

---

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**

**KATARINA BOGDANIĆ**

**POVIJESNI RAZVOJ KONCEPTA ENERGIJE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2015. godine**

---

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZKU**

**KATARINA BOGDANIĆ**

**POVIJESNI RAZVOJ KONCEPTA ENERGIJE**

**Diplomski rad**

predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta J.J.Strossmayera u Osijeku radi stjecanja zvanja  
profesora fizike - politehnike

**Osijek, 2015. godine**

---

**„Ovaj diplomski rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Vanje Radolić u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija fizike – politehnike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.“**

---

---

## Sadržaj

Sažetak .....	v
Abstract .....	vi
1. <u>UVOD</u> .....	1
2. <u>STARI VIJEK</u> .....	2
2.1. <u>Uvod</u> .....	2
2.2. <u>Struktura prirode i načela tvari</u> .....	3
3. <u>SREDNJI VIJEK – RENESANSA – NOVI VIJEK</u> .....	7
3.1. <u>Uvod</u> .....	7
3.2. <u>Perpetuum mobile</u> .....	9
3.3. <u>Galileo Galilei</u> .....	13
3.4. <u>Descartesova prirodna filozofija</u> .....	15
3.5. <u>„Vis viva“</u> .....	16
3.6. <u>Newtonov treći zakon gibanja kao preteča koncepta energije</u> .....	17
4. <u>POVIJESNI RAZVOJ KONCEPTA ENERGIJE KAO EKVIVALENTA MEHANIČKE ENERGIJE</u> .....	20
4.1. <u>Uvod</u> .....	20
4.2. <u>Teorija toplinskog i električnog fluida</u> .....	22
4.3. <u>Teorija flogistona</u> .....	24
4.4. <u>Lomonosov i znanstveni razvoj u Rusiji</u> .....	27
4.5. <u>Otkriće zakona održanja energije</u> .....	29
5. <u>METODIČKA OBRADA ZAKONA OČUVANJA ENERGIJE U NASTAVNOM PROGRAMU</u> .....	34

---

---

5.1. Pozicija zakona o očuvanju energije u nastavnom programu.....	34
5.2. Primjeri zakona očuvanja energije u nastavnom programu.....	35
ZAKLJUČAK.....	39
POPIS LITERATURE.....	40
ŽIVOTOPIS.....	42

## **POVIJESNI RAZVOJ KONCEPTA ENERGIJE**

**KATARINA BOGDANIĆ**

### **Sažetak**

U antičkoj Grčkoj se javljaju nove ideje i pokušaji razumijevanja prirode u okviru prirodne filozofije, u kojima možemo pronaći nagovještaje o očuvanju onoga od čega je sve sastavljeno.

U srednjem vijeku važnu ulogu za otkrivanje zakona energije imali su neuspješni pokušaji da se proizvede stroj koji bi radio bez vanjskog izvora energije – perpetuum mobile.

Istovremeno s razvojem mehaničkog objašnjenja koncepta energije razvijao se i koncept topline kao ekvivalenta mehaničke energije kojeg su od 18. st. pa sve do sredine 19. st. pratile netočne teorije (fluidna i flogistonska). Međusobno pretvaranje topline i rada odnosno načelo o održanju energije otkrilo je nekoliko znanstvenika (Mayer, Joule, Helmholtz) neovisno jedan o drugom.

(42 stranice, 9 slika, 5 literaturnih navoda)

**Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku**

**Ključne riječi:** energija, flogiston, fluidna teorija, perpetuum mobile, prirodna filozofija, toplina, zakon održanja energije

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Vanja Radolić

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Zvonko Glumac, dr. sc. Marina Poje

**Rad prihvaćen:** 22.01.2015.

Department of Physics

## **HYSTORICAL DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF ENERGY**

**KATARINA BOGDANIĆ**

### **Abstract**

The historical development of the concept of energy begins early in ancient Greece, where new ideas emerge and attempts to understand the nature within natural philosophy, where we can find hints about preserving one of which is all made up.

In the Middle Age an important role in discovering the laws of energy were unsuccessful attempts to produce a machine that would work without an external source of energy - perpetuum mobile.

In parallel with the development of a mechanical explanation of the concept of energy, concept of heat has evolved as the equivalent of mechanical energy, which in the 18th century followed incorrect theories: fluid and phlogiston until the 19th century, when the facts of mutual conversion of heat and work and the principle of conservation of energy revealed several scientists (Mayer, Joule, Helmholtz) independently.

(42 pages, 9 figures, 5 references)

**Thesis deposited in Department of Physics library**

**Keywords:** energy, fluid theory, heat, law of conservation of energy, natural phylosophy,  
perpetuum mobile, phlogiston

**Supervisor:** izv. prof. dr. sc. Vanja Radolić

**Reviewers:** doc. dr. sc. Zvonko Glumac, dr. sc. Marina Poje

**Thesis accepted:** 22.01.2015.

---

## 1.UVOD

Koncepti u fizici su složeni sustavi ideja koji povezuju fizikalne pojmove s ciljem razumijevanja neke prirodne pojave. Bitna značajka koncepata jest njihova evolucija, odnosno da se s vremenom razvijaju. Ponekad se samo dopunjuju ili promatraju iz nove perspektive, a ponekad se drastično mijenjaju.

Fizikalnim pojmovima opisujemo pojedina svojstva fizikalnog svijeta. Fizikalni pojmovi i fizikalni koncepti su naše ideje o svijetu, no koncepti su obično složeniji sustavi ideja.

Pojam energija se vrlo često pojavljuje u svakodnevnim situacijama. Koriste se pojmovi energije vjetra, energije Sunca, nuklearna energija, kemijska energija, električna energija te mnogi drugi. Međutim, svi ti oblici energije mogu se svesti na energiju koja se pridružuje stanju gibanja tijela te oblicima energije koji se odnose na posebna međudjelovanja tijela i okoline (kinetička energija, potencijalna energija, gravitacijska ili elastična).

Povijesni razvoj koncepta energije je povijest nastojanja čovjeka da prirodne sile usmjeri u svoju korist, te da njihovo djelovanje pretvori u koristan rad. Sve do 18. st. naša se civilizacija razvija na bazi energije životinjskih i ljudskih mišića, na kinetičkoj energiji vode i vjetra, dok se toplinska energija koristi samo za zagrijavanje. Za povijesni razvoj koncepta energije važnu ulogu u prošlosti je imao tehnološki razvoj. Osim tehnološkog razvoja pri definiranju pojma energije i drugih fizikalnih pojmova koji su proizašli iz prirodno – filozofskih stavova veliki utjecaj imaju i drugi vanjski čimbenici poput onih iz drugih znanstvenih područja ili iz društvene prakse.



---

## 2. STARI VIJEK

### 2.1 Uvod

Već je u prapovijesno doba čovjek stjecao prva empirijska fizikalna znanja. Fizikalna znanja empirijski su se stjecala i u prvim civilizacijama: Egiptu, Babilonu, Indiji, Kini i Sredozemlju (antička Grčka i rimska država). U svim tim civilizacijama nadograđivala su se znanja i koncepti o prirodi iz prapovijesnog razdoblja, ali ona su interpretirana tek u staroj Grčkoj u razdoblju od 8. – 4. st. pr. Kr., pa možemo reći da su ondje udareni temelji učenju o prirodi kakve i danas poznajemo.

Prve civilizacije međusobno su se razlikovale i imale neke svoje specifičnosti, ali svima je zajedničko da ne formuliraju opća pravila i načela u znanosti. Sve što se radilo bilo je rezultat empirijskih istraživanja odnosno opažanja. Prirodi i prirodnim pojavama su pridavana i natprirodna svojstva, stvarani su kultovi, mitovi, religije i vjerovanja u čijem je središtu gotovo uvijek bila priroda ili neka prirodna pojava.

Praktične potrebe utječu da se dođe do novih saznanja u svakodnevnom životu, matematici, astronomiji i statistici. Tehnika se tu ne razvija kao primjena znanosti, već se znanost počela razvijati na osnovi tehničkog iskustva skupljenog postupno u dugom vremenu.

U antičkoj Grčkoj se javljaju nove ideje i pokušaji razumjevanja prirode, te dolazi do procvata znanosti, fizike, a posebno mehanike i astronomije.

---

---

## 2.2 Struktura prirode i načela stvari

Antički filozofi imali su neke nagovještaje o očuvanju onoga od čega je sve sačinjeno. Međutim, takve ideje iako na tragu današnjih zakona, ne mogu se poistovjetiti s onim što danas nazivamo „zakon održanja energije“. Kako su ljudi podvrgavali prirodne sile svojoj moći, tako se s prirode otklanjala mističnost koju su joj pridavale stare religije.

S mitskim predstavama prekidali su grčki filozofi tražeći „osnovnu materiju<sup>1</sup> svijeta“. Tales ( 624. – 547. god. pr. Kr.) se nije zadovoljio matematičkom tvrdnjom bez dokaza, tako se nije zadovoljio ni time da prihvati fizikalne tvrdnje ne znajući uzroke pojave o kojoj je izrečena tvrdnja. Babilonci i Egipćani se nikad nisu pitali zašto se neka fizikalna pojava događa na način koji su opažali. Oni su vidjeli da magnet privlači željezo i to je bilo dovoljno za svaku njegovu primjenu. Tales je, međutim, činjenici da magnet privlači željezo pristupio na sasvim drugačiji način, pa je tražio uzrok toj pojavi. Taj uzrok, mislio je Tales, sastoji se u tome što magnet ima dušu. Bez obzira na to što su kasnije objašnjenja privlačenja magnetu bila sasvim drugačija od Talesovih, to je bio prvi odgovor na pitanje zašto se neka pojava zbiva na određeni način. On nije težio tome da nađe uzroke nepovezanih pojava, nego je htio naći međusobnu povezanost pojava, pronaći red u prividnom kaosu pojavnosti. Stoga je Tales tražio neka početna načela, ne osvrćući se na činjenicu da je raspolagao s vrlo malom količinom fizikalnih znanja. Lako je uočio da se voda pojavljuje u tri agregatna stanja: čvrstom, tekućem i plinovitom. Stoga zaključuje da je sve proizašlo iz jednog prvotnog načela – vode. Ma kako mutni bili nazori prvih grčkih filozofa, epohalan se preokret očituje u tome što oni za temelj tumačenja svijeta postavljaju neku poznatu tvar sa svojim realnim osobinama. Time su oni utrli put filozofskom pojmu materije. Ne mogavši se još općenito izraziti, Tales je govorio o „vodi“, a da nije baš doslovce mislio na konkretno fizikalno tijelo. Njemu i njegovim sljedbenicima bili su važna svojstva nerazorivosti i jedinstva – opća svojstva materije.

