

Darko Iveković

Kako je Émilie du Châtelet dopunila Isaaca Newtona

Sažetak: Dan je pregled spoznaja o klasičnoj mehanici u prvoj polovini XVIII. stoljeća. Naglasak je stavljen na razvitak koncepta kinetičke energije. Prikazane su uloge pojedinaca onog vremena, njihove interakcije i doprinosi. Tekst je usmjeren na francusku markizu Émilie du Châtelet (1706.–1749.) s obzirom na njezina proučavanja, pokuse i publikacije u području kinetičke energije. Objašnjene su zasluge koje joj se pripisuju za prijedlog i dokaz koncepta kinetičke energije i očuvanja energije.

Ključne riječi: Émilie du Châtelet, kinetička energija, očuvanje energije, Newton, količina gibanja, Kraljevska akademija znanosti, Voltaire

Uvod

U prvoj polovini XVIII. stoljeća Europa je poprište zamaha klasične fizike. Evolucija spoznaja i njihova širenja odvijaju se u procesima koji traju desetljećima, čak stoljećima. Također evoluiraju i izrazi pridruženi tim fizikalnim pojmovima. Newton je u tijelu koje se giba uočio potrebu definiranja fizikalne veličine ‘količina gibanja’¹ – vektora linearno proporcionalnog brzini. Smatrao je da je količina gibanja tijela jedina koja ima svojstvo očuvanosti. Istog je mišljenja bila sva znanstvena zajednica. Pojam koji danas zovemo kinetička energija – skalar proporcionalan kvadratu brzine – također ima svojstvo očuvanosti

¹ količina gibanja (engl. *momentum*); neki autori *momentum* prevode kao impuls, što se ne preporučuje, jer se tako naziva druga fizikalna veličina (impuls sile)

u skladu sa zakonom o očuvanju energije, ali Newtonu, kao ni njegovim suvremenicima, još nije bio poznat. Razvitak spoznaje o kinetičkoj energiji u području klasične fizike plod je interakcije nekoliko pojedinaca u različitim vremenima, s različitim ulogama i doprinosima, nerijetko uz žestoka sučeljavanja stavova. U nastavku teksta istaknuti su uloga i doprinos markiza Émilie du Châtelet (slika 1.), u toj interakciji.



Slika 1.: Émilie du Châtelet, portret izradio Maurice Quentin de La Tour

Kratki životopis Émilie du Châtelet

Francuska plemkinja punim imenom Gabrielle Émilie le Tonnelier de Breteuil, Marquise du Châtelet, matematičarka, fizičarka, filozofkinja, prevoditeljica i spisateljica, rođena je 17. prosinca 1706. u Parizu. Njezin otac Louis Nicolas le Tonnelier de Breteuil bio je glavni tajnik na dvoru kralja Luja XIV., a majka Gabrielle Anne de Froullay, Baronne de Breteuil.

O školovanju male Émilie ne možemo ništa reći sa sigurnošću. U djetinjstvu je vježbala jahanje i mačevanje. Zahvaljujući njezinu talentu i zainteresiranosti, kućni učitelji mogli su se pohvaliti svojom uspješnošću. Émilie je s 12 godina tečno vladala latinskim, njemačkim, grčkim i talijanskim jezikom. Na francuski je prevodila grčke i latinske igrokaze. Majka je bila zgrožena smjerom kćerina razvitka pa ju je jednom (srećom bez uspjeha), pokušala smjestiti u samostan. Kako bi namaknula sredstva za pokrivanje troškova za kupnju knjiga, Émilie je primjenjujući svoja matematička znanja razvila uspješnu strategiju u

igramu za novac. Jednom kasnije, kao već udana žena, kako bi riješila svoju financijsku situaciju prouzročenu igrom za novac, Émilie je razvila financijski instrument sličan današnjem tzv. derivatu² ili izvedenici.

S osamnaest godina, 12. lipnja 1725., udala se za šesnaest godina starijeg markiza Florent-Claudea du Chastellet-Lomonta, s kojim je dobila troje djece.

