi koje studenti na predavanjima dožive osnova i izvorište svega što se izlaže – oni su bitni i integralni dio ovih predavanja.»

Sjećam se kako je sjedio u svojoj omiljenoj fotelji i rješavao matematičke zadatke i pro-

bleme te bi sa žarom pripovijedao, objašnjavao tražeći rješenja. Pamtim kako je rješavao Rubikovu kocku, koja je u ranim osamdesetim godinama bila vrlo popularna. Profesora nije zanimalo što brže složiti kocku, njega je zanimala mogućnost putova k rješenju.

Pamtim kako je na tranzistorskom prijemu slusao vijesti stranih radijskih postaja na srednjem i dugom valu. Bavio se i glagoljicom, nama djeci objašnjavao je to za nas vrlo neobično pismo. Bio je istinski i praktični vjernik. Nama mladima bio je podrška i ohrabrenje.

Vrlo često, kad sa svojom obitelji posjetim očev grob na Mirogoju, navratimo i na tečakov grob, zapalimo svijeću i pomolimo se. Njegov će mi lik i dobrotu ostati u trajnom sjećanju.

Josip Ivašić⁴², supruga Anđelka te djeca Valentina, Martina i Josip iz Krašića

TEČEK SLAVKO, STEPINAC I KRAŠIĆ

Od srca pišemo lijepa sjećanja na našeg dragog tečeka, prof. dr. sc. Vatroslava Lopašića. Kako naši roditelji nisu više živi, mi ćemo

Tečeku nije bilo ništa daleko ni strano kad se s tetom Rezikom vjenčao. Kada bi došli na više dana, prošetali bi se Krašićem da ga te-



Sl. 11. 32.: Krašić (lijevo je župska crkva)

svoja sjećanja na tečeka napisati i u njihovo ime.

U vrijeme našeg djetinstva kao i poslije, teček i teta s rado dolazili k nama u Krašić u tetin rodni kraj i rodnu kuću te bi ostajali po nekoliko dana. Znalo se dogoditi da bi teta Rezika došla sama u Krašić, jer je teček bio na putu, a mi bismo odmah pitali kada će i on doći.

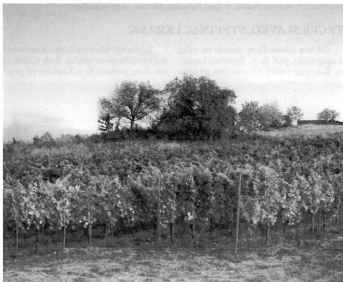
Sjećamo se kako je teček pričao o njegovom ocu Jeronimu koji je 1893. godine bio sudac u Jaski (Jastrebarsko, oko 30 km od Zagreba starom cestom prema Karlovcu); ujedno je bio sudac i za naš Krašić. Tečkov otac i majka Fanika vjenčali su se 1894. godine u Jaski.

ček vidi i bolje upozna. Kako imamo vinograd kraj kapele Sv. Ivana, to je bila lijepa šetnja, ne predaleka. Imamo i fotografiju kako teček u vinogradu reže grožđe »za zobati«. Nije teti i tečeku bila ni predaleka šetnja do dvorca Turković, posebno kada je bio lijep dan i kada se lijep pogled pružao na sve strane. Na žalost, danas dvorac nije što je nekad bio. Sada ima novog vlasnika.

Naši roditelji i mi, cijela familija, od davnine, bili smo privrženi Crkvi i župniku. Kuća nam je blizu krašićke župne crkve te smo pomagali kada je god što trebalo. To nas je uvijek veselilo. Tako je bilo i za svih godina zatočeništva našeg blaženog Alojzija Stepinca, koji je živio u župnom dvoru.

Kada je blaženi Alojzije Stepinac došao u naš Krašić, svi smo bili jako uzbuđeni, ali i

⁴² Vrednoinstaler, ne/ak sumirao prof. Lopašića.



Sl. 11.33.: Obnovljeni vinograd danas

radosni što ćemo ga sada moći čuti i vidjeti. Časna Salezija poučila nas je kako oslovljivati blaženog Alojzija. Rekla je da njega, emanenciju, zovemo »emanencijo«.

