

Ruđer Bošković kao izumitelj znanstvenih instrumenata

Stipe Kutleša

Uvod

- Ruđer Bošković - najpoznatiji po svojoj **teoriji prirodne filozofije** koja izlaže zakon sila i strukturu tvari u području mikrosvijeta.
- **Isključivo filozofijska teorija** - u to doba nije još uvijek postojala eksperimentalna znanost o mikrosvijetu. Svoje zaključke Bošković nije izveo na temelju nekih eksperimenata nego prvenstveno i isključivo na temelju ispravnog razmišljanja (recta ratiotinatio) polazeći od načela mišljenja.
- Ali Bošković nije bio samo filozof prirode nego i znanstvenik – teoretičar i praktičar: **astronomija, optika, geoznanosti, matematika**, ali se pozabavio i drugim **praktičnim problemima**. Nije samo stvarao teorije o prirodnim fenomenima nego je **provodio eksperimente**.
- Boškovićeva praktična djelatnost u znanosti - **instrumenti** koji su se koristili u astronomiji, optici, geodeziji.
- Nesavršenost i nedostatak postojećih instrumenata - poboljšanja, konstrukcija i novih instrumenata.

Boškovićeve istraživanja u astronomiji, optici i geoznanostima

- Prve Boškovićeve objavljene **rasprave su iz astronomije**: pitanja Sunčevih pjega, prolaska Merkura i Venere ispred Sunca, sjeverne zore, određivanja staza kometa, planeta, perturbacije Saturna i Jupitera, struktura Saturnova prstena, postojanje Mjesečeve i Sunčeve atmosfere i dr.
- **Teorijska optika**: pitanje prirode svjetlosti (*De lumine, Theoria*), rasprostiranje svjetlosti, gustoća svjetlosti (*Dissertatione della tenuità delle luce Solare - Rasprava o rjetkoći Sunčeve svjetlosti*, 1747).
- Prvi objavio **zakon rasvjete** (prije 1752), ali se on naziva Lambertov zakon rasvjete (1760).

Boškovićeva istraživanja u astronomiji, optici i geoznanostima

- U 18. st. jedan od najvažnijih znanstvenih problema bio je problem određivanja **oblika i veličine Zemlje**.
- Na **zvjezdarnici u Breri** kraj Milana, za čije je osnivanje najzaslužniji Bošković, koji je izradio projekt, dijelom financirao izgradnju zvjezdarnice vlastitim financijskim sredstvima, opremio zvjezdarnicu astronomskim instrumentima, napravio plan rada na zvjezdarnici, izvedena su opažanja pomrčine Sunca, Mjeseca, Jupiterovih satelita, opažanja kometa i dr.

Boškovićeve istraživanja u astronomiji, optici i geoznanostima

- Praktična optika: važan prinos istraživanju leća i njihovih pogrešaka, što je bilo važno za poboljšanje astronomskih instrumenata.
- Među prvim Boškovićevim raspravama nalaze se i one o obliku Zemlje: *De veterum argumentis pro Telluris spaericitate* - O argumentima starih za kuglasti oblik Zemlje, 1739; *Dissertatio de Telluris figura* - Rasprava o obliku Zemlje, 1739; *De inaequalitate gravitatis in diversis Terrae locis* - O nejednakosti teže na raznim mjestima Zemlje, 1741. Za geodetska istraživanja najvažnije je djelo: *De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam, jussu, et auspiciis Benedicti XIV. Pont. Max. Suscepta a Patribus Societ Jesu Christophoro Maire et Roggerio Josepho Boscovich* - O znanstvenom putovanju po Papinoj državi što su ga u svrhu mjerenja dvaju meridijanskih stupnjeva i ispravljanja zemljopisne karte poduzeli po nalogu i pod pokroviteljstvom pape Benedikta XIV oci Družbe Isusove *Christophor Maire i Ruđer Josip Bošković* (1755) koje je kasnije objavljeno na francuskom jeziku pod naslovom *Voyage astronomique et géographique dans l'Etat de l'Eglise* - Astronomsko i zemljopisno putovanje po Crkvenoj Državi) (1770).

Korištenje, provjeravanje, usavršavanje i konstrukcija novih instrumenata

- Za astronomska opažanja i mjerenja rabili su se **kvadrant** (za mjerenje kutova) kojeg su zamijenili sekstant i oktant, **dalekozor s mikrometrom** (za određivanje relativnih položaja nebeskih tijela), **sektor** (za određivanje zenitnih daljina zvijezda, **ura njihalica** (za mjerenje vremena; sekundno njihalo može poslužiti za određivanje akceleracije sile teže te tako i za određivanje oblika Zemlje).
- U geodeziji su se za mjerenje daljina upotrebljavale geodetske **mjerne letve** (motke).
- Nepreciznost tadašnjih instrumenata dovodila je do pogrešaka mjerenja. Bošković je pronalazio nove načine mjerenja, dodavao postojećim instrumentima nove detalje tako da je poboljšavao njihovu preciznost. U nekim je slučajevima smislio nove dijelove instrumenta ili konstruirao posve nove kao npr. **geodetski stalak, kružni mikrometar, vitrometar, prizme (Boškovićeve prizme), dalekozor s vodom.**

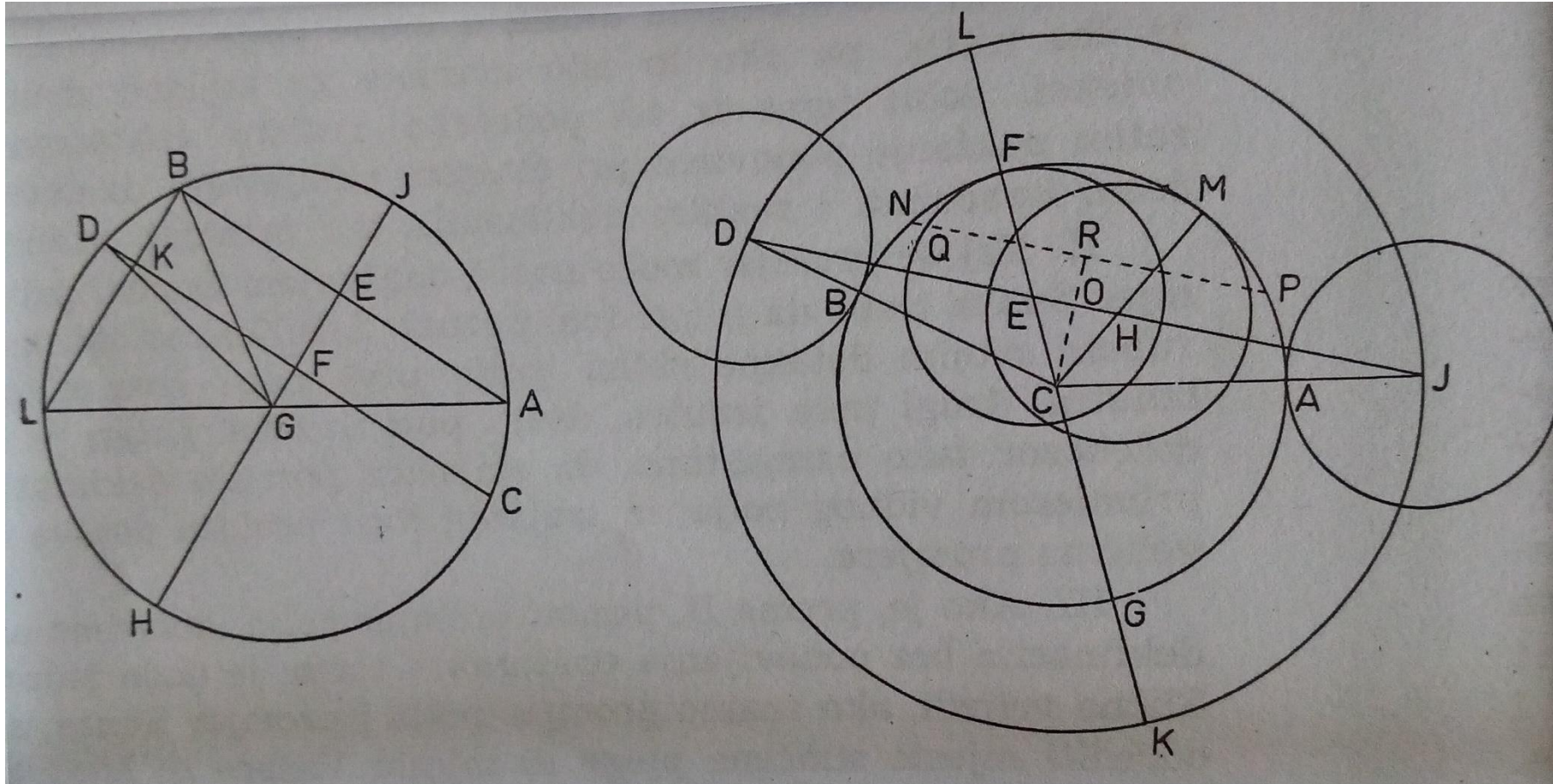
Korištenje, provjeravanje, usavršavanje i konstrukcija novih instrumenata