Émilie du Châtelet nije pokazivala interes za matematiku sve do svoje 27. godine. Tek nakon rođenja trećeg djeteta, 1733., Émilie se posvećuje studiju matematike. Jedan od njezinih mentora iz matematike postaje Alexis Clairaut, autor jednadžbe i teorema koji su po njemu nazvani. Émilie du Châtelet s vremenom je angažirala i neke druge istaknutije francuske znanstvenike da je poučavaju u matematici. Jednom se prilikom željela priključiti jednom od svojih mentora u Café Gradot, pariškoj kavani poznatoj po intelektualnim diskusijama svojih gostiju. Budući da se kavana smatrala isključivo muškim sastajalištem, markizu su uljudno zamolili da iziđe. Nije se obeshrabrila nego si je dala izraditi mušku odjeću i tako odjevena ušetala u kavanu.

Početkom 1730-ih Émilie upoznaje Voltairea. Poziva ga u svoj dvorac u Cirey-sur-Blaiseu na sjeveroistoku Francuske (slika 2.). U dvorcu uređuje laboratorij u kojem do kraja života izvodi pokuse. Voltaire u dvorcu neprekidno prebiva od 1734., otkad počinje njihovo 16-godišnje intimno i znanstveno partnerstvo uz tolerantnog supruga. Émilie je napustila društveni život Pariza i zamijenila ga znanstvenim radom na ladanju. Između dvoje prijatelja razvija se suradnja u matematici, fizici i filozofiji. I samostalno i zajednički proučavaju ideje i otkrića suvremenika, dopisuju se s njima, izvode pokuse, dolaze do novih spoznaja, pišu i publiciraju. Osim na području fizike, u kojoj se proslavila, Émilie du Châtelet stvara i na drugim područjima, kao što su npr. logika, znanstvena metodologija, etika, sociologija i sl. Dvorac je mjesto sastajanja europskih znanstvenika, pisaca i filozofa. U to vrijeme nastaju djela koja su je učinila slavnom.



Slika 2.: Dvorac u Cirey-sur-Blaiseu, crtež iz onog vremena

²Derivat ili izvedenica je naziv za posao između dvije ili više strana, čija se ugovorena cijena temelji na procjeni buduće vrijednosti neke stvari, kao što je npr. dionica, valuta, polica osiguranja i slično.

Émilie je umrla u 43. godini, 10. rujna 1749. u Lunévilleu, dvorcu nedaleko od Cirey-sur-Blaisea (slika 3.), tad u vlasništvu Stanislasa Leszczyńskog (poljski kralj od 1704. do 1709. i zatim od 1733. do 1736. te punac kralja Luja XV.). Uzrok smrti bila je plućna embolija kao posljedica četvrtog poroda.



Slika 3.: Dvorac u Lunévilleu (današnji izgled)

Djelovanje Émilie du Châtelet kao fizičarke

Émilie već 1737. odlično poznaje Newtonovo djelo *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Matematički principi filozofije prirode*), objavljeno 1687. godine. Oboružana tim znanjem, ona iste godine pomaže Voltaireu u pisanju njegova djela *Éléments de la Philosophie de Newton* (*Elementi Newtonove filozofije*). *Da je njezina uloga u Voltaireovu radu bila dominantna, može se zaključiti iz činjenice da je njezina matematička izobrazba bila zamjetno viša od njegove.*

Émilie du Châtelet 23. kolovoza 1737. anonimno šalje francuskoj Kraljevskoj akademiji znanosti (*Académie Royale des Sciences*), svoj članak *Dissertation sur la nature et la propagation du feu* (O prirodi i širenju vatre), kao odgovor na Akademijin raspisani natječaj (slika 4.). Premda autorica nagradu nije dobila, Akademija objavljuje njezin članak. To je prva publikacija nekog ženskog autora koju je Akademija izdala u svojoj povijesti.

Émilie du Châtelet 1740. u Parizu anonimno objavljuje prvo izdanje svoje knjige pod naslovom *Institutions de Physique* (*Temelji fizike*) (slika 5.). U njoj piše – među ostalim – o naravi prostora i vremena i tumači pojmove u vezi s gravitacijom, putanjama planeta, njihala i slobodnog pada. Upravo se u dijelu o slobodnom padu nalaze opisi pokusa koje je izvodila u dvorcu Cirey-sur-Blaise i njezina tumačenja tih eksperimenata koja upućuju na spoznaju o kinetičkoj