Moj otac Josip bio je zadužen da na poziv dođe šišati blaženika, što mu je bila osobita čast i radost. Stric je Vlado biciklom obavljao što je god trebalo, a teta Rezika kada bi sama došla doma, jer je teček bio na putu, donijela bi za »emanenciju« lijepih poklona, pa ga je tako mogla posjetiti i vidjeti. Teta Rezika

znade reći da joj je blagoslov koji je primila od blaženika utjeha u poteškoćama na njezinu životnom putu. Od blaženika je dobila lijepu krunicu. Tom krunicom, kada je teček umro, ovijene su mu ruke. Tečekova je mati sačuvala krsnu košuljicu, bio je običaj da se stavi na pokojnika te je i tečku ta košuljica stavljena na prsa. Tako je naš teček otišao iz ove »suzne doline« dragom Bogu u kojeg se za života pozdavao. Ovo je mali spomen na našeg tečeka od nas koji živimo u rodnom kraju i u rodnoj kući naše tete Rezike.

NEČAKINJE O TEČEKU SLAVKU, GOSPODINU U GODINAMA⁴³

Marija Ivasić⁴⁴

Uvijek ga vidim kako sjedi u svojoj fotelji, usporeni i odmjereni kretnji i sa žarom i

tako davne i daleke jer našeg tečeka Slavka uvijek pamtim kao *gospodina u godinama*. Volio je kolače moje mame i uvijek ih po-



Sl. 11.34.: Prof. Lopatić s Marijom Ivasić prilikom proslave 90-og rođendana

lakoćom zaneseno rješava probleme iz fizike i matematike. Nama djeci, koja smo ga rado posjećivala sa svojim tatom Vladom, izgledao je kao dobroćudni div koji nam je pričao zanimljive i duhovite zgode iz svojeg djetinstva i mladosti koje bi nam se činile



Sl. 11.35.: Prof. Lopatić pokopan je u obiteljskoj grobnici na zagrebačkom groblju »Mirogoj«

hvalio. Rado je pričao o svemu, a najradije o svojoj staroj i uglednoj obitelji, koja je iznjedrila mnoge generacije uglednih i zaslužnih ljudi svoga vremena kojima su podigli spomenike i po njema nazvali ulice. Njima sada pripada i naš teček Slavko, ne samo po predanom radu u znanosti i za znanost, nego i po svojoj jednostavnosti, dobrodušnosti, poštenju i skromnosti i velikom srcu ljubavi prema Bogu, svojoj Reziki i domovini!

⁴³ Supruga prof. Lopatića imala je sedmero braće i sestara.

⁴⁴ Magistrica farmacije, radi u apoteci u Kliničkoj bolnici »Mirogoj« u Zagrebu.

Katica Puzek⁴⁵

Teček Slavko bio je čovjek vjere, vedra duha, zračio je mirom i dobroćudnošću. Za vrijeme svojeg života primio je mnoga priznanja za svoj znanstveni rad, posebice: Zlatnu plaketu »Josip Lončar« Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu i Orden rada sa zlatnim vijencem. Rado je dolazio u Krašić. Volio je šetnje u prirodi. Veselili smo se kada su nas u našem domu posjetili teta Rezika i teček Slavko. Plemenit lik našeg dragog tečeka ostao nam je u lijepoj uspomeni i sjećanju.

Ana Tučkar⁴⁶

Nakon završene osnovne škole teta i teček primili su me u svoj dom. Bila mi je posebna čast doći u dom tete i tečeka. Povod mog dolaska bilo je moje daljnje školovanje. Teta i teček bili su mi drugi roditelji, preuzeli su svu brigu i pažnju prema meni i omogućili mi da završim srednju školu.

Teček Slavko bio je plemenita roda, posebno dragi, dobri, vedra duha, veseli gospodin puno cijenjen od svih nas u rodbini i od moje obitelji. Rado ga se sjećam. Često posjećujem njegov grob na Mirogoju.

S tetom sam povezana, pomoć sam joj kada nešto zatreba. Posebno mi je drago da mi je dana mogućnost da se i moj spomen, lijepo sjećanje mene i moje obitelji u znak zahvalnosti nađe u spomenici našeg dragog tečeka Slavka.

Anica Zadro⁴⁷

Svi smo tečeka volili i poštovali, a i dobre savjete slušali. Sjećam se kada sam pjevala u Crkvi sv. Petra u zboru Kefa. Katolički radio, kojeg je teček slušao, dao je da



Sl. 11.36: Anica Zadro sa svoja dva sina Filipom i Jakovom, prof. Lopašić je Anici krini kum



Sl. 11.37: Katica Puzek, Ana Tučkar, Tereza Vlatić, Štefica Žalac.