- Bošković je sustavno ispitivao [pouzdanost astronomskih instrumenata](#), tj. njihovu točnost.
- Zaključak tih istraživanja je da i neprecizan, loš instrument može poslužiti u mjerenjima ali se pritom moraju poznavati njegove [granice pogrešaka](#). Znamo li pogrešku instrumenta onda on može biti pouzdan kao najtočniji instrument.
- Bošković kaže: „Pokušao sam da iznesem metodu kojom bi astronom u svojoj zvjezdarnici mogao sam vidjeti sve i upoznati snagu svojih instrumenata; ...ovdje predložene metode ... neće biti bez koristi za unapređenje novih otkrića. ... Nakon izvršene verifikacije vrijedit će instrument s vrlo pogrešnom diobom jednako kao najbolji. Ali naći granice pogrešaka nije lako. Bošković je uvjeren, s pravom, da je to jedan od najvažnijih poslova praktične astronomije. „Boškovićeve su metode na tom polju značile nov i sustavan put u osnovnim pitanjima praktične astronomije.“ Zato je u tom smislu došao do novih pronalazaka za koje kaže da je njima dao doprinos praktičnoj astronomiji više od svih astronoma. No te ideje nisu u njegovo doba bile prepoznate kao važne. Prihvaćene su u geodetskoj praksi tek kada su ih iznijeli [Carl Friedrich Gauss \(1777-1855\)](#) i [Friedrich Bessel \(1784-1846\)](#).

Astronomska mjerenja – kružni mikrometar

- Boškovićevo se bavljenje instrumentima ne može odvojiti od njegovih ostalih znanstvenih istraživanja. Kada se on 1739. bavio opažanjem kometa on je izričito postavio problem instrumenata, tj. pitanje upotrebe dalekozora (u svojoj astronomskoj raspravi *O novoj upotrebi dalekozora za određivanje nebeskih objekata*). **Osnovna ideja** je da se relativne položaje nebeskih tijela (ovdje kometa) može odrediti bez posebnih mikrometara, tj. dalekozora s mikrometrom. Pritom Bošković predlaže **metodu kružne dijafragme** koja je smještena u žarišnoj ravnini okulara dalekozora. Ta je dijafragma kasnije nazvana kružni (ili prstenov) mikrometar. Dakle, kružno vidno polje dalekozora je novi način određivanja položaja nebeskih tijela. Glavna ideja: iz mjerenja ulaska u vidno polje dalekozora i izlaska iz njega poznate zvijezde stajačice tj. one kojoj su poznate koordinate (α – rektascenzija i δ - deklinacija) i ulaska i izlaska u vidno polje nekog nebeskog tijela može odrediti rektascenzija, razlika deklinacija i promjer vidnog polja.
- Ta je Boškovićeva rasprava pretiskana u tada poznatom časopisu *Nova Acta Eruditorum* (1740). **To je „najstarija publikacija o kružnom mikrometru“**. Neki su astronomi kasnije smatrali Nicolasa-Louisa de La Caillea (1713-1762) izumiteljem kružnog mikrometra jer je on 1737. napisao raspravicu o kružnom mikrometru, ali ju je objavio tek 1740. u časopisu *Nova Acta Eruditorum*, dakle godinu dana nakon što je u istom časopisu objavljena Boškovićeva rasprava. La Cailleov rukopis nije mogao utjecati na druge pogotovo na Boškovića jer mu nije bio dostupan. Drugi astronomi su i prije pridavanja prioriteta La Cilleu navodili Boškovića kao izumitelja kružnog mikrometra. I nakon Boškovićeva doba kružni mikrometar su razvijali **Heinrich Olbers** (1758-1840), **Joseph von Fraunhofer** (1787-1826), **Friedrich Bessel**, ali Boškovićevo ime s tim u vezi nisu spominjali. Kao zaključak svih rasprava o prioritetu izuma kružnog mikrometra može se kazati: „Nije Lacaille, već Bošković bio prvi, od koga su astronomi „upozoreni“ na tu novu metodu mjerenja. ... U povijesti mikrometara Boškoviću imenu pripada trajno mjesto ...“

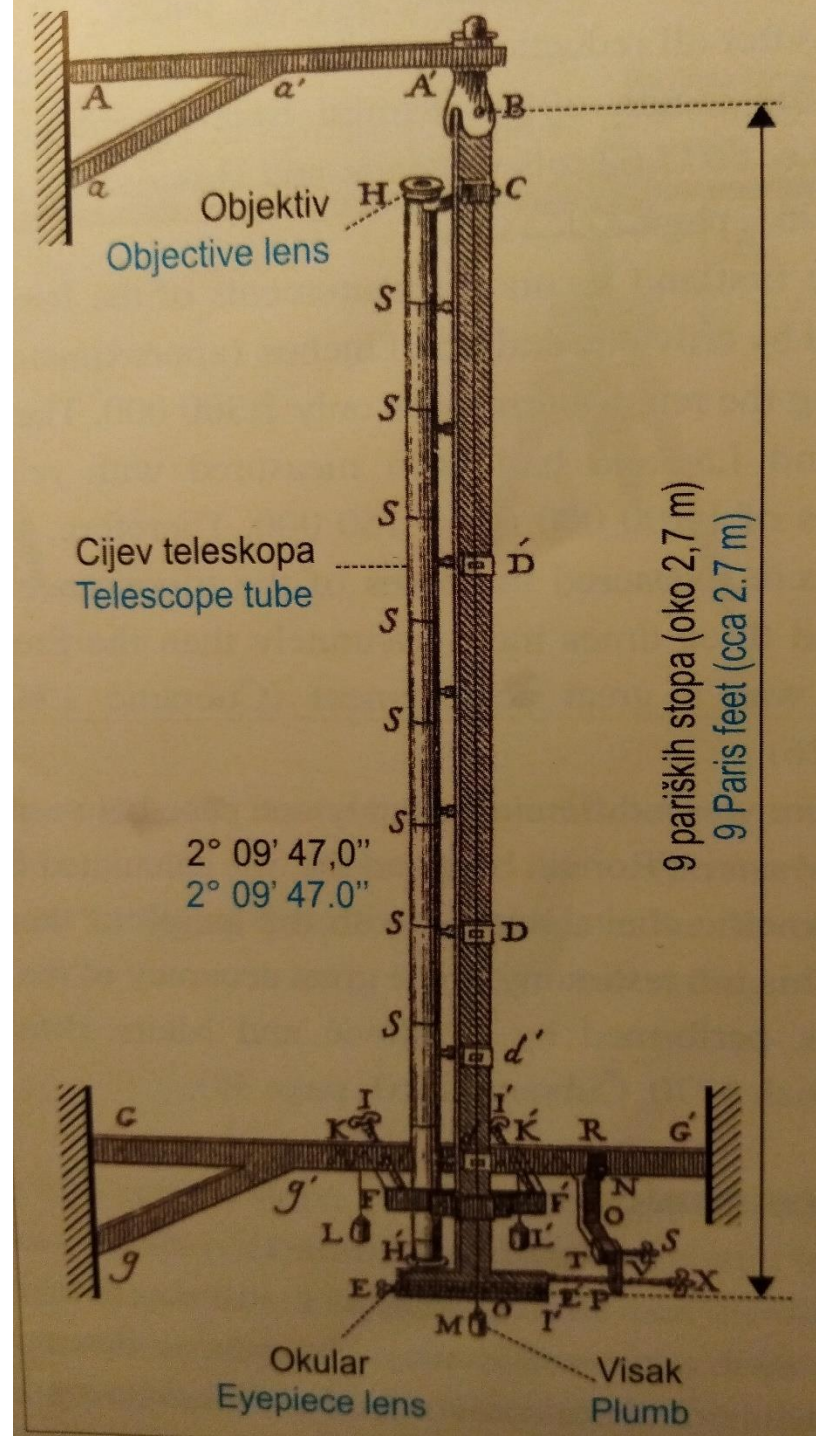
Kružni mikrometar – Načela mjerenja u vidnom polju



Astronomsko-geodetska mjerenja - zenitni sektor

- Kod određivanja duljine meridijanskog luka između Rima i Riminija Bošković je morao provesti i astronomska mjerenja, tj. **odrediti veličinu nebeskog luka** točnije razlike geografskih širina Rima i Riminija. Za to je morao mjeriti zenitne udaljenosti od zenita odabranih zvijezda stajačica i to u Rimu i Riminiju. Izabrane su dvije zvijezde koje prolaze kroz meridijan blizu zenita u oba ta grada. Radilo se o zvijezdama α u Labudu i μ u Velikom medvjedu. Njihova je udaljenost od zenita bila svega nekoliko stupnjeva. To je važno jer se pri malim zenitnim udaljenostima odstranjuje utjecaj loma svjetlosti u Zemljinoj atmosferi i time se povećava točnost mjerenja.
- Za opažanje zvijezda Bošković je koristio zenitni sektor kojega je izradio svećenik Rimskog kolegija **Rufo**. Bošković je unio mnogo izvornih detalja čime je postigao veću točnost mjerenja. **Bošković i Maire** su izmjerili srednju vrijednost nebeskog luka između Rima i Riminija u iznosu od $2^{\circ}9'47''$.