Parmenid (5. stoljeće pr. Kr.) govori da postoji samo tjelesno: ono što ispunjava prostor, traje vječno. Opća svojstva kao prostornost, beskrajno trajanje u vremenu, jedinstvenost i nerazorivost, koja Parmenid pripisuje onom jedinom što postoji, slažu se sa

---

<sup>1</sup> MATERIJ (lat. materia = građa, tvar ; od mater = roditeljica) tvar. Materija postoji u mnogo različitih oblika, npr. čestice, energija, polja. Osnovno svojstvo materije da ona uvijek ima energiju.

---

našim pojmom materije. Parmenid potpuno materijalistički ističe da se naše mišljenje odnosi na ono što objektivno postoji: Našem je mišljenju sadržaj materija. Tako se postupno u grčkoj filozofiji razvijao široki, opći pojam materije koja jedina realno postoji i koja se odražava u našem mišljenju. Parmenidova filozofska škola zaplela se kasnije u proturječja. Došla je do zaključka da ono jedino što postoji mora biti nepromjenjivo, jer je jedinstveno i istovrsno. No kako da se tad objasne svakidašnje stvari i promjene? Parmenidov učenik Zenon (oko 490. god. pr. Kr. – oko 430. god. pr. Kr.) posljedično tome tvrdi da je gibanje samo pričin. Da ne padnu u taj apsurdni zaključak, grčki su filozofi našli kompromis između Parmenida i očiglednog mijenjanja svijeta. Treba uzeti više počela<sup>2</sup> svijeta! I ako su sama počela vječna, ona ipak razmještajući se među sobom, proizvode različita tijela i pojave.

Empedoklo (49. – 435. god. pr. Kr.) je tvrdio da postoje četiri elementa (prapočela): zemlja, voda, zrak i vatra. Ti su elementi vječni, a uzrok svih promjena u prirodi je spajanje i razdvajanje tih elemenata. Među elementima djeluju sile uz pomoć kojih se elementi dovode u gibanje. Te su sile ljubav, koja spaja i mržnja koja razdvaja. Tako je već tada bio uveden pojam sile, no sila je tada bila shvaćena u psihološkom smislu. Može se uočiti da je Empedoklo u svom učenju uveo i neki oblik zakona održanja. Elementi su vječni i neuništivi: „ Ništa ne može proizaći iz ničega i ne može nestati ako postoji“. Od ovog Empedoklova jasno izrečenog načela, započela je povijest zakona održanja, koji i u suvremenoj fizici imaju veliki značaj.

Demokrit ( 460. – 370. god. pr. Kr.) u svojim radovima tvrdi da iz ničega ne nastaje nešto. Nešto što postoji ne može biti uništeno. Ništa se ne događa slučajno. Ne postoji ništa osim atoma i praznog prostora. Svijet se sastoji od punog i praznog dijela. Puni dio su atomi kojih je broj beskonačan, vječni su, apsolutno jednostavni i slični po kvaliteti. Razlikuju se po obliku, redu i položaju. Atomi se nalaze u praznom dijelu, tj. prostoru. Tvar je za Demokrita građena diskretno, tj. od najmanjih dijelova, atoma, koji se dalje ne mogu dijeliti. Nепrekidne promjene su posljedica skupljanja i razdvajanja atoma. Atomi su nerazorivi, a njihovo je gibanje neuništivo. U tom učenju važnu je ulogu imalo načelo održanja, koje se već susreće i kod Empedokla. Bitna je novina da je Demokrit dopuštao postojanje praznog prostora. On je tvrdio da postoji prazan prostor u kojem se nalazi beskonačno mnogo atoma. Za Demokrita je gibanje atoma vječno. Atomi se gibaju i međusobno sudaraju u beskonačnom prostoru i tako proizvode sva tijela i beskonačni svijet. Na pitanje što je uzrok gibanja atoma, Demokrit nije dao odgovor, već je samo tvrdio da je njihovo gibanje vječno.

---

<sup>2</sup> POČELO – pratvar, ono iz čega prvotno sve proizlazi, nastaje, izvorište, početak, praiizvor svega.

---

Aristotel ( 384. – 322/1. god. pr. Kr.) je preuzeo mnoga učenja od svojeg učitelja Platona (428. – 348. god. pr. Kr.). Preuzeo je Empedoklove elemente, tj. sve u prirodi je sazdano od 4 elementa: zemlje, vode, zraka i vatre. Aristotel smatra da elementi mogu prelaziti jedan u drugi i uvodi pojam sile koja djeluje na elemente. Prema Aristotelu postoje dvije sile: težina koja uzrokuje padanje, i lakoća, koja uzrokuje dizanje. Tijelo se giba smatra on, samo ako na njega djeluje sila. Aristotel razlikuje i dvije vrste gibanja. Prva su prirodna gibanja zbog težnje prema prirodnom mjestu. Osim prirodnih gibanja sva druga gibanja su nasilna i izazvana su silama koja potječu iz nebeskog područja. Živim bićima, kaže Aristotel, nije potreban vanjski pokretač, jer ga ona imaju u sebi. To je duša, koja je izvor gibanja. Aristotel je bio začetnik fizike. Njegova je knjiga *Fizika*, u kojoj se bavio istraživanjem prirode, dala ime za fiziku. Na samom je početku knjige istaknuo da znanost o prirodi mora istražiti osnovne zakone prirode i „elemente“ od kojih je priroda izgrađena. Aristotel je polazio od svakodnevnog i onog što svatko vidi. Zbog toga se njegova dinamika, iako je bila netočna, održala gotovo dvije tisuće godina.

Demokritov učenik Epikur (341. -270. god. pr. Kr.) uveo je težinu kao uzrok gibanja prema gore i prema dolje. Demokrit, naprotiv, nije atomima pripisivao težinu, a za promjene gibanja smatrao je da potječu od stalnih sudara među atomima u prostoru. O Epikurovim radovima i stavovima saznalo se iz sačuvanog spjeva *O prirodi* (De natura rerum) koji je napisao rimski pjesnik i filozof Lukrecije (98. – 55. god. pr. Kr.), koji se opredijelio za Epikurovu varijantu atomizma. Lukrecije postavlja nekoliko načela koje su prije njega iznijeli grčki dijalektičari:

„Iz ništa ne nastaje nešto  
nikakav bog to ne može promijeniti  
Uvijek priroda stvara iz jednog opet drugo  
I ništa ne nastaje, prije nego drugo umre“.<sup>3</sup>

Preuzeo je od grčkih filozofa učenje o praznom prostoru. Kad ne bi bilo praznog prostora, kako bi se atomi kretali? Kad bi sav prostor bio pun, tijela se ne bi mogla pomicati. Njemu je potreban prazan prostor također da bi razjasnio zašto su neke materije tvrde, a neke meke.

Atomu su doduše kruti, ali ostavljajući između sebe mnogo prostora, mogu stvarati i meki zrak. Lukrecije, naravno, samo teoretski dokazuje da atomi postoje.

---

<sup>3</sup> Supek, I. Od antičke filozofije do moderne nauke o atomima. Zagreb : Nakladni zavod Hrvatske, 1946.

---

---

Kod njega je osnovni razlog da materija – kad ne bi bila građena od atoma – ne bi bila u stanju oblikovati nove tvorevine:

„Jer nedostajalo bi joj upravo ono  
što je potrebno za stvaranje, što proizvodi stvari:  
igra spajanja, borba, sudar, težina i gibanje.“<sup>4</sup>

Lukrecije govori da se materija nalazi vječno u gibanju. Nama se samo čini da tijela miruju spokojno, jer ne vidimo unutarnja gibanja atoma.

Epikur – Lukrecijeva atomistika je bila „fizikalnija“, nego Demokritova. Kod Epikura i Lukrecija atomi imaju težinu, gustoću, tvrdoću i neku unutarnju sposobnost za samostalni otklon od pravocrtnog gibanja.

Atomistika je bila vrhunac i kraj antičke materijalističke filozofije. Lukrecijev ep je bio posljednji pokušaj da se zaustavi val religioznosti koji je negirao i osporavao atomistiku. Antički su materijalisti sintetizirali velike tekovine astronomije, geometrije, mehanike i kemije, ali same su se prirodne znanosti počele gasiti. Time je materijalistička filozofija gubila svoju podlogu, a s njom i atomistika.

---

<sup>4</sup> Supek, I. Od antičke filozofije do moderne nauke o atomima. Zagreb : Nakladni zavod Hrvatske, 1946.