Slika 4.: Émilie du Châtelet, naslovna stranica njezine publikacije *Dissertation sur la nature et la propagation du feu*

energiji. Provjerava ranije pokuse slobodnog pada, koje je izvodio Willem ‘s Gravesande (1688. – 1742., nizozemski matematičar i fizičar, profesor na sveučilištu u Leidenu), mjeri ih i analizira. Mjerila je i uspoređivala odnos visine s koje bi pustila kuglu u slobodni pad i volumena tvari koje bi pala kugla istisnula iz podloge od meke gline. Opazila je da je taj volumen proporcionalan visini slobodnog pada kugle. Ujedno je zaključila da je volumen istisnute gline proporcionalan energiji koju je pala kugla potrošila na to istisnuće. Zatim je iz dotad poznatih svojstava slobodnog pada zaključivala ovako:

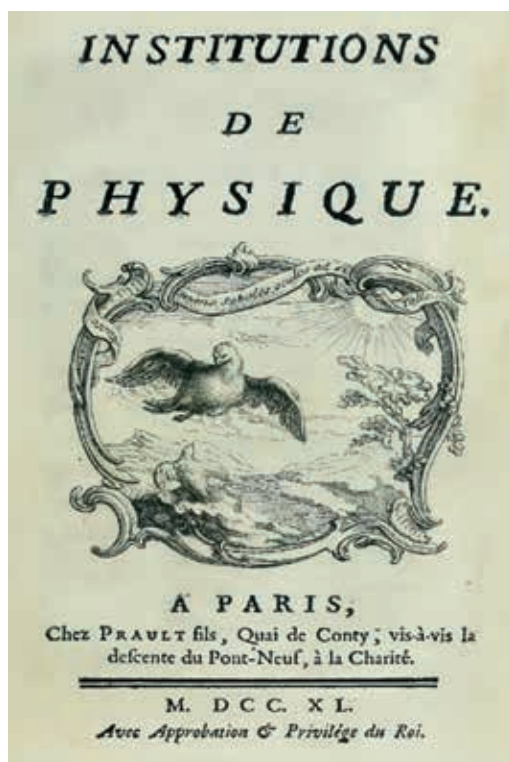
“Brzina slobodnog padanja je: $v = g \times t$, gdje je g akceleracija sile teže, a t vrijeme padanja. Brzina je također: $v = \sqrt{(2h \times g)}$, gdje je h visina pada, ili $v^2 = 2h \times g$. Iz toga izlazi: $h = v^2/(2g)$. Prema tome, ako je: $E_k \propto h$, gdje je E_k kinetička energija, onda vrijedi i $E_k \propto v^2$.”

Ako je u slobodnom padu nešto linearno proporcionalno visini padanja, onda je to ujedno proporcionalno i kvadratu brzine padanja. Prema tome,

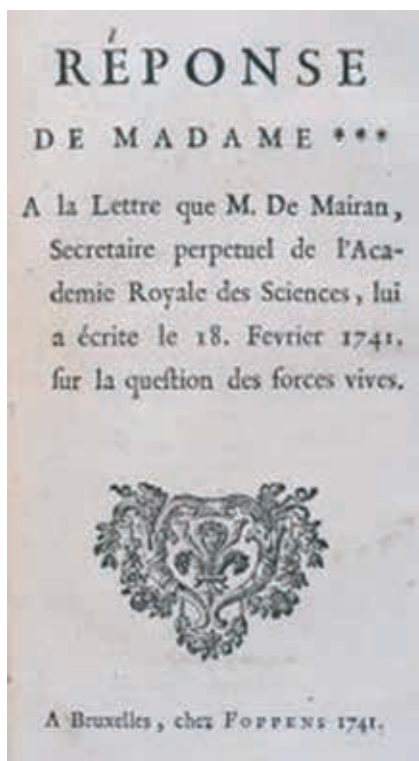
kinetička je energija proporcionalna kvadratu brzine! Kad bi kinetička energija bila linearno proporcionalna brzini, onda bi volumen istisnute gline bio proporcionalan korijenu visine, a ne linearno proporcionalan visini!