Zenitni sektor



Optička mjerenja i instrumenti

- Optičkim se instrumentima Bošković posebno intenzivno bavio za vrijeme kada je radio na zvjezdarnici u Breri i kada je bio ravnatelj za optiku u mornarici u Parizu. Jedan od glavnih zadataka zvjezdarnice u Breri bio je poboljšanje instrumenata, tj. uklanjanje njihovih pogrešaka da bi opažanja bila što pouzdanija. O tome je Bošković poseban prilog optici u raspravi *Dissertationes quinque ad dioptricam* - *Pet rasprava o dioptrici*.

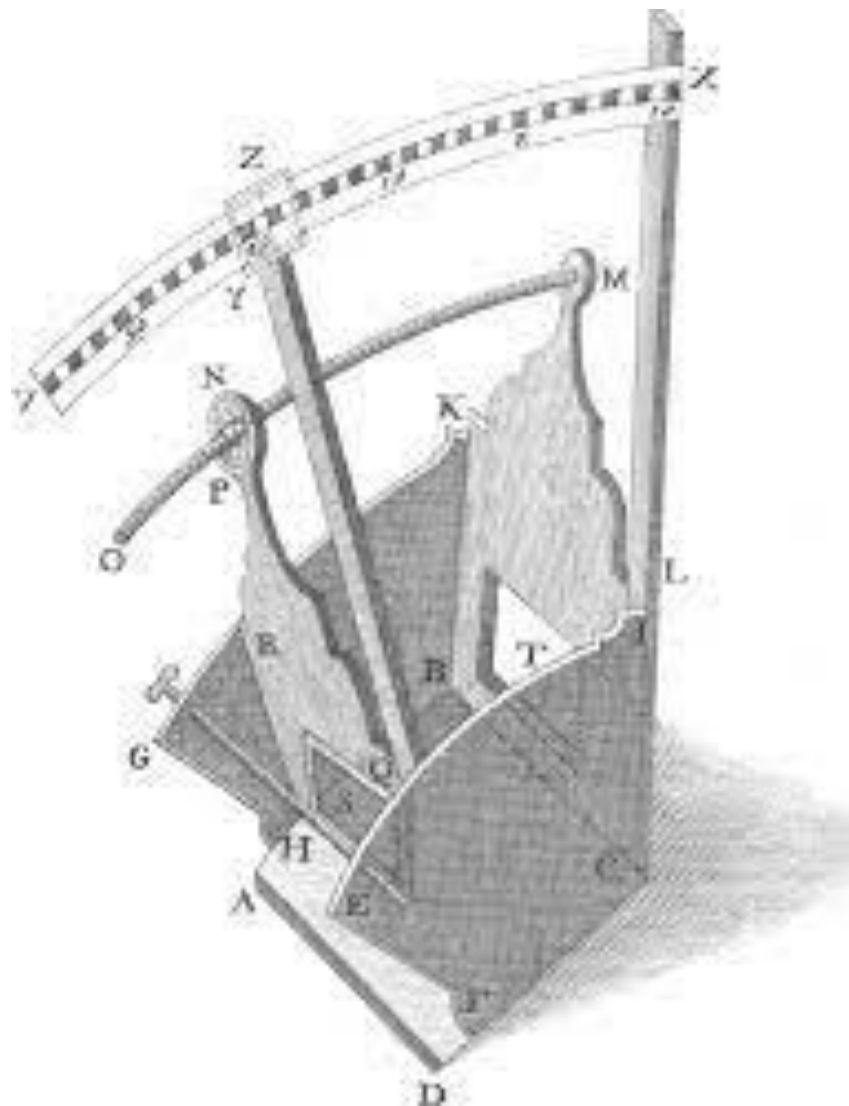
Vitrometar - staklomjer

- I Bošković je kao i mnogi drugi prihvatio Newtonovu korpuskularnu (čestičnu) teoriju svjetlosti i njegovu teoriju boja. **Newton** je otkrio da svaka optička tvar ima svoj indeks loma, tj. prolaskom svjetlosti kroz nju zraka svjetlosti se lomi ovisno o dotičnom indeksu loma tvari. Također i svaka boja (tj. valna duljina) ima svoj indeks loma. Prolaskom svjetlosti kroz leće dolazi **do kromatizma**, tj. da slika predmeta nije oštra i pojavljuje se više boja; te pogreške leća Newton je objašnjavao kromatičkom (kromatskom) aberacijom. Za disperziju svjetlosti on je bio uvjeren da je ona jednaka za sve tvari i zaključio je da je nemoguće riješiti pogreške leća što se tiče eliminiranja boja.
- Kasnije je **Chester Moor Hall** (1703-1771) pokazao da to nije tako i on je proizveo **leće koje su korigirale (uklanjale) pogreške** koje nastaju zbog pojave spektra na optičkim sustavima (oko 1733). **John Dollond** (1706-1761) je otkrio **akromatičnost** (oko 1759) i našao da se kombinacijom dviju leća jednakih polumjera zakrivljenosti može dobiti sustav koji ispravlja (anulira) lom zrake svjetlosti. Tako je napravio akromatičke (akromatske) leće za dalekozore.

Vitrometar - staklomjer

- Bošković je imao za cilj sastaviti akromatsku leću, tj. što je moguće više **ukloniti kromatsku aberaciju**, a to znači da se trebalo smisliti kombinaciju prizama tako da zraka svjetlosti, koja prolazi kroz takav sklop prizama, dobije otklon, a da se pritom ne pojavi rasap svjetlosti. On ističe da je njegov **staklomjer – vitrometar** jednostavan i pogodan za određivanje loma i rasapa svjetlosti u lećama. Taj je instrument trebao poslužiti za istraživanje akromatskih dalekozora i za njihovo poboljšanje i usavršavanje.
- Kao ravnatelj Optike u francuskoj mornarici imao je zadatak **usavršiti proizvodnju akromatskih dalekozora**. U drugoj polovici 18. st., podkraj Boškovićeva života, teorija akromatskih leća bila je dovršena, a Boškovićev doprinos toj teoriji je znatan.
- Pitanje istraživanja leća i poboljšanja optičkih instrumenata bilo je Boškoviću osobito važno nakon što je izgrađena **zvjezdarnica u Breri**. Istraživao je pogreške nastale zbog debljine leća i zbor različitih lomova svjetlosti.

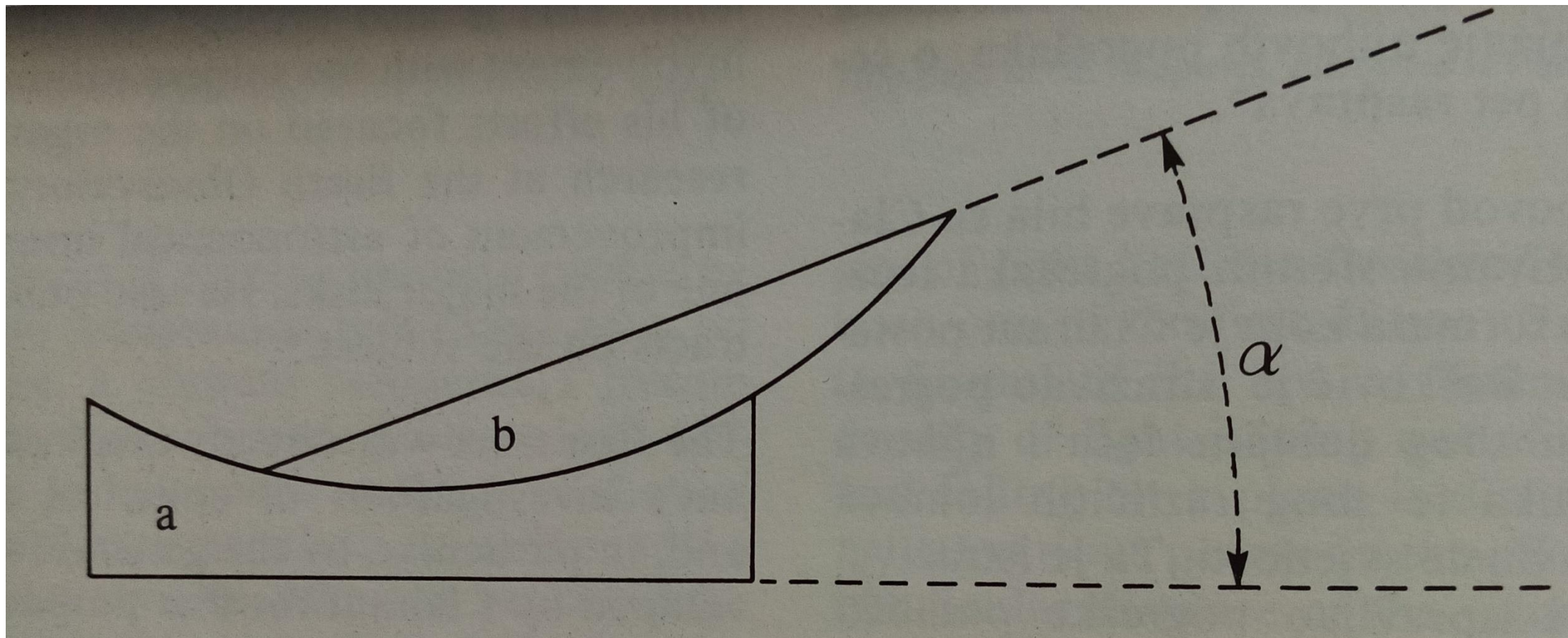
Boškovićev vitrometar – prva inačica (1763)