---

## 3. SREDNJI VIJEK – RENESANSA – NOVI VIJEK

### 3.1 Uvod

Za srednji se vijek (4./5. st. – 15.st.) obično smatra da je to razdoblje mraka u znanstvenom pogledu. Međutim, neka istraživanja nam govore da je srednji vijek važna spona između starog i novog vijeka, te da je mnogo onoga što se pripisivalo doprinosu 16. i 17. st. zapravo postojalo i ranije, u 14. st., pa čak i u 12.st., a ponešto i mnogo prije. Značajnu ulogu za srednjovjekovnu fiziku i prirodne znanosti ima arapska ili islamska civilizacija u razdoblju od 8. st. do 15. st. Arapi su bili poveznica između istočne i zapadne kulture, između antičke i srednjovjekovne europske znanosti. Preveli su gotovo sva velika filozofska i astronomska djela stare Grčke i gotovo sva prirodno - filozofska djela, što je bilo važno za formiranje njihovog prirodno – filozofskog sustava.

U srednjovjekovnoj Europi prevladavale su antičke teorije, osobito Aristotelovo shvaćanje fizike odnosno prirodne filozofije. Iako u početku Aristotelova djela nisu bila prihvaćena, mnogi zapadnoeuropski filozofi i znanstvenici spojili su svoju filozofsku i znanstvenu tradiciju sa znanjima koja su prihvatili od Arapa. Nastala je tako nova znanost koja se temeljila na arapskoj interpretaciji Aristotelove prirodne filozofije, te na platonističkoj tradiciji i astronomskim shvaćanjima zapadne Europe, jer se lako mogla prilagoditi kršćanstvu, tj. trebalo je staviti da vrijeme teče od trenutka stvaranja svijeta, a ne beskonačno u jednom i drugom smjeru.

Arapski su znanstvenici združili statiku i dinamiku u novu granu fizike – mehaniku. Jedan od najvećih arapskih znanstvenika Abu Ali ibn Sina (Avicenna) (980. -1037.) kritizira Aristotela i njegovu ideju o stalnoj sili koja je potrebna da bi održala gibanje tijela. Tvrdio je da se gibanje nastavlja zbog „inklinacije“<sup>5</sup>, koje se prenosi od tijela koje je potaknulo gibanje na tijelo koje se giba.

---

<sup>5</sup> INKLINACIJA – je prema Ibn Sini nešto stalno, ali razorivo. Inklinacija bi ustrajala beskonačno kad ne bi bilo otpora, a to bi bilo u slučaju gibanja u praznini.

---

U 12. st. došlo je do razvitka znanosti, što se veoma odrazilo tijekom razvijeng srednjeg vijeka.

Jean Buridan (1300. – 1359.) uvodi pojam utisnutog impetusa<sup>6</sup>, koji ovisi o brzini i količini tvari koju ima tijelo koje se giba. Buridan tvrdi da bi impetus, koji održava tijelo u gibanju, ostao održan, ako ne bi bilo vanjskog utjecaja.

Kao podrška teologiji, Aristotelovi su dinamički nazori održali prevlast kroz srednji vijek. Krajem srednjeg vijeka javljaju se nove ideje i pogledi na znanost. Aristotelova prirodna filozofija doživljava tada prve kritike, pa i potpuno negiranje vrijednosti.

Završetkom srednjeg vijeka nastupa renesansa (14. st. – 16. st.). Renesansa predstavlja prekretnicu u razvoju znanosti i kulture. U znanstvenim krugovima dolazi do osporavanja Aristotelovog skolastičkog<sup>7</sup> pristupa znanosti. Srž i glavna zasluga renesansne znanosti je razvoj dinamike. O dinamici je Stari svijet imao nepotpune i djelomično posve pogrešne pretpostavke, te je sveukupna slika o gibanju tijela ostala nedovršena. Renesansna mehanika započela je tamo gdje je stala antička mehanika.

Nakon renesanse, u 17. stoljeću su postavljeni temelji „klasične fizike“. Njezinim se začetnikom smatra Galileo Galilei koji je jedan od osnivača eksperimentalne metode u fizici. Izgrađivao je fiziku temeljenu na pokusu i matematičkom opisu. Uz Galilea brojni su znanstvenici gradili znanstvenu misao u fizici 17. i 18. st., a najvažniji među njima je Isaac Newton koji je definirao temeljne pojmove i formulirao novu sliku svijeta u 17. stoljeću.

U 18. stoljeću dolazi do uspona i osnivanja raznih područja u fizici poput optike, elektrostatike i magnetostatike, te se pojavljuju i prve znanstvene teorije u toplini.

---

<sup>6</sup> IMPETUS – ono što održava tijelo u gibanju, a ovisi o brzini i količini tvari, koju ima tijelo koje se giba.

<sup>7</sup> SKOLASTIKA ( od lat. Scholasticus – školski), uobičajen izraz za filozofsku teološku misao srednjeg vijeka koja je povezana osobito uz škole u kojima je prevladavala teologija s pretežnim utjecajem Platonove, a potom i Aristotelove filozofije.

---

## 3.2 Perpetuum mobile

Važnu ulogu za otkrivanje zakona energije imali su neuspješni pokušaji da se proizvede perpetuum mobile odnosno stroj koji bi radio bez vanjskog izvora energije. Već su i grčki pjesnici maštali o čudesnim spravama koje bi se same kretale i obavljale poslove umjesto ljudi, ali početak tih napora da se napravi stroj koji bi sam sebe pokretao može se naći i u 8. st. Zanimljivi prijedlozi za proizvodnju perpetuum mobila javljaju se u 13. stoljeću kada su se počeli proizvoditi rotacijski strojevi.

Francuski istraživač Pierre de Maricurt, poznat i kao Petrus Peregrinus, u 13. st. istražuje magnetizam. U svom djelu *Epistola de Magneta (Poslanica o magnetima)* iz 1269. god., daje opsežnu raspravu o magnetima. U njema je Peregrinus prvi put odredio položaj magnetskih polova, dokazao je da se raznoimeni polovi privlače, a istoimeni odbijaju. Ustanovio je magnetski monopol, dijelio je magnet na dva dijela i ustanovio da svaki dio ima ponovno oba pola. Zaključio je da se magnetska igla uvijek okreće prema sjeveru. Prikazuje dijagrame u kojima tvrdi da je moguće postići perpetuum mobile. Osmislio je skicu koja pokazuje kako bi se kotač mogao zauvijek okretati pomoću privlačenja magnetna. Njegov uređaj je zupčanik koji prolazi pokraj magnetna tako da zubi naizmjenično privlače jedan pol, a odbijaju drugi.



Slika 1. Peregrinusov „perpetuum mobile“

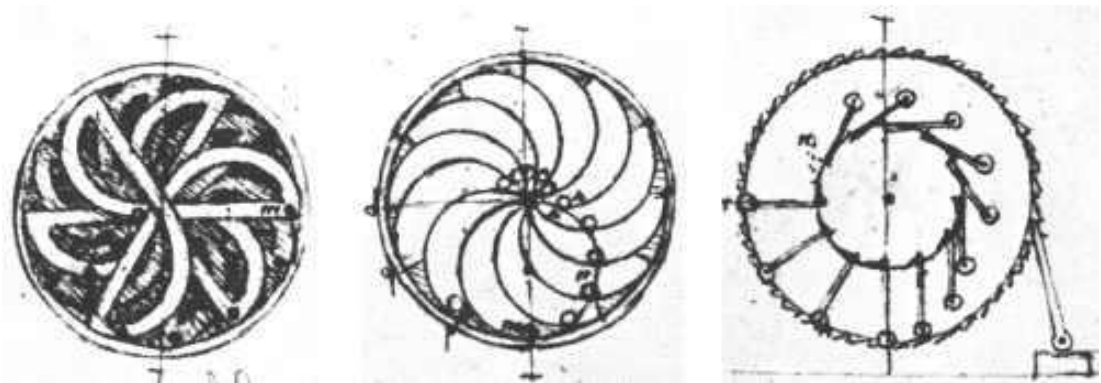
Izvor: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:PM\\_Magnete.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:PM_Magnete.jpg)



---

Peregrinusov suvremenik bio je poznati franjevac Roger Bacon (1214. – 1292.). Bacon je pisao da se mogu načiniti lađe koje veslaju bez ljudi, a vodi ih samo jedan čovjek. Isto tako da se mogu načiniti kola koja ne vuče nikakva životinja, a jure silnom snagom i može se načiniti letjelica tako da jedan čovjek sjedeći u sredini mehanizma vodi stroj zrakom. Bacon nije izmislio ili predvidio brod, automobil i zrakoplov, nego je pod tim mislio da se rad može dobiti iz ničega. U sljedećim stoljećima uslijedili su i konkretni pokušaji u konstruiranju strojeva koji bi se, sami od sebe, neprestano kretali i vršili rad.

Veliki talijanski umjetnik, inženjer, znanstvenik i istraživač u području mehanike Leonardo da Vinci (1452. – 1519.), bavio se proučavanjem gibanja i smatra „da svako gibanje teži k svom održanju“ i „svako gibanje produžava svoj put po pravcu“. Istraživao je slobodni pad, horizontalni hitac, sudar tijela i druge pojave. Napravio je veliki broj skica i crteža naprava za koje se nadao da bi mogle proizvesti energiju.