⁴⁵ Radnica u tvornici »Šimečki« u Pribiću (kraj Krašića), u mirovini.

⁴⁶ Zdravstveni tehničar laboratorijskog smjera, radi u Krašićkoj bolnici »Markusa« u Zagrebu.

⁴⁷ Odgajateljica predškolske dobi, radi u Dječjem vrtiću »Različka« u Zagrebu.

se iz našeg zbora pjeva nekoliko pjesama.

Tako su mene izabrali da pjevam. To je na tečeka i tetu Reziku ugodno djelovalo. Uvijek su mi potvrdili da su me slušali, kako im je bilo drago čuti, svak svoje rado sluša.

Kad pohodim grob moga tate Vlade, onda pohodim i tečkov grob, zapalim lampas i pomolim se. Tako našeg tečeka imamo u lijepim spomenima i ne zaboravljamo ga.

Tereza Vlašić⁴⁸

Uvijek smo željeli biti više s našim dragim tečekom (kako smo ga od milja zvali) i slušali ga kao i svi ostali u familiji. Vremena za to je uvijek bilo premalo.

Dok je još bio mladi i u punoj snazi, dolazio je u Karlovac na grobove svojih. Umjesto njega to sad činimo moja obitelj i ja. Na groblju u Karlovcu ima više pokojnih članova obitelji Lopašić: jedan je grob Slobodina Lopašića sa suprugom Dragojlom, a drugi je grobnica obitelji Lopašić. Još u karlovačkom parku jest i spomenik Radoslavu Lopašiću izrađen mo-

začnom tehnikom. Svi su pod zaštitom grada Karlovca kao kulturni spomenici.

Da bih očuvala dragu uspomenu na tečeka Slavka, više puta na godinu odem na grobove, zapalim svijeće i pomolim se za njihove duše. Kada je teta nakon tečkov smrti ostala sama, kada joj treba kakva pomoć, rado joj priskočim jer znam kako bi se teček radovao videći da se međusobno pomažemo; volio je obitelj.

Štefica Žalac⁴⁹

Kada je mogao, rado je došao k nama u Krašić. Bilo nam je lijepo vidjeti ga raspoložena među nama. Nama je bila čast da smo mogli lijepe stvari od njega čuti i naučiti. Posebno je bio drag i blage naravi. Takva smo svi voljeli i on nas. Svima je rado pomagao. Bio je teček plemenit i dobar čovjek. Svu njegovu dobrotu ne možemo zaboraviti.

Ove godine ima teček stoti rođendan, za tu priliku i proslavu imat ćemo napisanu vrijednu Spomenicu. Tako ćemo još bolje sve vidjeti i čitati. Uvijek će biti s nama u lijepim sjećanjima.



Sl. 11.38: Josip Ivanić iz Krašića i kćerka Valentina.

⁴⁸ Trgovkinja u Karlovcu.

⁴⁹ Radnica u tvornici »Šimečki« u Pribiću (kraj

Virovitice) u mirovinskoj.

Terezija-Rezika, supruga

NEZABORAVAN SUPRUG



Sl. 11.39.: Terezija Lopatić rođ. Ivsić

Dragi Slavko, rado ti dajemo u spomen tvojoj knjizi sve što nas povezuje za života i iza smrti. To su bile blage uspomene i lijepo proživljeni dani. Kada te Gospodin pozvao u Dom vječnoga života, ostavio si naš dom bogat lijepih sjećanja svega što nam je život dao. Meni sada, kada tebe nema, lijepa sjećanja na tebe olakšavaju moje umorne i teške dane. Smrt nije kraj života, i dalje osjećam tvoju pomoć i blizinu. tvoja čvrsta vjera u Boga i tvoj svijetao lik pomaže mi da nađem dobri put za život.

Prepisat ću iz članka jedne poštovane gospođe, iz *Vesternjeg lista* (prilog Ekran) od 7. prosinca 2006. godine. Ona piše: »Moja ljubav nije se ništa smanjila, sva mi sjećanja daju da ga još više volim.« To je napisala petnaest godina nakon smrti svojega supruga. Kažu da vrijeme liječi sve rane jer čak i kad nema rane ostaje ožiljak. Napisala je: »Tužna sam kad vidim kako ljudi žive bez međusobne ljubavi

i poštovanja.« Tih izvanrednih redaka, dragi Slavko, mogu i ja s tobom podijeliti. Kažu da takve vrijednosti za život razumiju oni koji su temeljne osjećaje poput poštovanja, odanosti i ljubavi ponijeli već iz roditeljskog doma.