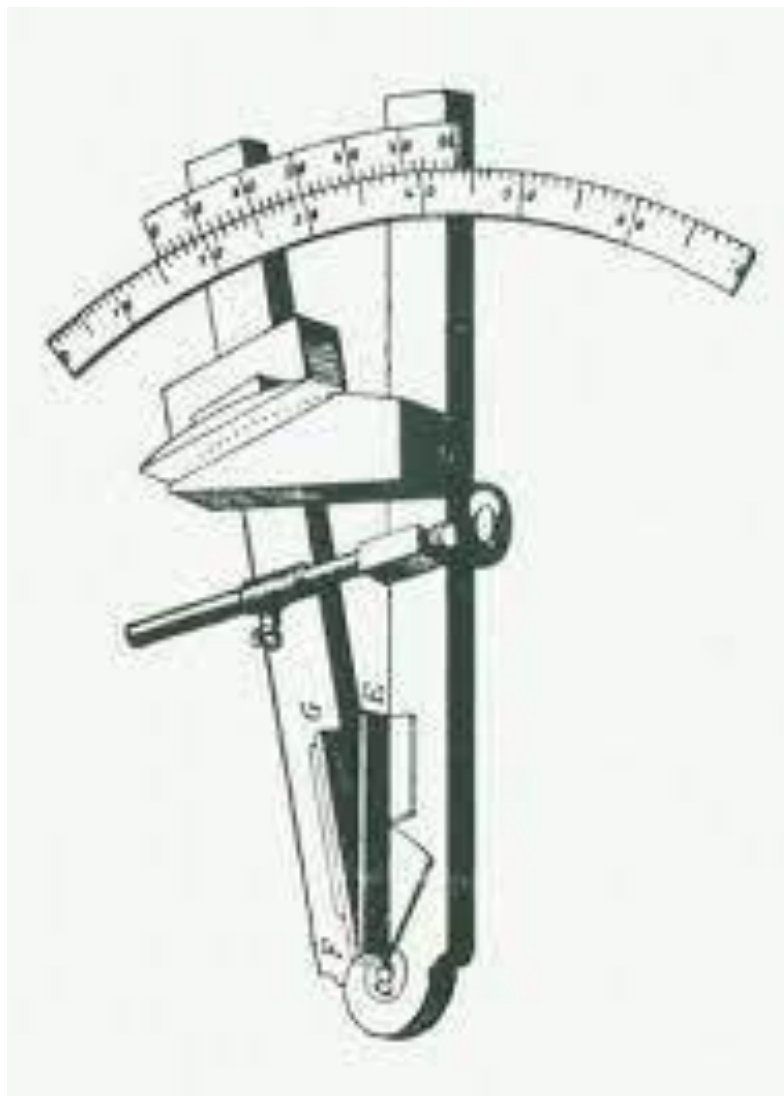
Vitrometar - staklomjer

- Postoje **dvije inačice vitrometra**. Jedna staklena posuda u obliku prizme napunjena je vodom (vodena prizma) čiji se kut može mijenjati promjenom nagiba posude.
- **Druga inačica vitrometra**: Prizma se sastojala od dva dijela od istog stakla ali tako složenih da plankonveksni i plankonkavni dio jednake zakrivljenosti prijanjaju jedan uz drugi i mogu kliziti jedan po drugome tako da se kut prizme mijenja (kut između ravnih osnovica). Ona je načinjena od tvari kojoj je trebalo odrediti indeks loma. Prolaskom svjetlosti kroz tu prizmu dolazi do loma svjetlosti. Vodena prizma može mijenjati kut; on se mijenja sve dotle dok ne dođem do poništenja loma koji je izazvala prizma s konstantnim kutom.
- Bošković je vršio pokuse sa svojim vitrometrom u Rimu, Milanu, Paviji, a za njih su bili zainteresirani u i Engleskoj.
- Iako su vitrometri kao instrumenti postali zastarjeli Fraunhoferovom primjenom spektrometra ipak je historijska važnost Boškovićeve vitrometra ogromna. **Bošković najviše od svih znanstvenika radio na akromatskim dalekozorima** te da se zbog istraživanja sustava s tri leće „može smatrati pionikom u tom području praktične optike.“