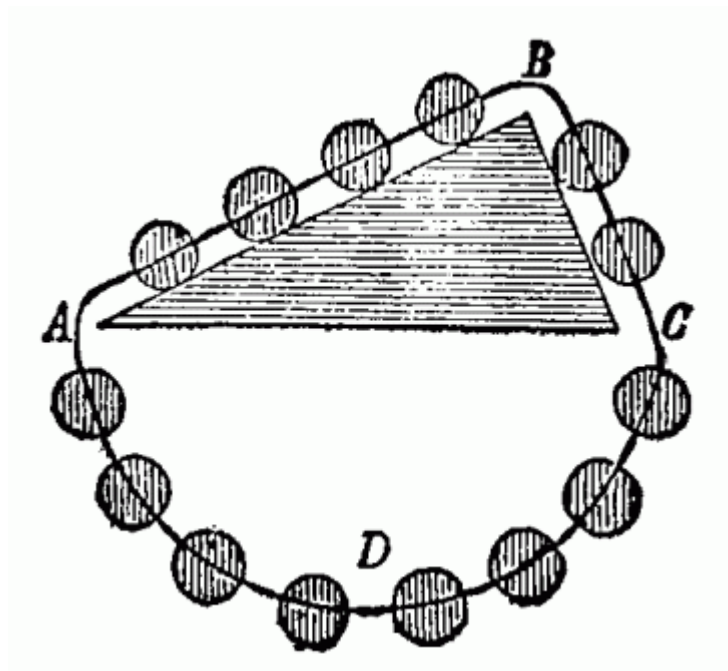
**Slika 2. Leonardovi crteži kotača u vječnom gibanju**

**Izvor: <https://www.lhup.edu/~dsimanek/museum/people/people.htm>**

---

Leonardo je vrlo pažljivo analizirao nekoliko verzija uneravnoteženih, pretegnutih kotača. Kotač se postavi okomito, a na njega se montiraju mnogobrojni utezi na prekretnim ili zakretnim krakovima. Zbog njihova zakretanja jedna strana kotača „preteže“ drugu. Mislio je da će tako utezi na jednoj strani stvoriti veći zakretni moment, što će izazvati okretanje kotača. Ali, pošto zakretni moment ne određuje samo masa utega s ove ili one strane kotača, nego i duljina kraka, tako i svako produljenje kraka usporava okretanje kotača. Leonardo je zaključio da će takvim strojem dobitak biti nula, te 1475. godine objavljuje da vječno gibanje, tzv. „perpetuum mobile nije moguć“. Uskoro su i drugi fizičari i znanstvenici dokazivali da strojevi takve vrste nisu mogući.

Nizozemski matematičar i fizičar Simon Stevin (1548. – 1620.) svoja istraživanja statike donosi u dijelu iz 1586. godine *Načela statike* u kojem perpetuum mobile smatra nemogućim. Došao je blizu ključnom pojmu energije u svojem čuvenom misaonom pokusu koji je osmislio za kosinu. Stevin daje primjer na presjeku trostrane prizme koju obavija lanac načinjen od kuglica. Kosina je nacrtana u obliku pravokutnog trokuta s horizontalnom hipotenuzom. Dio lanca, koji obavija veću katetu, ima veću duljinu i veći broj kuglica od onog koji se nalazi na manjoj kateti. Veći dio ima veću težinu, pa na osnovi toga težina lanca, koja pripada većoj kateti preteže pa lanac prelazi u gibanje. On smatra da sve treba biti u ravnoteži, jer bi inače bilo u vječnom gibanju, odnosno dobili bismo perpetuum mobile. Vječno gibanje Stevin smatra nemogućim, pa na osnovi toga zaključuje da su djelovanja težina kuglica na obje katete jednaka. Na osnovi toga je zaključio da su tereti u ravnoteži, ako su proporcionalni s duljinama stranica trokuta.



Slika 3. Kosina koju obavija lanac načinjen od kuglica

<http://www.lhup.edu/~dsimanek/museum/unwork.htm>

U sljedećim godinama i stoljećima niz drugih fizičara su upozoravali da perpetuum mobile nije moguć. Godine 1775. Francuska akademija znanosti donijela je odluku da neće više razmatrati prijedloge o perpetuum mobileu.

Danas znamo da je nemoguće napraviti stroj koji bi stvarao koristan rad bez utroška nekog oblika energije, zato što bi to bilo u suprotnosti sa zakonima termodinamike. Premda su sve ideje „izumitelja“ perpetuum mobilea u praktičnom smislu bile beskorisne, ipak su kroz razrješavanje prividnih paradoksa i traženja odgovora na pitanje zašto takav stroj ipak ne djeluje, pomogle da shvatimo osnovne zakone fizike, među njima i zakon očuvanja energije.

---

---

### 3.3 Galileo Galilei

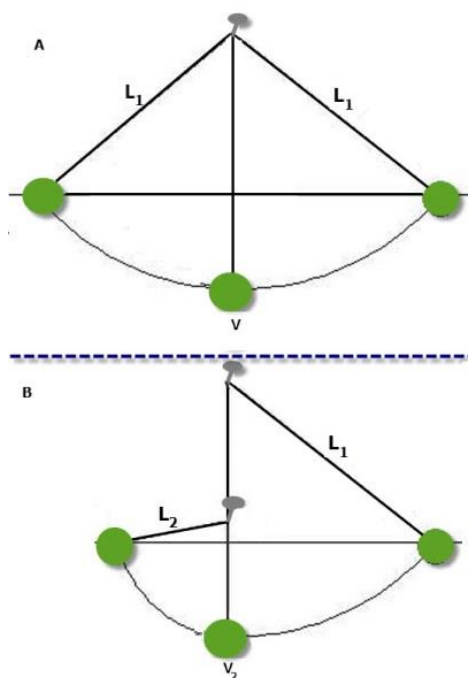
Talijanski fizičar, matematičar i astronom Galileo Galilei (1564. – 1642.) osnivač je eksperimentalne i teorijske metode u fizici. Sintetizirao je sve kritike peripatetičke<sup>8</sup> prirodne filozofije, matematizirao izvode u mehanici, zalagao se za pokus, pa je tako razvio novu mehaniku - kinematiku, ali ipak takvu koja još nije bila dovoljna za izgradnju nove prirodne filozofije. Galilei je vrlo točno odredio osnovne pojmove kinematike, kao brzinu, ubrzanje, jednoliko i jednoliko ubrzano gibanje, te je spoznao slobodni pad kao osobiti slučaj jednoliko ubrzanog gibanja. Pored zakona slobodnog pada, Galilei je postavio i zakone gibanja na kosini.

Galilei se prvi približio načelu energije. Proučavajući padanje tijela niz kosinu, opazio je da brzina tijela ne ovisi o nagibu ravnine nego samo o visini s koje je palo. Brzina pri udaru o tlo jednaka je bez obzira na to je li kuglica s iste visine pala po manje ili više strmom putu. Danas bismo rekli da je u oba pada kuglica izgubila istu potencijalnu energiju, pa su i na kraju kinetičke energije jednake. Ispravnost tog principa Galilei je opazio i u titranju njihala. Kad pomaknemo kuglicu sa dna zaobljene zdjelice u povišeni položaj, tada ona dobiva izvjesnu potencijalnu energiju. Iz povišenog položaja pada kuglica prema položaju ravnoteže. Kada stigne na dno, gubi zadobivenu potencijalnu energiju, ali stekne izvjesnu brzinu. Kinetička energija osposobljava je da se na suprotnu stranu ponovo uzdigne na mjesto više potencijalne energije.

Galilei je primijetio da će se kuglica, ma kakav bio oblik zdjelice na drugoj strani, dići do iste visine za koju je pala. To Galileijevo opažanje sadrži već jezgru načela održanja energije.

---

<sup>8</sup> PERIPATETIČKA FILOZOFIJA (peripatetička – dolazi od grčke riječi „ περι πατεω“ koja označava „šetnju i pri tome raspravu“). Stoga bi Aristotelova filozofija označavala filozofsku raspravu o prirodi u kojoj se obrađuju pitanja o prirodi.



**Slika 4. G. Galilei je pokusima dokazao da se utezi na obje strane njihala dignu do iste visine, ako ne djeluje otpor zraka**

**Izvor: <http://scienceprojectideasforkids.com/2013/galileos-pendulum-exp/>**

Vidimo iz pokusa, gdje je u slučaju B skratio duljinu njihala, te se mijenja nagib njihala. Ali se ne mijenja brzina njihala i kuglica se podigne do iste visine na drugoj strani.

Kvantitativno je princip energije prvi zahvatio nizozemski fizičar i matematičar Christian Huygens (1629. -1695.). Slavni graditelj sata mnogo je razmišljao o titranju njihala. U svom radu *Ure s njihalom* (Horologium oscillatorum), iznio je 1673. godine temeljnu spoznaju dugogodišnjeg ispitivanja. Bilo je to načelo o održanju energije. Huygens je našao da je pri padu kuglice njihala kvadrat brzine razmjeran visini pada. To je isti odnos koji je Galilei postavio za slobodni pad. Huygens je spoznao temeljno značenje veličine  $mv^2$  i umnoška težine s visinom. Premda im nije dao današnja imena i općenitost, on je uveo i upotrebljavao kinetičku i potencijalnu energiju kako to odgovara principu energije. Označimo li s  $m$  masu djelića njihala, s  $v$  njegovu brzinu, a s  $h$  postignutu visinu, tad je prema Huygensu zbroj svih djelova konstantan:

$$\sum \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{konstanta}$$

---

Huygensa možemo smatrati otkrivačem principa energije u mehanici, iako je opće izricanje principa energije bilo moguće tek kada je Newton našao strogi zakon gibanja, tj. prije nego što se u okviru mehanike shvatio puni doseg novog principa.

### 3.4 Descartesova prirodna filozofija i „količina gibanja“

Galilei je bio vrlo blizu načela ustrajnosti, ali mu je nedostajala izričita tvrdnja da će tijelo ustrajati u jednolikom gibanju po pravcu ako nije ničim ometano.

U 17. stoljeću bilo je dosta pokušaja jasnijeg formuliranja tog načela, a jedan od najvažnijih je pokušaj francuskog filozofa, matematičara i fizičara Renea Descartesa (1596. - 1650. god.). U svojem djelu *Načela filozofije* (*Principia philosophiae*) iz 1644. god. Descartes jasnije formulira zakon ustrajnosti u svojim zakonima gibanja:

1. Tijelo ne mijenja svoje stanje gibanja (ili mirovanja) sve dok ono ne sretne neko drugo tijelo ; jednom u gibanju, sva tijela nastavljaju se gibati.
2. Svi dijelovi tvari teže gibanju duž pravca sve dok ne sretnu druge dijelove tvari.