Rado ću napisati u spomen tvojoj knjizi tvoje drage roditelje Jeronima, Faniku i braću tvoju i tetu Slavu. Kako su tvoji roditelji radosno primali savjete iz obiteljskog doma, bratić tvojega oca Jeronima kada si imao samo tri godine, napisao je u pismu tvojemu ocu: »Pametno odgojioj sina Slavka. Odgoji ga



Sl. 11.40.: Slavko sa suprugom Rezikom u kraljevoj nošnji



Sl. 11.41.: Slavko sa suprugom Rezikom prilikom proslave 90-og rođendana



Sl. 11.42.: Rodna kuća supruge profesora Lopaičića, Terezije Ivarić, u Kraljevu.

da bude imao značaja, ponosa i poštenja, bez moralne podloge nema života.» Tako su brinuli o tebi od malena. Ti si to uzvraćao velikom pažnjom i ljubavlju. To su bile najveće vrijednosti u tvome životu koje si svim srcem utkao u svoj život i takav si se darivao voljenim studentima i svojoj domovini Hrvatskoj.

A sada da ne zaboravimo tvoju djedovinu, koji su svojim radom i služenjem njih šestero zapisani u velikoj hrvatskoj knjizi *Znameniti i zaslužni Hrvati*. Četvero braće tvoga djeda i dvije žene. I ti si jedan od njih, takva te poznajemo i volimo.

Završit ću mislima na Tebe svakog dana kakve su bile Tvoje zadnje riječi u molitvi, a molio si se dragom Bogu sabrano i pobožno. Kad je došla pjesma *Bože, čuvaj Hrvatsku*, svaki si dan na kraju molitve molio »Bože, čuvaj Hrvatsku«. Zato za sve to bogato i lijepo zahvaljujem dragom Bogu, Majci Božjoj i Tebi dragi Slavko.

Tebe i sve Tvoje uz zahvalnost za sve, vas zaboraviti ne ću!

Supruga Terezija

12. OBJAVLJENI RADOVI PROFESORA LOPAŠIĆA

UDŽBENICI¹

Vatroslav Lopašić: *Predavanja iz fizike*, I dio, I izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1956.²

Vatroslav Lopašić: *Predavanja iz fizike*, I dio, V izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1966.

Vatroslav Lopašić, Višnja Henč-Bartolić, Vesna Kos.: *Predavanja iz fizike*, I dio, novo prerađeno izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički fakultet – Zagreb, Zagreb, 1985.

Vatroslav Lopašić: *Predavanja iz fizike*, II. dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1959.

Vatroslav Lopašić: *Predavanja iz fizike*, III dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1962.

Vatroslav Lopašić, Višnja Henč-Bartolić: *Predavanja iz fizike*, IV dio, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički fakultet – Zagreb, Zagreb, 1976.

Vatroslav Lopašić, Višnja Henč-Bartolić: *Predavanja iz fizike*, IV dio, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički fakultet – Zagreb, Zagreb, 1986.

Vatroslav Lopašić: *Predavanja iz fizike: Elektromagnetsko polje*, Školska knjiga, Zagreb, 1979.

Vatroslav Lopašić, Vesna Kos, Višnja Henč-Bartolić: *Mjere i mjerenja u fizici*, drugo prerađeno i dopunjeno izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Elektrotehnički fakultet – Zagreb, Zagreb, 1981.

¹ Nije se moglo ustanoviti koliko je bilo izdanja pojedinih dijelova skriptata. Tiskalo se prema potrebama studenata.

² Prve skripte iz *Opće fizike* na Sveučilištu u Zagrebu.