Prizme s promjenjivim kutom



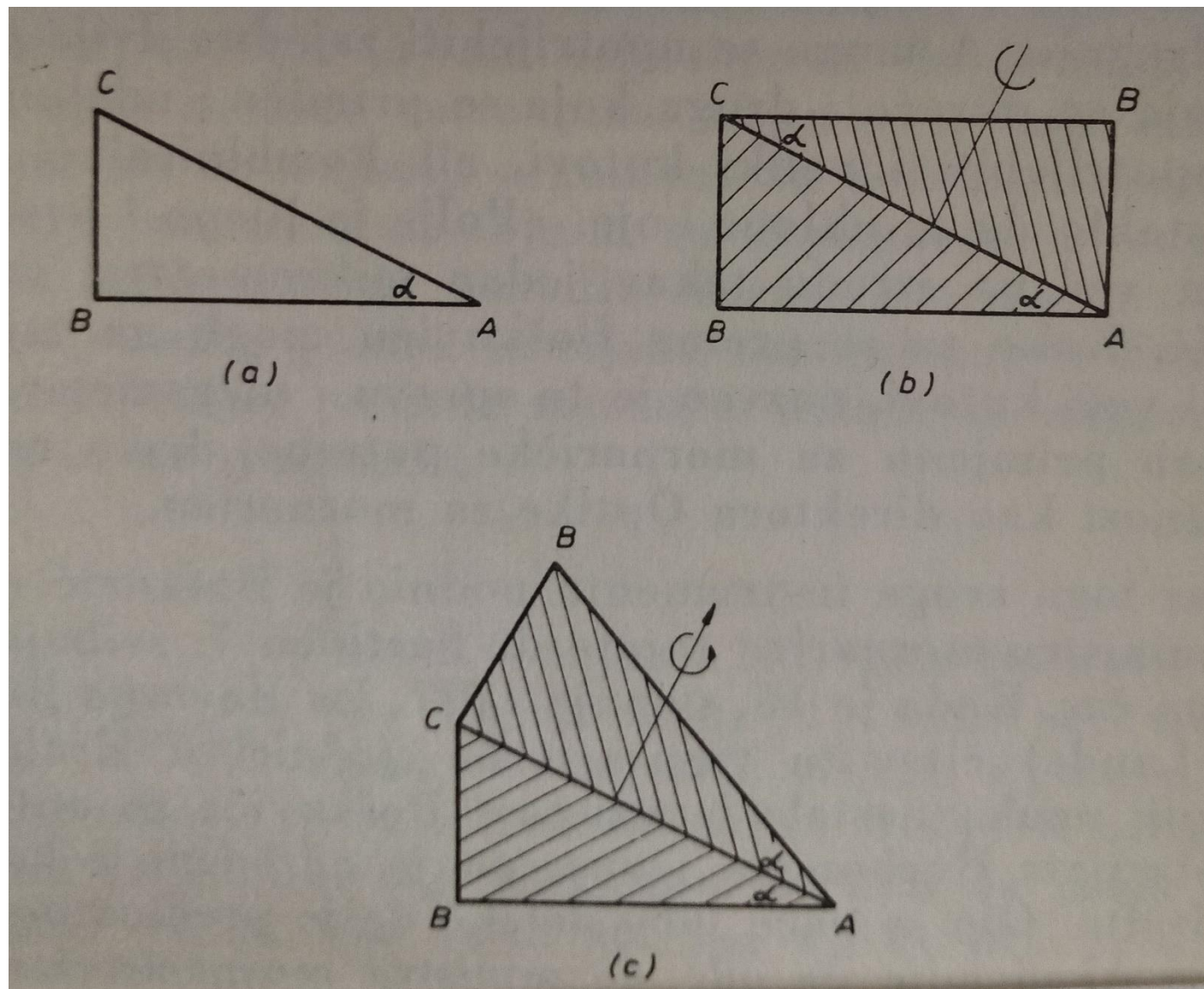
Boškovićev vitrometar – druga inačica



Optičke prizme - novi optički mikrometar

- Francuski fizičar Rochon je 1777. konstruirao instrument za mjerenje promjera Sunca, planeta te za mjerenje malih udaljenosti među zvijezdama. On je u svom optičkom mikrometru koristio prizmu od gorskog kristala (kvarca) koja ima svojstvo dvoloma tako da se dobiju slike dvaju predmeta u istom mjestu vidnoga polja dalekozora. Na taj se način može odrediti optička udaljenost tih predmeta (npr. bliskih zvijezda). Novost koju je uveo Bošković jest u tome što se isti učinak može postići upotrebom prizme od običnog stakla i to na dva načina: tako da se prizma, smještena između objektiva i žarišta dalekozora, pomiče duž osi dalekozora i drugo da se prizma stavi ispred objektiva dalekozora ali tako da dio objektiva ostane nepokriven i da postoje dvije vrste zraka: jedna prolazi samo kroz objektiv, a druga i kroz objektiv dalekozora i kroz akromatičnu prizmu. U oba se slučaja dobije isti učinak kao i kod Rochona. Bošković je iznio i drugu konstrukciju tako da je dvije prizme mogu rotirati oko zajedničke osi. Dva krajnja položaja prizama su takvi da one čine ili kut 0 stupnjeva ili 2α stupnja (alfa je α kut prizme) (sl. 6). U ostalim položajima kutevi su između 0 i 2α i u svakom pojedinom položaju imamo određeni kut loma zraka koje dolaze od predmeta. Takvim mikrometrom mogu se mjeriti i veći kutevi. Zato ga je Bošković nazvao megametrom. Takva se konstrukcija i danas koristi u geodetskoj praksi. Ona se naziva Boškovićev dvostruki zakretni par (Drehkeilpaar nach Boscovich).
- Kao i u slučaju određivanja staza kometa, kada je između La Placea i Boškovića izbio znanstveni spor, tako je i u vezi s optičkim mikrometrom nastao spor između Rochona i Boškovića o prvenstvu izuma. Iako je presuda Akademije znanosti u Parizu bila nepravedna prema Boškoviću, on je kasnije dobio zadovoljštinu jer najnovija literatura navodi jedino Boškovića kao izumitelja navedenih staklenih prizmi. Sam taj spor učinio je da je Bošković imao sve manje šansi postati članom Akademije. Što se prioriteta tiče sam je govorio da mu je manje važno tko je izumitelj, a puno mu je važnije hoće li to koristiti astronomiji.

Kružne prizme u različitim položajima

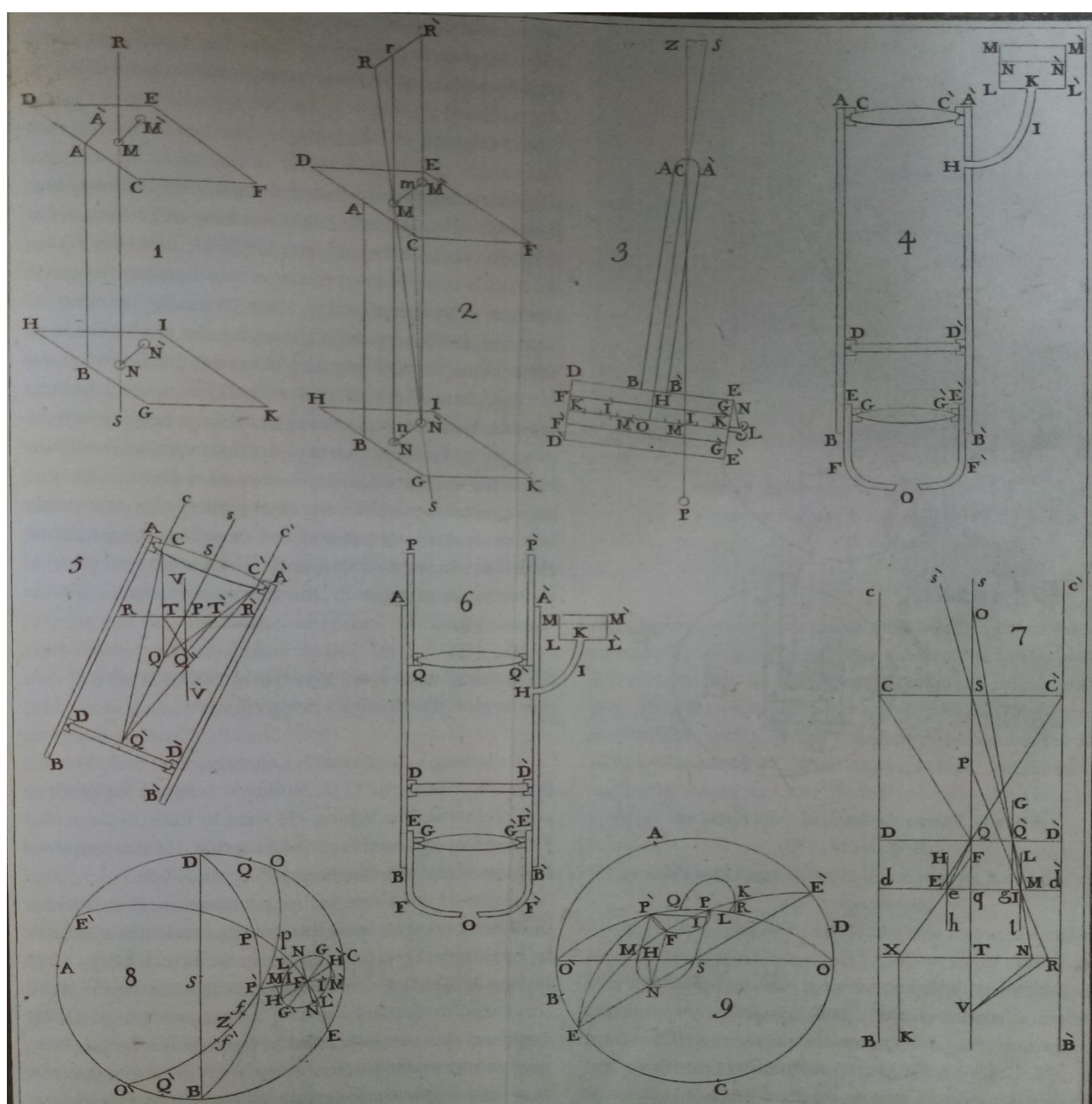


Dalekozor s vodom - Dilema o prirodi svjetlosti

- U optici je posebno važan **Boškovićev pokus** kojim je htio odrediti brzinu svjetlosti u različitim optičkim sredstvima i tako ustanoviti narav svjetlosti, tj. njezinu brzinu u različitim optičkim sredstvima. Time bi se moglo odrediti i apsolutno gibanje Zemlje. Pokušaj odgovora na to pitanje doveo je kasnije do teorije relativnosti u 20. stoljeću.
- Godine 1727 **James Bradley** (1693-1762) našao je aberaciju zvjezdane svjetlosti i protumačio je kao rezultat gibanja Zemlje, točnije kombinacijom brzina Zemlje i svjetlosti. Aberacija svjetlosti može poslužiti kao metoda mjerenja brzine svjetlosti dok ona prolazi kroz neko optičko sredstvo ili instrument. **Bošković** je u tome vidio način da izmjeri brzinu svjetlosti u vodi. Zamislio je pokus s dalekozorom s vodom. To je mjerenje trebalo biti experimentum crucis koji bi odredio koja je od dvije teorije svjetlosti istinita: **čestična ili valna teorija**. Prema Newtonovoj čestičnoj teoriji brzina svjetlosti u nekom optičkom sredstvu veća je nego brzina svjetlosti u vakuumu. Prema Huygensovoj (Christiaan Huygens (1629-1695)) valnoj (undulatornoj) teoriji svjetlosti brzina svjetlosti u optičkom sredstvu je manja od brzine svjetlosti u vakuumu. Dakle u Newtonovu slučaju $v_k = n c$, a u Huygensovu $v_v = c/n$, gdje su v_k, v_v , brzine svjetlosti prema korpuskularnoj, odnosno valnoj teoriji, c brzina svjetlosti u vakuumu, a n indeks loma optičkog sredstva. Prema Newtonovoj korpuskularnoj teoriji svjetlosti, čiji je zagovornik bio i Bošković, brzina svjetlosti bila bi veća u gušćem optičkom sredstvu, tj. i u vodi, a aberacija manja. Iako je zastupao istu Newtonovu teoriju Bošković je ipak tvrdio da dalekozor s vodom mora dati manju aberaciju.

• .