Descartes je proučavao sudare elastičnih kugli i zaključuje da se količina gibanja pri sudaru prenosi bez gubitaka, te zato smatra da je gibanje vječno (neuništivo). Pod izrazom „očuvanje gibanja“ on misli na suvremeni pojam količine gibanja navodeći da ako se jedan dio tvari giba dva puta brže od drugoga dijela, a taj drugi dio je dva puta veći od prvoga dijela, onda moramo držati da ima isto toliko gibanja u prvom koliko i u drugom dijelu. Udari li, na primjer, brza kugla u mirnu, tada može ta mirna kugla preuzeti svu brzinu brze kugle koja se zaustavi. Kada teža kugla udari u mirnu manju kuglu, tada se nešto uspori, a mirna kugla poleti brzo naprijed. U oba slučaja količina gibanja se prenosi od jedne kugle na drugu tako da se pri tome ništa ne izgubi. U svim slučajevima kad se gibanje jednog dijela smanjuje, gibanje nekog drugoga dijela razmjerno se povećava. Descartes je predložio da se gibanje mjeri „količinom gibanja“ koja je prema njemu jednaka produktu brzine i veličine tijela (mase). U tumačenju održanja gibanja tijela po pravcu, kao i očuvanju količine gibanja Descartes odbacuje postojanje sile, pa je tumačenje prirodnih pojava sveo na gibanje i uzajamno djelovanje čestica.

---

Descartes je objasnio prirodne pojave na temelju svojih načela i tako dobio cjelovitu prirodnu filozofiju koja se zadržala do polovice 18. stoljeća kada ju potiskuje Newtonova prirodna filozofija koja je bolje dovršila proces što se u razvitku znanosti odvijao posljednja tri stoljeća kao i zbog njezinih očitih prednosti.

### 3.5 „Vis viva“

Njemački filozof i matematičar Gottfried Wilhelm Leibniz (1646. – 1716.) oblikuje koncept nazvan dinamizam<sup>9</sup> te uvodi pojam takozvane „žive sile“ (vis viva) odnosno neuništive veličine  $mv^2$  svojstvene tvari. Smatra da sila postoji i značajnija je od same tvari, ali ne može djelovati na daljinu nego samo sudarom.

Za Leibniza je sila gotovo vitalistička aktivnost, pa on shvaćanje sile svodi na ono što danas zovemo kinetičkom energijom.

Već je i Huygens smatrao da je veličina  $mv^2$  konstantna u nekom zatvorenom sustavu<sup>10</sup>, pa da će pri elastičnom sudaru dviju kuglica ukupna vrijednost te veličine ostati stalna. Leibniz također tvrdi za svoju veličinu vis vivu (živu silu) da će biti očuvana u zatvorenom sustavu, za razliku od Descartesove *količine gibanja*.

Descartes je isto smatrao da je *količina gibanja*, odnosno veličina  $mv$ , gdje je  $m$  masa tijela, a  $v$  njegova brzina, konstantna u nekom zatvorenom sustavu. Leibnizovi i Descartesovi sljedbenici su vodili raspravu o tom problemu, ali se pokazalo da su i jedni i drugi imali pravo.

Dubrovčanin J. R. Bošković (1711. – 1787.) je isticao da je Descartesova *količina gibanja* vektorska veličina, dok je „vis viva“ skalarna veličina, pa se pokazuje da obje veličine ostaju očuvane. Načelo održanja veličine  $mv^2$  bilo je važno, jer se pokazalo da je to načelo održanja energije, odnosno novog pojma koji je ušao u fiziku i imao sve veću ulogu tijekom 19. stoljeća.

---

<sup>9</sup> DINAMIZAM (grč. dinamis – sila) sila postoji i čak je fundamentalnija od same tvari.

<sup>10</sup> ZATVORENI SUSTAV – fizikalni sustav (skup materijalnih tijela i energije) koji ne izmjenjuju svoj sadržaj (ni energiju, ni tvari) s okolinom.

---

### 3.6 Newtonov treći zakon gibanja kao preteča koncepta energije

Engleski fizičar i matematičar Isaac Newton (1643. – 1727.) obavio je najveću sintezu znanosti. Znanstvene ideje svojih prethodnika je poopćio i sistematizirao u načela mehanike koji omogućavaju da se od tada strogo matematički riješe različiti problemi ili vrste gibanja.

U svojem je djelu *Matematička načela prirodne filozofije* (*Philosophiae naturalis principia mathematica*) 1687. god. izveo gibanja planeta iz izraza za silu po kojemu je ona obrnuto razmjerna s kvadratom udaljenosti i uspio potpuno matematički objasniti sva gibanja. Privlačnost među tijelima obrnuto razmjerna s udaljenošću opća je za sva tijela, bila ona planeti, tijela na Zemlji ili čestice tvari. Ta sila je uvijek iste prirode, pa je zato i nazvana opća gravitacija. Newton ne shvaća tu silu ni kao okultno svojstvo tvari ni kao psihološko privlačenje, nego samo kao „nastojanje“ tijela da se približe, te se to može izraziti matematičkim izrazom. U konačnici njegov zakon gravitacije glasi: Sila kojom se privlače dva planeta razmjerna je umnošku njihovih masa, a obrnuto je razmjerna kvadratu njihove udaljenosti.

Newton definira ključne pojmove mehanike: masu, količinu gibanja, silu i tromost, te formulira tri osnovna aksioma gibanja. Masa mjeri otpor tijela prema promjeni brzine. Što tijelo ima veću masu, teže se ubrzava ili pokreće iz stanja mirovanja. Definira „količinu tvari“ (masu) kao veličinu razmjernu gustoći i obujmu i uočava razmjernost mase i težine. Masa je osnovna veličina Newtonove mehanike.

Dovršio je izgradnju pojmova i načela koja su se javila u fizici prije njega, u prvom redu najvažnije među njima – načelo ustrajnosti. To načelo proučavali su prije njega i Galileo i Descartes, ali Galileiju je nedostajala tvrdnja da će se tijelo gibati jednoliko po pravcu ako nije ometano, a Galileiju i Descartesu da će uzrok ometanja toga gibanja ili promjene gibanja biti sila. Za Newtona je pojam sile temeljni fizikalni pojam te se ona spominje kao uzrok promjene gibanja. Prema tome, može se reći da pojam sile potječe od djelovanja čovjeka na prirodu, te su ljudi kroz svoju vlastitu djelatnost spoznali zakone mehanike.

Po Newtonu sila ima dualnu prirodu, jednu aktivnu, koja djeluje na druge objekte i drugu pasivnu, koja je podložna vanjskim promjenama. Za Newtona je ta pasivna sila svojstvena tvari i



---

---

zove je sila inercije, a upravo zbog nje tijelo ustraje u jednolikom gibanju po pravcu. Aktivna sila je uzrok promjene gibanja, a i Newton je u skladu s tradicijom naziva utisnutom<sup>11</sup> silom.

Na osnovu tih shvaćanja i stavova o održanju gibanja, Newton formulira načelo ustrajnosti kao svoj prvi zakon, zakon gibanja:

„Svako tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu, osim ako zbog djelovanja vanjskih sila ne promjeni svoje stanje.“

U drugom zakonu definira djelovanje sile na osnovi promjene količine gibanja – koju definira kao umnožak brzine i količine tvari:

„Promjena gibanja (količine gibanja) razmjerna je sili koja djeluje na tijelo i odvija se u smjeru u kojem sila djeluje.“

U trećem zakonu Newton je izrazio uzajamna djelovanja među tijelima:

„Svacom djelovanju postoji uvijek suprotno i jednako protudjelovanje, odnosno djelovanja dvaju tijela jedno na drugo su jednaka i suprotnog smjera.“

Uzajamnim silama dva se tijela mogu privući ili odbiti ili zakrenuti u suprotnim smjerovima, ali se nikada ne mogu pomaknuti u istom smjeru:

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

Ili: 
$$m_1 \frac{dv_1}{dt} = -m_2 \frac{dv_2}{dt}$$

Odatle izlazi da je zbroj: 
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = \text{konstanta}$$

Umnožak mase i brzine:  $p = mv$  jest impuls ili veličina gibanja.

Iz Newtonovog aksioma akcije i reakcije izlazi dakle temeljno načelo cijele fizike – načelo o očuvanju impulsa ili veličine gibanja. To načelo nalazimo kod Galileia i Descartesa, ali je strogo utvrđeno tek u Newtonovoj mehanici. Descartes još nije imao pojam mase, pa je veličinu gibanja definirao kao umnožak težine tijela i brzine. On je uveo takvu veličinu gibanja, jer mu je ona mjera za neuništivost gibanja, a ne sama brzina.

---

<sup>11</sup> UTISNUTA SILA (vis impressa), IMPETUS, INKLINACIJA – je djelovanje izvršeno na tijelo kako bi se promijenilo njegovo stanje mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu.

---

Newton je već djelomično uvidio da iz njegovih aksioma gibanja proizlaze načela o očuvanju važnih mehaničkih veličina. Tako iz njegovog trećeg aksioma proizlazi da je ukupna količina gibanja ili impuls dviju čestica u međudjelovanju konstantna: koliko dobije jedna čestica, toliko druga izgubi.

Newtonova prirodna filozofija se temeljila na motrenju i pokusima. U 17.st. fizika se uspjela izdvojiti iz „filozofije prirode“.

Newtonova prirodna filozofija je bila početak novog doba, koje označava razvitak tzv. klasične fizike.