Du Châtelet je postavila i mjerenjima dokazala hipotezu o očuvanju ukupne energije. Ona još nije koristila današnji izraz kinetička energija, nego latinski *vis viva* (engl. *living force*, franc. *force vive*, njem. *Lebendige Kraft*, hrv. živa sila). Uvođenje današnjeg izraza kinetička energija pripisuje se tek Williamu Thompsonu, Lordu Kelvinu (1824. – 1907.). Opravdala je slutnje Johanna Bernoullija i Gottfrieda Leibniza koji su – za razliku od Newtona i Pascala – mislili da kod tijela u gibanju osim količine gibanja mora postojati još neko očuvano svojstvo koje je proporcionalno upravo kvadratu brzine.

Danas znamo da oba pojma – Newtonova količina gibanja i du Châteletina kinetička energija – nisu u proturječnosti nego su komplementarna, oba podliježu zakonu o očuvanju. Émilie du Châtelet je knjigom *Institutions de Physique* rasplamsala debatu čiji se žar temeljio na podvojenosti “tabora” Newton-Pascal i Bernoulli-Leibniz. Autoritet prvog temeljio se na slavi Newtona i na domoljubnim osjećajima Francuza.



Slika 5.: Naslovna stranica knjige Émilie du Châtelet *Institutions de Physique*



Slika 6.: Odgovor Émilie du Châtelet tajniku Akademije de Mairanu

Negativna kritika knjige javila se već u veljači iduće 1741. iz same Akademije. Jean-Jacques Dortous de Mairan, utjecajni tajnik Akademije, kritizira njezinu knjigu *Institutions de Physique*, posebice *vis viva* i pripadne matematičke izvode. On knjigu doživljava kao negaciju učenja Newtona i Pascala. No, du Châtelet ne gubi vrijeme, nego mu odgovara već u ožujku iste godine objavljivanjem knjige *Réponse de Madame la Marquise du Chastelet, a la lettre que M. de Mairan...* (Odgovor gospođe markize du Chastelet na pismo koje je g. de Mairan...), slika 6. Du Châtelet pobija točku po točku Mairanovih tvrdnji na što se ovaj javno povlači. Time je u javnosti utemeljena autoričina intelektualna vjerodostojnost.

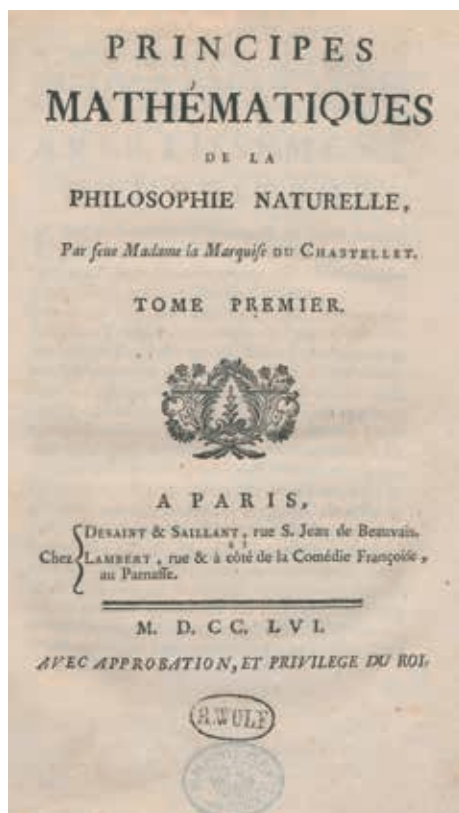
Godine 1743. prevedena je knjiga *Institutions de Physique* na njemački i objavljena u Halleu i Leipzigu; iste je godine prevedena i na talijanski i objavljena u Veneciji. Godine 1745. du Châtelet je uvrštena u 4. svezak *Bilder-sal heutiges Tages lebender und durch Gelehrtheit berühmter Schriftsteller* (Galerija portreta suvremenih pisaca znamenitih po učenosti). Bila je jedna od samo četiriju žena između 100 znanstvenika koje se smatralo najboljim umovima Europe.

Godine 1746. du Châtelet je imenovana članicom Akademije znanosti u Bologni. Immanuel Kant bio je toliko fasciniran njezinim odgovorom Akademijinu tajniku de Mairanu da je 1747. objavio *Gedanken zur wahren Schätzung der lebendigen Kräfte* (*Razmišljanja o pravoj prosudbi živih sila*).