ČLANCI

- [1] Lopašić V.: *Ultrazvučni interferometar s promjenljivom frekvencijom*, Rad JAZU 263 (82), Zagreb 1938, str. 55–94
- [2] Lopašić V.: *Ultraschallinterferometer mit veränderlicher Frequenz*, Bull. Int. Acad. Youg. XXXII. (1939), str. 1–18
- [3] Lopašić V.: *Kako sam izveo Seibtove pokuse*, Nastavni vjesnik, knjiga XLIX (1940), str. 1–8
- [4] Lopašić V.: *Kristali koji zvuče*, Priroda 30(1940), str. 208–215
- [5] Lopašić V.: *Ulazni i oscilatorni krug modernog supera*, Radio – časopis za amatere i tehničare, 2(1946)6, str. 177–181
- [6] Lopašić V.: *Maleni katodni oscilograf*, Radio – časopis za amatere i tehničare, 2(1946)11, str. 332–339
- [7] Lopašić V. (suradnici: Weisglass H. i Čeljuska Lj.): *Die Gewinnung einiger Antigene mittels Ultraschall*, Schweiz. Zft. Path. Bakt. 15(1952), str. 322–330
- [8] Lopašić V. i Janković Z.: *Jedan pokus s fizikalnim njihalom*, Glasnik mat.fiz. i astr. 1(1946)4, str.145–167
- [9] Lopašić V.: *The Electromagnetic Catenary*, Glasnik mat.fiz. i astr. 10(1955), str. 189–193
- [10] Lopašić V. (i sur. Weisglass, Čeljuska Lj.): *A Note on the Wire Loop Method for Locating the Median Plane in a Cyclotron Magnet*, Glasnik mat.fiz. i astr. II. 10(1955)3, str. 195–198
- [11] Lopašić V.: *Međunarodna temperaturna skala*, Automatizacija (1965), str. 199–203
- [12] Lopašić V.: *En u otkrivenju*, Bogoslovska smotra, vol. 57(1987), str. 32–40
- [13] Lopašić V.: *Bilješke uz pjesmu Branka Benzie* (<http://www.croatianhistory.net/etf/lop.html>)
- [14] Lopašić V.: *Od smrti ne strit* (latinicom), *ljudi umiru – misli ostaju* (glagoljicom), pogovor u knjizi: Branko Benzia »Kraj refula«, Senia, Društvo Senjana i prijatelja Senja u Rijeci, Rijeka 1995.–96.)
- [15] Lopašić V.: *Uvreda jeziku i domovini*, Večernji list, 2. veljače 1992.
- [16] Lopašić V.: *Uvreda jeziku i domovini*, Mjeriteljski vjesnik, 1998., sv. 3–4, str. 3248–3252
- [17] Lopašić V.: *Kakav rječnik za živi hrvatski jezik*, Marulić, br. 2, 2005., str. 358–361
- [18] Lopašić V.: *Redendanska čestitka Vojislavu Begi*, Mjeriteljski vjesnik, god. 18, br. 1–2, rujan 2000., str. 3562–3563

NATUKNICE U HRVATSKOJ ENCIKLOPEDIJI (V. SVEZAK, 1945)

- [1] Dulong-Petitovo pravilo, str. 422–423
- [2] Električne jedinice, str. 687–690
- [3] Elektron, str. 708–712

ZADACI IZ MATEMATIKE U RUBRICI „NAGRADNI NATJEČAJ“ U MATEMATIČKO-FIZIČKOM LISTU (MFL)

- [1] Lopasić V.: *Tajna poruka »Mala igra znamenkama i slovima«*, MFL (1992/93) br. 2/171, zad. br. 122. Rješenje objavljeno u MFL (1993/94) br. 1/173
- [2] Lopasić V.: *Primbrojevi i kvadrati*, MFL (1994/95) br. 4/180, zad. br. 131. Rješenje objavljeno u MFL (1995/96) br. 2/182
- [3] Lopasić V.: *Blizanci*, MFL (1995/96) br. 4/184, zad. br. 135. Rješenje objavljeno u MFL (1996/97) br. 2/186
- [4] Lopasić V.: *Četvorci susjeda*, MFL (1996/97) br. 4/188, zad. br. 139. Rješenje objavljeno u MFL (1997/98) br. 2/190

ZADACI U GLASNIKU MATEMATIČKO-FIZIČKOM I ASTRONOMSKOM

- [1] Lopasić V.: Glasnik matematičko-fizički i astronomski, serija I., T.1 (sv. 1), Zagreb 1946., zadatak br. 23 (matematički zadatak) na str. 138 i zadatak br. 31 na str. 139
- [2] Lopasić V.: Glasnik matematičko-fizički i astronomski, serija I., T.2 (sv. 2), Zagreb 1947., rješenje zadatka br. 23 (matematički zadatak) na str. 192 i rješenje zadatka 31 na str. 242–243.