Huygens i Newton su došli blizu zakona o očuvanju energije, prvi u polju sila, a drugi pri centralnoj sili kao što je gravitacija. Polazeći od njihovih rezultata, Daniel Bernoulli (1700.-1782.) je 1748. godine poslao Berlinskoj akademiji raspravu u kojoj pokazuje da je zbroj kinetičke i potencijalne energije konstantan. Pritom se izoštrio pojam rada kao što je bio uveden u statici. Sila  $F$  vrši na malom putu  $ds$  rad jednak:  $Fds$

U gravitacijskom polju na Zemljinoj površini sila teže je konstantna i jednaka umnošku  $mg$  pa kad dignemo tijelo na visinu  $h$ , vršimo rad:  $mgh$

A prema Huygensu je zbroj:

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{konstanta}$$

Prvi je član dobio kasnije ime kinetička energija, a drugi potencijalna.

Gornja jednačba i njezini elementi su svoje nazive dobili nešto kasnije, kada je 1807. godine engleski fizičar Thomas Young (1773. – 1829.) prvi dao ime za energiju, tj. nazvao energijom sposobnost tijela da vrši rad. Mislio je na energiju tijela u gibanju, koja je još od Leibniza, kao „živa sila“, iznosila  $mv^2$  za tijelo mase  $m$  i brzine  $v$ . Francuski fizičar Gustave G. de Coriolis (1792. – 1843.) izračunao je da rad, koji tijelo mase  $m$  i brzine  $v$ , može izvršiti, jednak  $mv^2/2$ . Škotski fizičar William Thomson (1824. – 1907.), poznatiji kao Lord Kelvin, 1856. godine nazvao je  $mv^2/2$  kinetičkom energijom. Ali, tijelo ima sposobnost vršiti rad i zbog svojeg položaja, pa je škotski inženjer William M. Rankine (1820. - 1873.) tu energiju 1852. godine nazvao potencijalnom. Definirana kao  $mgh$ , gdje je  $g$  akceleracija sile teže, a  $h$  visina pada tijela, mogla je biti izjednačena sa kinetičkom  $mv^2/2$  i time je bilo udovoljeno zakonu mehaničke energije, koji je 1693. god. već Leibniz najavio.

---

## 4. POVIJESNI RAZVOJ KONCEPTA TOPLINE KAO EKVIVALENTA MEHANIČKE ENERGIJE

### 4.1 Uvod

U prošlosti, od početaka civilizacija ljudi su toplinu poistovjećivali s vatrom. Grčki filozof Heraklit iz Efeza (oko 540. – 475.god.pr.Kr.) vatru čak uzima kao počelo, jer je u njoj vidio stalnost u promjeni svojstvenoj materiji koja je vječna; vatrom se jedno gubi dok se drugo stvara. Heraklit vatru smatra središnjim elementom koji kontrolira i oblikuje zemlju i vodu. Hipokrat (460.g.pr.Kr.) smatra da je toplina „količina“ koja pokreće organizam, a potječe iz „unutrašnje vatre“.

Aleksandrijski matematičar Heron (oko 100.g.pr.Kr.) je opisao mnoge mehaničke uređaje, između ostalih i primitivni parni stroj koji je bio prethodnik modernih parnih strojeva na turbinu. U šuplju kuglu ulio je vodu i grijao ju na vatri sve dok se voda nije pretvorila u paru. Tada je para izlazila kroz dvije cijevi koje su bile savinute u suprotnom smjeru. Kako je para izlazila, tako se kugla okretala. Heron je pritisak pare primjenjivao i za druge uređaje, ali se njegov genij većinom trošio za izmišljanje čudesnih „igračaka“ iskorištavajući novu prirodnu silu da izazove zanimljive pokrete različitih uređaja.



Slika 4. Heronov parni stroj

Izvor: [http://hr.wikipedia.org/wiki/Heronova\\_kugla#mediaviewer/Datoteka:Aeolipile\\_illustration.png](http://hr.wikipedia.org/wiki/Heronova_kugla#mediaviewer/Datoteka:Aeolipile_illustration.png)

---

---

Propašću antičkog društva takvi pokušaji su izgubili na značaju i tek se početkom 17. st. ponovno nastavilo s istraživanjem plinova i toplinskog ponašanja materije.

U 17. st. su se pojavile i prve konstrukcije termoskopa koje su pojašnjavale pojmove o toplini i temperaturi. Galileo Galilei je napravio prvi termoskopa 1592. god. i time započeo znanstveno proučavanje toplinskih pojava.

Javljaju se i prvi pokušaji stvaranja teorije topline. Pod utjecajem atomističkih shvaćanja dolazi se do pretpostavke o toplini kao gibanju sitnih čestica u tvarima. Takvo stajalište su prihvaćali mnogi znanstvenici: Galilei, Hooke, Boyle, Newton, a u 18. st. su to bili Daniel Bernoulli (1700. – 1782.) švicarski matematičar koji u svojoj knjizi *Hydrodynamica* iz 1738.god. govori da se toplina plina sastoji u gibanju molekula, pa je temperatura plina razmjerna kinetičkoj energiji molekula kao i Leonhard Euler (1707. – 1783.) koji zagovara mehaničku teoriju topline.

U 18. st. razvija se teorija flogistona, koja je bila prihvaćena među kemičarima sve do Lavoisiera. Dolazi i do fluidne teorije topline, odnosno koncepta topline kao fluida koji prelazeći s jednog tijela na drugo uzrokuje njegovo zagrijavanje ili hlađenje.

U 19. st. dolazi do razvitka termodinamike i kinetičke teorije plinova, te otkrića zakona očuvanja energije.

---

---

## 4.2 Teorija toplinskog i električnog fluida

Znanstvenici koji su prihvaćali atomizam u 17. i 18. st. zamišljali su da toplina potječe od gibanja takvih čestica. Galilei, Boyle i Gasendi smatrali su da se gibanje čestica od kojih je sastavljeno neko tijelo očituje kao toplina tijela. I. Newton je u svojoj knjizi *Optika* iz 1704. god. tvrdio da se toplina sastoji u sitnim vibracijskim gibanjima čestica tijela.

Daniel Bernoulli (1700. – 1782.) švicarski matematičar i fizičar u svojim radovima je razradio model plina temeljen na pojmu gibanja čestica i utvrdio da povećanje topline odgovara povećanju brzine čestica.

U 18. st. nekolicina znanstvenika se zalagala za mehaničko objašnjenje topline. Lavoisier i Laplace poistovjetili su 1780. god. toplinu s Leibnizovim pojmom žive sile, koja je dana izrazom  $mv^2$  što je posljedica gibanja molekula u tijelu. Time su toplinu sveli na mehaničku energiju gibanja čestica od kojih je tijelo sastavljeno.

Atomistička shvaćanja odražavala su se i u objašnjenju električnih pojava. Obnovom tih atomističkih shvaćanja u 16. st. obnovljena je i atomistička teorija objašnjenja električnih pojava. Engleski fizičar i filozof William Gilbert (1544. – 1603.) poznat po svojim radovima iz magnetizma i elektriciteta drži da elektrici<sup>12</sup> emitiraju efluvij<sup>13</sup> i smatra da su efluviji oblaci čvrste tvari oko natrljanog elektrika i da ti oblaci čine neposredni kontakt s privučenim objektom. Iako se električna teorija razlikovala od teorije topline kao gibanja čestica, zajedničko im je bilo što su obje teorije u određenom smislu bile mehaničke. Mehanička teorija topline u 18. st. je bila logična posljedica atomističke teorije i Newtonove mehanike. Ipak pojavile su se poteškoće u njenom tumačenju koje su proizašle iz pokusa škotskog fizičara i kemičara Josepha Blacka (1728. – 1799.) koji je utvrdio da za topljenje leda nije dovoljno da poprими temperaturu 0 °C, nego da je na svaku jedinicu leda potrebno dovesti još jedinicu vode temperature ~ 78 °C. Posljedica toga je bilo da postoji neki agens koji izaziva promjenu sastava tijela, a osjeća se kao temperatura tijela.

---

<sup>12</sup> ELEKTRICI – William Gilbert (1544. – 1603.) je tako nazvao sve tvari koje imaju slična svojstva kao jantar (natrljani jantar privlači lagane predmete).

<sup>13</sup> EFLUVIJ – u Descartesovoj prirodnoj filozofiji označava vrtloge koji uzrokuju gibanje. U fluidnoj teoriji je vrtlog koji okružuje svaki električni objekt, što je potaklo na mišljenje da je i elektricitet fluid.

---

Takav agens se u ono vrijeme lako mogao naći u sklopu Descartesove prirodne filozofije, iz koje se mogao uzeti pojam fluida, sličnog eteru<sup>14</sup> za kojeg je Descartes smatrao da ispunjava prostor i omogućava objašnjenje gibanja planeta. Slično tome, Black zamišlja postojanje fluida koji je karakterističan za toplinske procese; smatra da je toplina manifestacija toplinskog fluida. Black je držao da se toplinski fluid nalazi vezan u tvarima, a da se tvari razlikuju svojim toplinskim kapacitetom, to jest specifičnom toplotom.

Za razliku od mehaničke teorije u toplinskoj teoriji fluida se postuliralo postojanje fluida posebne vrste, koji je bez težine, rasprostranjenog po cijeloj tvari, sposobnoga da pronikne sva tijela, spajajući se s njima i pretvarajući čvrsta tijela u tekuća, a tekuća u plinovita. Ta teorija dopušta kvantitativno mjerenje topline, za razliku od mehaničke koja je tada bila kvalitativna. S obzirom da je u to doba mjerenje postavljeno za temelj svakog istraživanja, to su i znanstvenici radije prihvaćali teoriju fluida nego mehaničku teoriju topline.