Nakon smrti Émilie du Châtelet

Denis Diderot i Jean le Rond D'Alembert objavili su 1751. prvo izdanje svoje Enciklopedije. U njoj su istaknuli doprinos Émilie du Châtelet 'njutonizmu', kako su tad nazivali ono što danas zovemo klasičnom fizikom. Dvanaest članaka u Enciklopediji doslovni su prijevosi iz du Châteletinih *Institutions*.

Deset godina nakon smrti Émilie du Châtelet, 1759., objavljen je njezin potpuni prijevod Newtonovih *Principia* zajedno s komentarima (slika 7.). Taj se prijevod i danas smatra standardnim francuskim prijevodom tog Newtonova djela.



Slika 7.: Naslovna stranica francuskog prijevoda Newtonove knjige *Philosophiæ Naturalis*

Većina rukopisa Émilie du Châtelet nalazi se u Francuskoj akademiji. Dio njezinih rukopisa zadržao je Voltaire. Te je rukopise nakon Voltaireove smrti 1778. godine, zajedno s njegovom osobnom bibliotekom, u Rusiju prenijela carica Katarina Velika (intenzivno su se dopisivali), i smjestila u tadašnju Carsku javnu knjižnicu (danas Nacionalna javna knjižnica) u Sankt Peterburgu.

Međunarodna astronomska unija je u čast Émilie du Châtelet njezinim imenom prozvala jedan od malih planeta i jedan od kratera na Veneri. Mali planet nosi oznaku “12059–*duChâtelet*”, u izravnoj je orbiti oko Sunca unutar tzv. srednjeg asteroidnog pojasa između Marsa i Jupitera. Promjer mu iznosi 4,8 km. Otkrio ga je belgijski astronom Eric Walter Elst 1. ožujka 1998. godine na zvjezdarnici La Silla u Čileu. Krater na Veneri nosi naziv “*du Châtelet*”, koordinate su mu 21,5° N 165° E, promjer mu iznosi 18,5 km, a naziv je dodijeljen 1994. godine.

Smatra se da je Émilie du Châtelet neopravdano ostala zaboravljena u sjeni svojeg slavnog ljubavnika. Odnedavno je interes za nju u porastu i objavljuju se otkrića o njezinu znanstvenom djelovanju.

Zaključak

Francuska fizičarka Émilie du Châtelet (1706. – 1749.) smatra se tvorcem spoznaje o kinetičkoj energiji i o očuvanju energije.

Leibniz je slutio da osim količine gibanja, kako je tvrdio Newton, mora postojati još neko očuvano svojstvo tijela u gibanju, proporcionalno kvadratu brzine, ali to nije umio dokazati. Gravesande je pri slobodnom padu opazio linearnu proporcionalnost deformacije tla i visine padanja, ali to nije znao objasniti. Émilie du Châtelet ponovila je i potvrdila Gravesandeova mjerenja, objasnila ih kao manifestaciju dotad neprepoznate kinetičke energije i time opravdala Leibnizove slutnje. Ujedno je dokazala očuvanost energije u njezinim pretvorbama između potencijalnog i kinetičkog oblika.

Njezina otkrića nisu prošla bez kritika dijela tadašnje znanstvene zajednice. Načinom kako je oborila kritike svojih radova, Émilie du Châtelet pokazala je još jednu stranu svojeg intelekta i izazvala divljenje znanstvenih krugova u Europi.

Doprinosi Émilie du Châtelet spoznaji o kinetičkoj energiji čine samo dio njezina opusa. Znanstveno je djelovala tek 15 godina.

Literatura

- [1] <http://projectvox.library.duke.edu/du-chatelet-1706-1749/>
[2] https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89milie_du_Ch%C3%A2telet
[3] Detlefsen, Karen: Émilie du Châtelet, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.),
URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/emilie-du-chatelet/>>.

How Émilie du Châtelet updated Isaac Newton

Darko Iveković

Abstract: A status overview of a selected area within classical mechanics in the first half of the 18th century is given. The emphasis is on the development of the concept of the kinetic energy. The role of the individuals of the time, their interaction and contributions are shown. The focus is on the French marchioness Émilie du Châtelet (1706–1749) due to her studies, experiments and publications in the area of kinetic energy. Explained are the credits given to her for the concept of the kinetic energy and of the conservation of energy she proposed and demonstrated.

Keywords: Émilie du Châtelet, kinetic energy, conservation of energy, Newton, momentum, Royal Academy of Science, Voltaire