MATEMATIČKE KRIŽALJKE U ČASOPISU *LISTENER*

Lopasić V.: Crossword by Slavko: Crossword No. 2421 (1973), No. 2362 (1975), No. 2421 (1977), *The Listener* (tjednik objavljuje BBC) Bače, Mile; 263, 264

KAZALO IMENA

- Balenović, Krešimir; 331
 Bego, Vojislav; 21, 316, 378
 Benčić, Zvonko; 348, 370, 377
 Benzia, Branko; 200, 223, 231
 Bergman, Zlatko; 360
 Bistričić, Lahorija; 264, 268, 348
 Blanuša, Danilo; 19, 21, 354
 Bolle, Herman; 335
 Bonaventura, Duda; 324, 333
 Borjanović, Vesna; 268
 Bosanac, Tomo; 19
 Božičević, Juraj; 312, 362
 Brčić, Ivo; 44
 Budin, Leo; 347, 360, 364, 383
 Budin, Rajka; 360, 383
 Butković, Davor; 383
 Cerovac, Krešimir; 323
 Čindrić, Mile; 334
 Čindro, Nikola; 264
 Coffou, Melita; 388
 Colić, Petar; 264
 Čeljuska, Ljudevit; 26, 103, 104, 152,
 251, 355, 360–361, 388
 Deduš, Vladimir; 331
 Devidé, Vladimir; 354
 Dobrilović Magdalena; 1
 Dolenc, Antun; 21
 Domitrović, Hrvoje; 348
 Dugan, Franjo Stariji; 334
 Dvořák, Vinko; 6, 7, 248, 333
 Erdeljaz Franjica; 1
 Essert, Mario; 314, 398
 Fučić, Branko; 200
 Galić, Radoslav; 347
 Gjumbir, Marijana; 388
 Gjurić, Tomislav; 263, 357, 360, 373, 379
 Glaser, Vladimir; 43
 Glumac, Vladimir; 331
 Gospodnetić, Draško; 251, 256, 354–356,
 361, 376, 378
 Gračanin, Mihovil; 345
 Grdenić, Drago; 19
 Grdenić, Drago; 331
 Gregorina, Zvezdana; 45, 347, 352
 Gregurić, Miroslav; 46
 Grgić, Mislav; 348
 Grillec, Josip; 332
 Hanžek, Branko; 97, 323, 332, 333, 345, 350
 Hanjš, Željko; 201
 Havliček, Franjo; 25, 250, 261, 331
 Haznadar, Zijad; 401
 Heidl, Ivo; 383
 Henč-Bartolić, Višnja; 45, 46, 245, 263,
 332, 337, 348, 352, 360

- Herman, Krešimir T.; 259, 374
 Hondl, Stanko; 6, 7, 16, 43, 44, 90, 273, 326, 333, 352
 Horvat, Dubravko; 264, 268
 Hrisoho, Aleksandar; 45
 Hruš, Antun; 19
 Hrvoić, Ivan; 44
 Ilakovac, Ksenofont; 387
 Ilić, Ivan; 383, 385
 Ivanković, Svetozar; 45
 Ivasić, Josip (Krašić); 405, 409
 Ivasić, Josip (Zagreb); 402
 Ivasić, Marija; 407
 Ivasić, Valentina; 409
 Jakobović, Zvonimir; 273, 347
 Janković, Zlatko; 103, 161
 Jelaković, Tihomil; 45
 Jelenković, Leonard; 367
 Jovičić, Svetozar; 46
 Jurišić, Vanda; 352
 Jurković, Berislav; 21
 Juzbašić, Borislav; 46
 Karas, Vjekoslav; 4
 Katalinić, Marin; 22
 Katalinić, Marin; 90, 92, 333
 Kempni, Karlo; 28
 Kerleta; 360
 Kirkov, Panče; 45
 Klasić, Krešo; 360
 Klasinc, Leo; 360
 Knapp, Vladimir; 261, 263
 Kolić, Milan; 46
 Kos, Mladen; 324, 333
 Kos, Vesna; 26, 45, 46, 263, 360, 388–389
 Krišković, Dubravka; 360
 Krivačić, Elza; 263, 357, 360
 Krivačić, Pavao; 251, 263, 357, 360
 Krivačić, Rajka; v. Budin, Rajka
 Krivačić, Zoran; 381
 Krsnik, Kata; 263, 360, 388
 Krsnik, Vilko; 360
 Kulišić, Petar; 263, 264, 265
 Kuljiš, Mirko; 45
 Kurepa, Duro; 43
 Kviz, Boris; 45
 Leontić, Boran; 27
 Lisac, Tomislav; 251
 Lončar, Josip; 19, 331
 Lopasić Imbro (Mirko); 1
 Lopasić Mihajlo; 1
 Lopasić, Aleksandar Zvonimir; 5
 Lopasić, Dušan; 2
 Lopasić, Jeronim; 2, 4, 8
 Lopasić, Ladislav; 1, 46
 Lopasić, Radoslav, 1, 5
 Lopasić, Stjepko Ljuboje; 1, 4
 Lopasić, Terezija; 403, 410–411
 Lopasići, rodoslovno stablo; 3
 Mach, Ernst; 6
 Marković, Željko; 19, 331
 Martinjak, Milica; 263
 Matković, Vladimir; 20, 21
 Matutinović, Želimir; 46
 Mayer, Dragutin; 43
 Metzger, Božo; 18, 28, 43, 44
 Mihalek, Ernest; 372
 Mikulin, Mladen; 347
 Milatović, Borislav; 46
 Milin, Svetko; 259, 374
 Miljan, Iva; 360
 Mohorovičić, Andrija; 6
 Mollinary Vranyczany; Josephine; 6
 Mornar, Vedran; 347
 Mršić, Zdravko; 322, 370, 394
 Muljević, Vladimir; 21, 321, 331, 332, 363
 Naglić, Vladimir; 367
 Ogrizović, Bogdan; 335