Poput atomističke teorije topline i mehanička teorija elektriciteta doživljava modifikaciju. Zbog otkrića dvije vrste elektriciteta Charles Francois de Cisternoy du Fay (1698. – 1739.) pokušavao je objasniti mehaničku teoriju elektriciteta u sklopu teorije efluvija, pretpostavivši da postoji vrtlog efluvija koji okružuje svaki električni objekt, pa kako vrtlozi djeluju jedan na drugoga, objekti se združuju. Ta teorija je bila zaokret prema Descartesovoj prirodnoj filozofiji i teoriji vrtloga, s obzirom da su znanstvenici tog doba bili uvjereni da unutar naelektriziranog tijela postoji neki električni fluid. Američki fizičar i političar Benjamin Franklin (1706. – 1790.) je zastupao jednofluidnu teoriju elektriciteta i njegovu čestičnu prirodu. Franklin pretpostavlja da kod dva tijela od kojih u jednom imamo višak fluida, a u drugome manjak, to će onda, ako su tijela u vezi, višak prelaziti s prvog tijela na drugo tijelo do izjednačenja, isto kao što se voda preljeva iz posude s višom razinom u posudu s nižom razinom ako su one spojene. Ta teorija električnog fluida je bila upotrebljiva pa su je znanstvenici odmah prihvatili.

Jedan od razloga zašto je prihvaćena teorija fluida, a ne mehanička teorija topline bio je i taj što je ona omogućavala da se toplina može i mjeriti. Količina topline se mjerila:  $\Delta Q = cm\Delta t$  i postala je temeljem razvoja znanosti o toplini. Jedinica za toplinu „kalorija“ je uvedena tek 1852. godine.

---

<sup>14</sup> ETER ( dolazi od grč. riječi i znači: čisti gornji zrak, nebo) zamišljena tvar koja bi ispunjavala vakuum.

---

Među znanstvenicima koji su prihvaćali toplinsku i električnu teoriju fluida bio je i Josip Ruđer Bošković (1711. – 1787.). Za njega su toplinski i električni fluidi atomističke strukture. Između čestica toplinskog i električnog fluida djeluju sile, te postoje međudjelovanja između čestica fluida i čestica tvari. Bošković je sve prirodne pojave tumačio mehanički, stoga navodi da točno određeno gibanje između čestica tvari i čestica pojedinog fluida karakterizira toplinu, svjetlost, elektricitet, kemijske pojave, odnosno sve pojave u prirodi.

Teorija toplinskog fluida zadržala se sve do polovice 19. st. kada je otkriven zakon održanja energije u radovima Mayera, Joula i Helmholtza, te se u znanosti opet vratila teorija topline kao gibanje čestica.

### 4.3 Teorija flogistona

Početkom 18.st. pojavila se teorija flogistona koja je bila posebno prihvaćena među kemičarima.

R. Boyle je u svojem djelu *Sumnjičavi kemičar* iz 1661. god. ostavio kemičare bez počela, ustvrdivši da ona počela kojih se kemičari drže, to nisu. Naime, pokusima se dokazalo da su zrak i vatra „sredstvo“ koje pomaže u kemijskoj promjeni. Počelo se može ustanoviti jedino analizom tako da se dođe do tvari koja se više ne da rastaviti, a Boyle je ostavio i mogućnost da počela uopće i nema.

U takvim neizvjesnim prilikama za kemiju, njemački liječnik i znanstvenik Johann Joachim Becher (1635. - 1682.) svojom *Podzemnom fizikom* iz 1669. prvi dao sustavnu kemijsku teoriju. Kemičarima je „zemlja“ bila ona vrsta tvari koju dalje nisu mogli rastaviti.

Johann J. Becher uzima za počelo „masnu zemlju“<sup>15</sup> sadržanu u svim gorivim tvarima kao što je sumpor, te tvarima biljnog i životinjskog porijekla. Becher drži da gorenjem ona razrijedi tvar na čestice koje vatrom izgore.

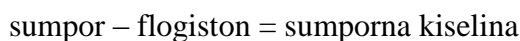
Becherovu zamisao o tvornom uzroku gorenja preuzeo je njemački kemičar i liječnik Georg Ernst Stahl (1659. – 1734.) i njome utemeljio flogistonsku teoriju 1697. god. Kao dobrom

---

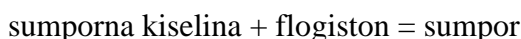
<sup>15</sup> MASNA ZEMLJA – jedna od tri osnovne tvari koje grade sva tijela prema J. J. Becheru: 1. Staklena zemlja (daje čvrstoću), 2. Živina zemlja (svojstvo taljenja) i 3. Masna zemlja (svojstvo zapaljivosti).

---

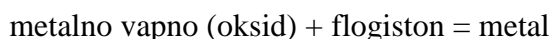
poznavatelju metalurgije, Stahlu je praktično iskustvo bilo temelj za flogistonsku teoriju, odnosno istaljivanje metala iz rude s pomoću ugljena bilo mu je nadahnuće za teoriju flogistona. Becherovu „masnu zemlju“ nazvao je flogistonom prema grčkoj riječi phlox – plamen, phlogistos – spaljen, pa kako prema Becheru gorive tvari sadrže „masnu zemlju“, prema Stahlu one sadrže flogiston kojeg ispuštaju kada gore, pa je proizvod gorenja tvar lišena svog flogistona. Važan dokaz za svoje pretpostavke o flogistonu, Stahlu je bio pokus redukcije sumporne kiseline u sumpor. Sumporna kiselina dobivala se, osim suhom destilacijom zelene galice, još i paljenjem sumpora. Stahl je zaključio da je sumporna kiselina sumpor bez flogistona. Kalijev sulfat je ugrijao s ugljenim prahom i kalijevim karbonatom, te dobio kalijev polusulfid i iz otopine istaložio sumpor octenom kiselinom. Stahlu je to bio sumpor nastao od sumporne kiseline i flogiston iz ugljena. Dakle, prema Stahlu jednadžba:



označava gorenje sumpora, a jednadžba:



Jednadžba predstavlja vraćanje, redukciju, sumporne kiseline flogistonom iz ugljena u sumpor. Taj pokus je doveo u vezu dvije kemijske promjene: oksidaciju – davanje flogistona i redukciju – primanje flogistona. Pokusom je Stahl proširio valjanost svoje teorije na druge kemijske promjene. Metal žarenjem ispusti svoj flogiston i prijeđe u „vapno“, a flogiston (iz ugljena) ga vrati u metal:



Flogiston je prema Stahlu sadržan u samoj tvari, kao tvarni princip i kao sastojak cijelog spoja. Flogiston nije počelo vatre, nego „materijalni princip“ koji svojim izlaženjem iz gorućeg tijela izaziva burno i vrtložno gibanje čestica, jer plamen čine goruće tvari. A dokaz da snažno gibanje može proizvesti toplinu je da se komad željeza usije od učestalih udaraca čekićem. Flogiston je neuništiv, te izašavši iz tijela flogiston se ne izgubi nego kruži u prirodi i prihvaćaju ga biljke, stvarajući od njega drvo, smolu, ulje i dr.

Iako je porast težine užarenog metala bio najjači dokaz protiv Stahlove teorije jer bi metal izgubivši flogiston morao olakšati, Stahl tome nije pridavao pozornost, jer prema njemu flogiston nije imao težinu, pa otežanje metala nije ovisilo o flogistonu. Postojale su pretpostavke



---

o flogistonskoj relativnoj lakoći (zato što je lakši od zraka, diže se uzgonom) i o negativnoj težini. Flogiston je negativno težak, udaljuje se od zemlje silom suprotne gravitaciji.

Takvim pretpostavkama se htjelo spasiti flogistonsku teoriju od najjačeg eksperimentalnog protudokaza porasta težine metala kalcinacijom.

Uspjeh flogistonske teorije bio je u nepoznavanju zraka. Zrak više nije bio počelo te kemičari nisu očekivali njegovo spajanje s tvarima i tako su ostali bez ključnog dokaza protiv flogistonske teorije.

Nakon Stahla važna otkrića učinili su upravo liječnici, većinom profesori medicine. Jedan od njih bio je Hermann Boerhaave (1668. – 1738.) koji nije prihvatio flogiston, nego se prema njemu u tvarima nalazi neka „hrana vatre“ (pabulum ignis), koju vatra uzima. Ima više vrsta te hrane. U sumporu je „ulje“ koje se vatrom rasprši, a kiselina preostane. U metalima je ona nešto „sumporovito“, što gorenjem izađe.

Porast težine metala kalcinacijom<sup>16</sup>, kao nešto sporedno tumačio je kao primjesom tvari, a ne česticama vatre. Zrak je smatrao mogućim sudionikom u kemijskoj promjeni, a ne samo pomagalom.

Johann Juncker (1679. -1759.) profesor medicine na Sveučilištu u Halleu je 1730. godine objavio knjigu *Conspectus Chemiae theoretico – practicae* (Ogledi iz teorijske i praktične kemije) koja se smatrala uvodom u flogistonsku kemiju. Juncker je flogiston odredio kao „vatrenu tvar“ (materia ignis), a porast metala kalcinacijom objasnio je povećanjem gustoće.

Stahlovu flogistonsku teoriju prihvatili su kemičari, prvo u Njemačkoj, a zatim u Francuskoj, Engleskoj i Švedskoj, ali ne svi. Oni koji su je prihvatili nisu bili zadovoljni njenim izvornim oblikom, bila im je sporna pretpostavka o težini i lakoći flogistona, te nastaje inačica „stare“ Stahlove teorije.

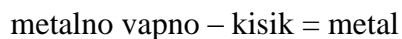
Za širenje flogistonske teorije među francuskim kemičarima u 18.st. bila je zaslužna knjiga *Novi tečaj kemije među Newtonovim i Stahlovim načelima*, knjigu je napisao dvorski liječnik kralja Luja XV. J. B. Senac, a također je i prijevod na francuski jezik 1757. Junckerovih *Ogleda* bio važan za upoznavanje francuskih kemičara s flogistonskom teorijom.