Dalekozor s vodom



Dalekozor s vodom - Dilema o prirodi svjetlosti

- U literaturi se pojavilo pitanje o [prioritetu u vezi s dalekozorom s vodom](#). Ne ulazeći detaljnije u to pitanje može se zaključiti da Wilson zaboravljen i da mnogi britanski i drugi znanstvenici prioritet po tom pitanju pridaju Boškoviću. Kada su drugi, nakon Boškovićeve smrti, pokušavali izvesti pokuse s dalekozorom s vodom onda su se uglavnom pozivali na Boškovića. Tako npr. lord Rayleigh navodi (1892) da je kraljevski astronom u Greenwichu George Biddell Airy (1808-1892) izveo pokus onako kako ga je predložio Bošković i Rayleigh ga naziva „Boškovićev pokus“ („the experiment of Boscovitch“) ([18], str. 88).
- Uvjeren u ispravnost svojih pretpostavki Bošković je svoj dalekozor s vodom namjeravao upotrijebiti da odredi aberaciju zemaljskih izvora svjetlosti (terestička aberacija).
- [Pokus s dalekozorom ispunjenim vodom Bošković nikada nije proveo](#) zahvaljujući protivljenju tadašnjeg profesora u Dvorskim školama Paola Frisija, koji nije bio sklon Boškoviću, a za to su bila potrebna i velika financijska sredstva.
- Nakon što su mnogi na Boškovićevu tragu provodili eksperimente s aberacijom u 19. stoljeću može se zaključiti: „Pokusi sa B-evim dalekozorom jesi – bar kao prilog – [najstariji u nizu pokusa, koji se završio Michelsonovim i koji je doveo do novovjekih relativističkih nazora](#).“ „Prema tome, mi smo još uvijek, iako neizravno, očarani Boškovićevim prijedlogom iz 1766.“ [Boškovićev pokus se i danas smatra jednim od najvećih priloga eksperimentalnoj optici](#). Zato: „Nijedan prikaz povijesnog razvoja novih ideja o prostoru i vremenu i njihova empiričkog osnova ne će moći prešutjeti B-evo ime. On stoji vremenski na prvom mjestu.“

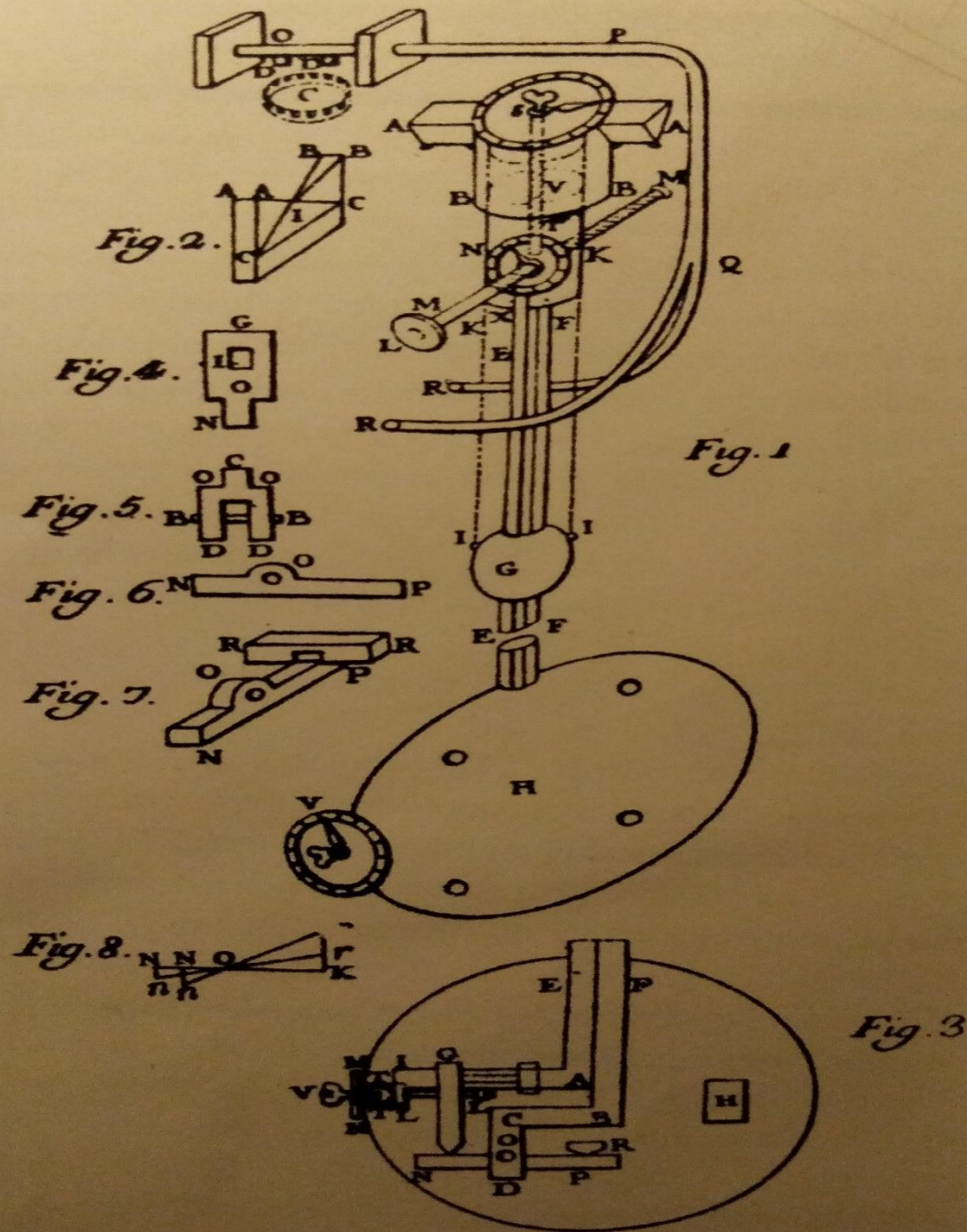
Geodetska mjerenja

- Bošković i njegov isusovači subrat i suradnik, engleski isusovac Christopher Maire (1697–1767) dvije su godine mjerili duž meridijana na kojem se nalaze Rim i Rimini (1750–52), a rezultat su objavili u djelu *De litteraria expeditione ...*
- Za određivanje duljine luka meridijana koji odgovara jednom stupnju obično su se obavljale dvije vrste mjerenja, geodetska i astronomska. Svrha geodetskih mjerenja je određivanje duljine meridijanskog luka na Zemlji. Astronomska mjerenja trebaju odrediti duljinu luka na nebeskoj sferi koji odgovara kutu od jednoga stupnja. Zatim se uspoređuju ta dva luka i gleda se postoji li razlika.
- Iz duljina meridijanskog luka na različitim dijelovima Zemlje moglo se zaključiti o obliku Zemlje, točnije je li Zemlja spljoštena na polovima (oblatum) ili na ekvatoru (oblongum) kako su pretpostavljale tada dvije suprotstavljene teorije. O obliku Zemlje moglo se zaključiti i jednom drugom metodom, naime gravimetrijskom metodom, tj. mjerenjem sile teže (točnije akceleracije sile teže) pomoću sekundnog njihala. Bošković svjedoči da je on već puno prije objave te knjige bio uvjeren da je Zemlja nepravilnog oblika te da nije pravilni elipsoid. No kakav je taj oblik ne kaže jasno i sa sigurnošću. Čak je sklon mišljenju da se taj oblik vrlo teško može odrediti. On ga zove jednostavno *Zemljin oblik*. Potvrdu tome daju rezultati kasnijih istraživanja koji su ustanovili posve nepravilan oblik Zemlje kasnije (1873) nazvan geoid.
- Bošković je ustanovio da postoje otkloni od vertikale na površini Zemlje u blizini velikih planina i zaključio da su mase planina manje nego što bi trebale biti, a to znači da su gustoće planina manje nego gustoće dubljih slojeva Zemlje. Nastanak planina tumači toplinskim širenjem tvari tako da u Zemljinoj kori postoje nagomilavanja (suficiti) masa i šupljine (deficiti). To su začeci kasnije teorije izostazije koju su postavili godine 1854/55 John Henry Pratt (1809-1879) i George Airy (1801-1892) te (oko 1950) Felix Andries Vening Meinesz (1887-1966): Prattov bi model zapravo trebalo zvati Bošković-Prattovim modelom izostazije.