- Paić, Mladen; 19, 27, 44, 250, 331
Pejnović, Dušan; 18, 43, 90, 92
Perceć, Ivica; 362
Perić, Nedjeljko; 347, 348
Peruško, Uroš; 21, 45, 347
Petković, Ivo; 19
Petković, Tomislav; 263, 264, 313, 338, 340, 341
Petrinović, Davor; 348
Petrinović, Marko; 45, 360
Pevac, Dubravko; 264, 327
Pichler, Tomislav; 370
Plavčić, Željko; 378
Plotnikov, Ivan; 261, 331, 333
Polaček, Fanika; 2, 4, 8
Polić, Ladislav; 1, 46
Požar, Hrvoje; 19, 21
Puklin, Javorka; 360
Puzek, Katica; 408
Radeka, Veljko; 45, 343
Rebić, Pavao; 376
Reljić, 370
Rendić, Ivan; 5
Rogić, Ivan; 303
Rožić, Krsto; 370
Salcher, Peter; 6
Sedlaček, Miroslav; 44, 45, 250, 251, 343, 356, 361, 378
Sirotić, Zvonimir; 21
Slapničar, Petar; 45
Sljepčević, Adica; 45
Smoldaka, Hranko; 19
Soljačić, Ivo; 344, 395
Somek, Branko; 46
Srdoč, Dušan; 45
Stanković, 360
Stefanini, Božidar; 45
Stepinač, Alojzije; 307, 336, 345
Stjepanek, Ladislav; 334
Strilić, v. Sztrilich, Ivan-Pál
Stupnišek, Mladen; 389
Supek, Ivan; 19, 27, 331, 383
Szawitz-Nossan, Oliver; 45
Sztrilich, Ivan-Pál; 44, 251, 324, 391
Šantić, Ante; 21
Šolc, Aleksandar, 44, 315, 337, 348, 382
Šteler, Željko; 360
Štih, Željko; 401
Štimac, Tihomir; 46
Šubat, Drago; 347, 360, 397
Švarc, Đuro; 45
Tadić, Dubravko; 27, 335
Trajbar-Benčić, Ljubica; 351
Trinajstić, Nenad; 383
Tučkar, Ana; 347, 408
Turk, Stanko; 343
Ujević, Mate; 263
Uvanović, Danijel; 92
Veselić, Đurđa; 263, 381
Vlašić, Pavao (Pavel); 263, 356–357
Vlašić, Tereza; 408–409
Vojvodić, Vlaho; 45
Vrkljan, Vladimir, 43, 333
Vuković, Ante; 19
Weber, Karlo; 261
Wolf, Radenko; 20, 21
Zadravec, Renata; 263
Zadro, Anica; 408
Žalac, Štefica; 408–409
Živko, Tomi; 338
Žubrinčić, Darko; 199, 331, 347, 377

Nakladnik
KIKLOS – KRUG KNJIGE d.o.o.
Jurjevska 20, 10000 Zagreb
Tel. 385 1 4668204