Gravimetrijska mjerenje – ura njihalica

- Otkriće nejednakosti sile teže na različitim mjestima Zemlje potječe od Jeana Richera (1630-1696) koji je tu pojavu otkrio 1672. godine. Ali praktična mjerenja nisu bila provođena čak ni u Italiji, iako su vrlo jednostavna, pa Bošković misli da bi se mogla izvesti i u Dubrovniku. Određivao je duljinu sekundnog njihala i kaže da se na taj način može odrediti sila teža (točnije akceleracija sile teže g) na različitim mjestima. Prema formuli za sekundno njihalo sile teže odnose se kao duljine sekundnog njihala.
- Kao metoda za određivanje oblika Zemlje sekundno njihalo, tj. [gravimetrijska mjerenja](#) su pogodnija nego geodetska mjerenja meridijanskog stupnja. Iz duljina sekundnog njihala na što više mjesta može se zaključiti da je oblik Zemlje неправиан i da nije posve sigurno može li se uopće odrediti. „Ništa ne znamo sigurno ... osim prvih načela...”
- Bošković je i kasnije priličnu pozornost posvećivao sekundom njihalu pa je [konstruirao uru njihalicu](#) kojom je htio umanjiti ili eliminirati pogrešku njihala koja nastaje zbog promjene temperature. Svoju uru njihalicu Bošković je ponudio na prosudbu Akademiji znanosti u Parizu, ali ocjena nije bila zadovoljavajuća jer je povjerenstvo dalo Boškoviću primjedbu da konstrukcijska rješenja nisu nova. Boškovićev odgovor prosudbenom povjerenstvu u Parizu bila je rasprava pod naslovom *Descrizione d'un nuovo pendolo a correzione* (Opis nove ure njihalice s korekcijom) objavio je 1770, a temu o uri njihalici Bošković je uvrstio i u svoja *Djela o optici i astronomiji* (1785).

Ura njihalice



Geodetska mjerenja – stalci i letve

- Geodetski dio **mjerenja meridijanskog luka** (gradusnog mjerenja) između Rima i Riminija obavili su Bošković i Maire ([24], str. 317-325). Upotrijebili su otprije poznatu **metodu triangulacijskih poligona ili lanca trigonometrijske mreže ili triangulacijskog lanca**. Taj način mjerenja uveo je 1617. godine nizozemski astronom i matematičar Willebrord *Snellius*). Prije toga izravno su se mjerile duljine meridijana što je uzrokovalo velike pogreške jer se radilo o mjerenju dužina do oko 100 km (Fresnel, Picard, Cassini i drugi) ([15]). Triangulacijska mreža trokuta smanjila je potrebu izravnog mjerenja meridijana i mjerenja su bila preciznija zbog manjih udaljenosti (stranica baza). Duljine stranica trokuta iznosile su od nekoliko kilometara do desetak-dvadeset kilometara, a meridijanski likovi oko stotinjak kilometara.
- Rim i Rimini, koji se nalazi na Jadranskoj obali, nalaze se na istom meridijanu s razlikom geografskih širina od $2^{\circ}10'$. Prva točka trigonometrijskog lanca je kupola bazilike sv. Petra u Rimu, a druga jedan brežulja u blizini Riminija. Postavljeni su trokuti s jedne i druge strane meridijana s vrhovima trokuta na obližnjim brdima. Mjerenje se sastojalo iz mjerenja jedne stranice i dva kuta trokuta; ostali se elementi izračunaju. Tako se dobije duljina dijelova luka. U Boškovićevu i Maireovu slučaju trigonometrijski lanac imao je **11 trokuta na ukupnoj dužini lanca od 240 km**. Oni su posebnu pozornost posvetili točnijem mjerenju duljina baza koja su u prijašnjim mjerenjima također stvarala teškoće zbog neravnina terena.

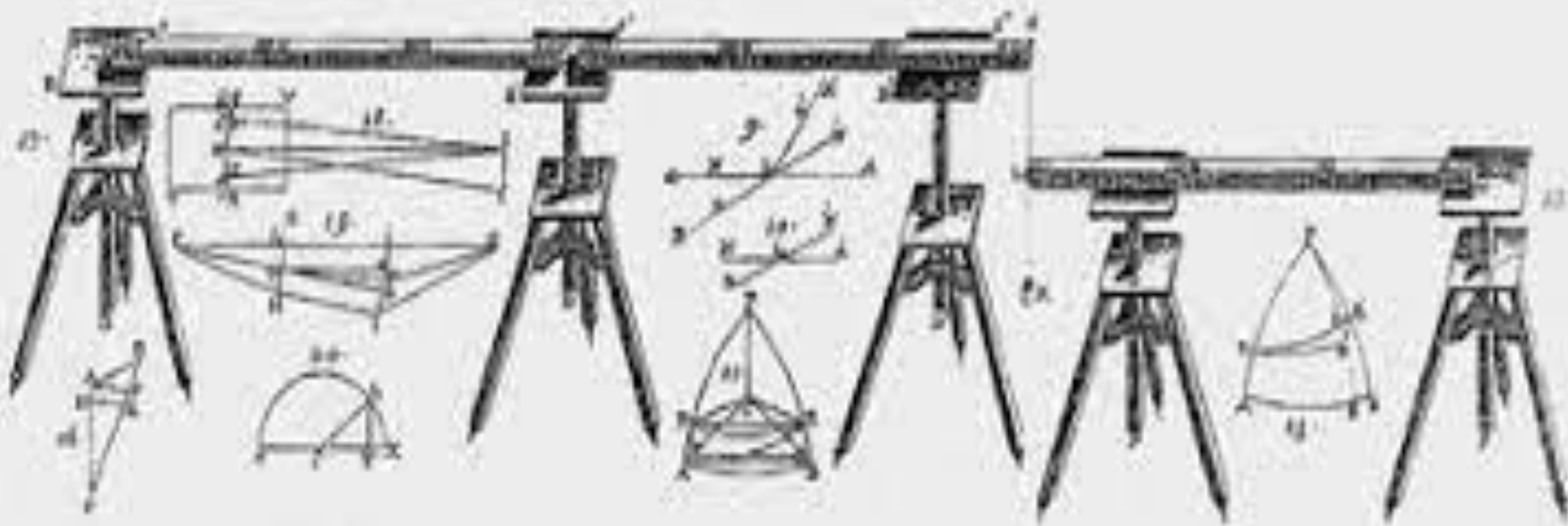
Triangulacijska mreža Rim – Rimini



Geodetska mjerenja – stalci i letve

- Ono što je za ovu svrhu važno jesu sprave (instrumenti) koje su koristili. **Za mjerenje duljina od prije su se koristile mjerne letve (motke).** Bošković i Maire su imali drvene letve duljine oko 6 metara (točnije 27 rimskih pedalja ili 5,994 m) podijeljene na tri dijela, a oni su bili podijeljeni na manje jedinice. Kao komparator služile su željezne letve od po 9 pedalja (1,98 m). Kako se u različitim godišnjim dobima, tijelom mjerenja, temperatura mijenjala, oni su računski korigirali duljine komparatora na osnovi mjerenja temperature i poznavanja koeficijenta istezanja željeza. Kasnije je iz Pariza dobio mjernu jedinicu izrađenu od željeza koju su koristili pariški akademici. Ta je mjera toaz (toise) (1 toaz = 1,949036 m) bila podijeljena na manje jedinice: stope, palce i dijelove palca.
- Da bi povećao preciznost mjerenja letvama Bošković je došao na ideju da mjerne **letve postavi u horizontalni položaj**. Da bi to postigao konstruirao je stalke i na njih stavio letve (Prije su se duljine mjerile tako da su letve postavljane izravno na teren – „kontaktne“ letve). Podizanjem i spuštanjem središnjeg dijela stalka i pomoću libele postizala se horizontalnost letvi. Druga Boškovićeva novost bila je **da se letve nisu dodirivale** nego je između njih postojao razmak koji su precizno mjerili koristeći visak te šestar i transverzarno mjerilo. Postojala je, naime, opasnost da se dodirom letava one mogle pomaknuti. Kod Boškovića letve su bile postavljene u različite razine i pomoću viska određivao se vertikalni položaj krajeva letava.
- Izmjerom rimske i riminske baze Bošković i Maire su dobili rezultate: 6139,66 toaza i 6037,62 toaza (oko 12 km). Za riminsku bazu proveli su dva mjerenja koja su se razlikovala samo za jedan i pol palac (oko 4 cm) što je **dvostruko i trostruko točnije od francuskih mjerenja provedenih u Peruu i Laplandiji**. Kasnije, u 19. st. su duljine baza bile kraće (2-3 km), ali u 20. st. su baze opet produljene na 8-10 km tako da „se smatra za optimum, da dužine strana budu upravo nekako u tim granicama, kakvje je imao i Bošković.“
- On je, dakle, konstruirao nove, dotad u geodeziji nepoznate stalke ili tronošce s letvama na njima (a ne na zemlji) koje se ne dodiruju. Takvi su stalci u geodetskoj praksi prihvaćeni tek kasnije, kako je već rečeno, kada ih je predložio Gauss, pa se i nazivaju **Gaussovi stalci umjesto Boškovićevi stalci**.

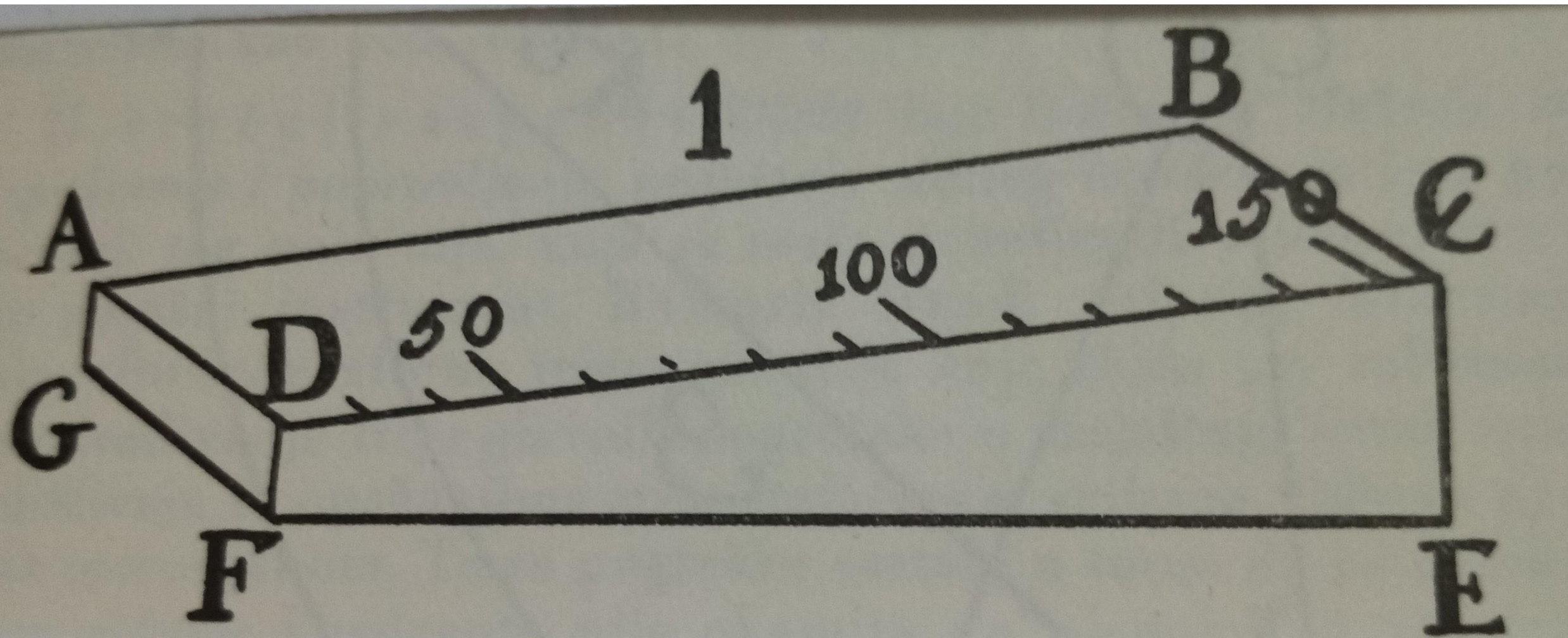
Boškovićeви geodetski stalci i letve



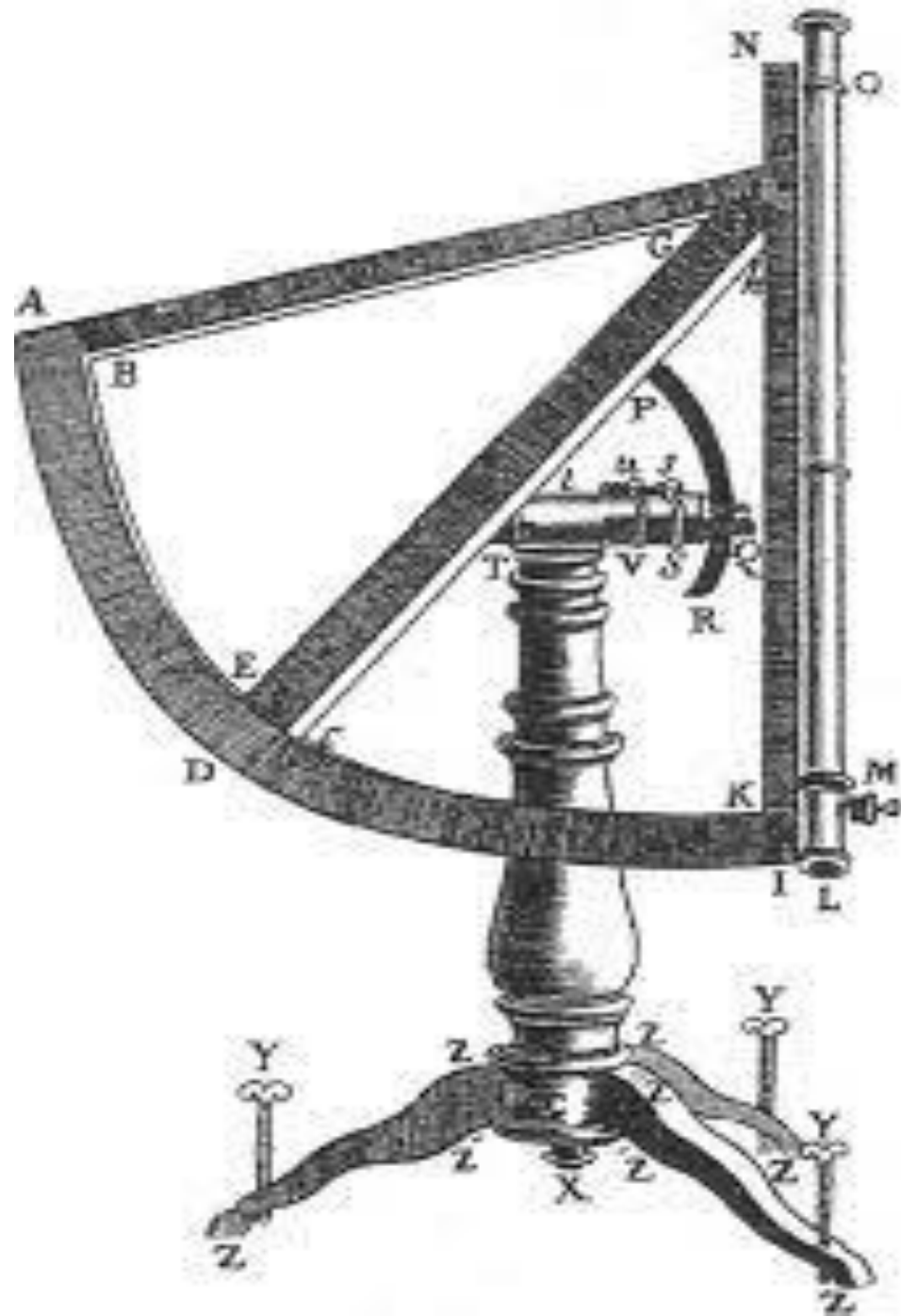
Geodetska mjerenja – kružni kvadrant

- U triangulacijskoj mreži važno je što točnije odrediti duljine stranica trokuta i njihove kutove. Za veću točnost duljina stranica Bošković je koristio tronošce i mjerne motke. Za mjerenje kutova u horizontalnoj ravnini koristio je kvadrant koji se od prije bio u upotrebi. Za velike kvadrante bilo je važno odrediti ravninu kvadranta. Bošković je „našao duhovitu i egzaktnu metodu“ iskoristivši svoj mikrometarski klin koji se smatra „jednim od njegovih najljepših iznalazaka.“ Takav je klin kasnije uveo u geodetsku upotrebu Friedrich Bessel.
- Bošković je, dakle, postojeće kvadrante poboljšavao dodajući im pojedine dijelove. Tako je dodao i mikrometar, kao izvorno svoje rješenje, da bi se povećala točnost očitavanja kutova. Na kvadrant su postavljena dva durbina, jedan čvrst, a drugi na pomičnoj metalnoj poluzi. Kad se kvadrant postavi u ravninu kuta nepomični se durbin usmjeri na jednu točku, a drugim se navizira druga točka i očita limb na drugom durbinu. Bošković je kvadrantu dodao i druge važne detalje. Tim je raspravama Bošković postavio osnov nove praktičke astronomije i bio mišljenja da te njegove rasprave čine jedan priručnik praktičke astronomije njegova vremena.

Mikrometarski klin



Kvadrant



Zaključak

- Bošković je dao znatne doprinose u raznim područjima znanosti i filozofije, prije svega u teorijskim područjima. Ali je u svrhu provjeravanja i potvrđivanja teorije Bošković bio primoran vršiti mjerenja i eksperimente. Koristio je postojeće eksperimente i oučavao da ni oni nisu uvijek pouzdani pa ih je morao poboljšavati, a u nekim slučajevima je konstruirao i nove instrumentem ili detalje na već postojećim. Općenito je mislio da i loši instrumenti mogu poslužiti za mjerenja ako se znaju njihove pogreške, tj. granica pogrešaka koje se onda mogu odračunati.

- Stipe Kutleša