---

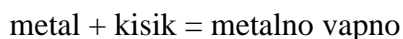
<sup>16</sup> KALCINACIJA – (prema kalcij), postupak nazvan prema istjerivanju ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>) iz vapnenca (CaCO<sub>3</sub>) žarenjem, pri čemu nastaje živo vapno (CaO); općenito, zagrijavanje (žarenje) tvari na visoku temperaturu, ali nižu od tališta. Kalcinacija se često primjenjuje pri dobivanju metala iz ruda.

---

Antoine Laurent Lavoisier (1743. – 1794.) je ponovio pokuse pretvaranja metalnog vapna u metal i obrnuto, te je 1770. postavio novu pretpostavku te pretvorbe i odbacio pojam flogistona. Lavoisier je utvrdio da je vapno teže od pripadnog metala i obratio pozornost na težinu, zaključivši da „vapnu“ treba nešto dodati, a ne oduzeti da bi se dobilo metalno vapno. Taj proces je bio obrnut od onog s flogistonom i nazvan je redukcija:



odnosno:



Tim pokusom je riješena zagonetka u vezi s težinom. Lavoisier je još utvrdio da je dobitak težine željeza u procesu oksidacije upravo onoliki koliki je gubitak kisika u zraku, odnosno da i za tvar vrijedi načelo očuvanja. Zaključio je i da je materija neuništiva: Jednaka je materija prije i poslije kemijske reakcije.

#### 4.4 Lomonosov i znanstveni razvoj u Rusiji

Sve do 18. stoljeća Rusija je zaostajala u znanstvenom razvoju za zemljama zapadne Europe. U 18. st. dolazi do razvitka kemijske znanosti. Utemeljitelj ruske kemije i fizike bio je Mihail Vasiljevič Lomonosov (1711. – 1765.). U duhu vremena Lomonosov se počeo baviti mineralogijom i kemijom.

Lomonosov je bio prvi koji je kemijske pojave tumačio atomistikom. Njegova korpuskularna teorija bila je poput Boyleove. Najmanje nezamjetljive čestice koje je češće zvao elementima nego atomima, udružuju se u složene čestice, molekule. One su sastavljene ili od jednakih ili od različitih elemenata, jer njihov sastav odgovara ukupnom sastavu tijela. Lomonosov tako preuzima Boyleovo učenje i nastavlja njegov rad da se elementi nikakvim sredstvima ne daju dalje razlagati.

Korpuskularna teorija dovela je Lomonosova do kinetičke teorije topline u raspravi *Razmišljanja o uzroku topline i hladnoće* (Meditationes de calories et frigoris causa) iz 1750. godine. Umjesto pretpostavke o toplini kao posebnoj toplinskoj tvari, pretpostavio je da je toplina unutrašnje gibanje čestica, njihova rotacija, očito pod Descartesovim utjecajem. Pri

---

kemijskim procesima najveću ulogu igra toplina, ali odbacuje toplinu kao neku supstanciju, za koju su kemičari u 18. st. smatrali da je toplina. U svojoj fizikalno – kemijskoj raspravi 1740. god. piše:

„Toplina se tijela sastoji u unutarnjem gibanju.  
Dokaz: nikakva se promjena tijela ne događa bez gibanja.  
Kad tijelo primi toplinu, promjeni se. Neophodno je  
dakle da se toplina sastoji u gibanju,  
koje je vrlo često nezamjetljivo za naša osjetila.“<sup>17</sup>

Takva razmišljanja da se toplina sastoji u gibanju atoma ima ishodište u jednostavnim činjenicama. Kada teška kugla padne na metalnu ploču, metal se zagrije. Za Lomonosova ta pojava je jednostavno dokaz da je vidljivo gibanje kugle prešlo u nevidljivo gibanje atoma. Takvim razmišljanjem je shvatio bit. Našao je da jakost unutrašnjeg gibanja određuje stupanj topline. Što se molekule ili atomi brže gibaju, tijelo ima veću temperaturu.

Pobijajući hipotezu da je toplina supstancija, Lomonosov je otkrio shvaćanje o očuvanju materije. Eksperimentalno je ispitivao da li se pri gorenju povećava ili smanjuje masa tijela. Našao je da se materija pri gorenju ne gubi, nego se, naprotiv veže sa česticama zraka.

Kalcinacijom metala dobiveno „vapno“, prema Lomonosovu ne oteža zato što su se za metal vezale čestice vatre – kako je to tvrdio Boyle, nego zato što su se vezale čestice neke druge tvari koja inače lebdi u zraku, da je tvar vatre ostala u vapnu ne bi se ono moglo vatrom opet vratiti u metal.

Zakon o očuvanju mase je također predmet rasprave u Lomonosovoj ulozi u znanosti. Lomonosov je svoj zakon formulirao 1748. na latinskom jeziku u pismu Leonhardu Euleru ovako:

„Sve promjene u prirodi događaju se tako da ono što se nečem dodalo, nečem drugom se oduzelo. Dakle, koliko tvari neko tijelo dobije, toliko drugo tijelo izgubi, koliko vremena potrošimo na spavanje, toliko mi nedostaje u budnosti itd. Taj prirodni zakon, jer je sveopći, vrijedi i za pravila gibanja: tijelo koje udarcem pokrene drugo tijelo na gibanje, izgubi toliko od svog gibanja koliko je dalo drugom tijelu.“<sup>18</sup>

---

<sup>17</sup> Supek, I. Povijest fizike. Zagreb : Školska knjiga, 2004.

<sup>18</sup> Grdenić, D. Povijest kemije. Zagreb : Školska knjiga, 2001.

---

U ovom obliku zakon su već izrekli antički filozofi. A ovako napisan u raspravi o gibanju imao je značenje zakona o očuvanju veličine gibanja.

Svojim atomističkim tumačenjem kemijskog spajanja, kinetičkom teorijom topline i načelom očuvanja mase i gibanja Lomonosov je bio ispred mnogih istaknutih kemičara 18. st. Zauzima se za znanstveno egzaktnu kemiju, kemiju koja se poput fizike služi matematikom. Možemo reći da je M. V. Lomonosov otkrio dva najvažnija načela u fizici: zakon održanja mase i energije, ali je živio u tada zaostaloj Rusiji, pa njegovi zakoni nisu u punoj mjeri utjecali na razvitak znanosti.

#### 4.5 Otkriće zakona održanja energije

Tehnološki razvoj i izgradnja industrije u 19. st. omogućili su veliki napredak prirodnih znanosti. Osnivali su se instituti u kojim su se znanstvenim istraživanjima unaprjeđivale tehnološke metode rada, a također su ta istraživanja doprinijela otkrivanju novih fizikalnih pojmova i pojava.

Važnu ulogu su u to vrijeme imali parni strojevi, pa je znanstvenike posebno zanimala pretvorba topline u mehanički rad. Granu fizike koja se bavila takvim istraživanjima škotski fizičar William Thomson (lord Kelvin) 1849. god. je nazvao termodinamika.

Jedan od utemeljitelja termodinamike bio je francuski fizičar i inženjer Nicholas Sadi Carnot (1796. -1832.) koji je u povijest znanosti ušao knjigom *Razmišljanja o pokretačkoj moći vatre i o strojevima koji tu moć mogu razviti* (Reflections sur la puissance motive du feu et sur les machines propres a developper cette puissance) koja je postala temelj termodinamike.

Carnot je uvidio da je toplina ekvivalentna mehaničkom radu, ali da u rad nije potpuno pretvorljiva (zakoni termodinamike), pa je pitanje koje je zanimalo inženjere bilo koji je to dio što se u idealnom slučaju može pretvoriti u mehanički rad. Svoja istraživanja Carnot je izrazio riječima:

„Da bi se uvidjelo načelo po kojem se gibanje u potpunosti dobije od topline, treba ga ispitati neovisno od bilo kakvog mehanizma ili određenog sredstva. Rasuđivanje treba primijeniti

---

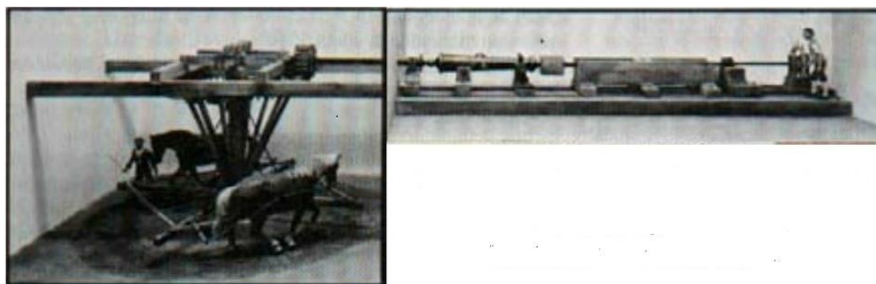
ne samo na parne strojeve nego i na sve zamišljene toplinske strojeve bez obzira na upotrjebljeno sredstvo i način kojim se na nj djeluje. „<sup>19</sup>

Carnot je zaslužan za uvođenje kružnih procesa pri radu toplinskog stroja i naglašava da je za djelovanje toplinskog stroja važna razlika temperature toplijeg i hladnijeg spremnika topline.

U svojem dnevniku, koji je objavljen poslije njegove smrti, Carnot je dao i formulaciju zakona održanja energije. Za energiju je koristio izraz sila gibanja, te za toplinu govori da je nešto kao sila gibanja, koja mijenja svoj oblik i gdje nastaje sila gibanja nastaje i količina topline proporcionalna količini sile gibanja. U nastavku navodi da u djelovanju ta sila gibanja mijenja oblik, tj. jedna vrsta gibanja izaziva drugo, ali nikada ne nestaje.

Engleski fizičar Benjamin Thompson, poznat kao grof Rumford (1753. - 1814.) je 1798. godine opazio da se topovska cijev zagrijava pri bušenju svrdlom. Topovsku cijev od bronce je napunio vodom i bušio ju tupim svrdlom. Voda se u cijevi zagrijava i nakon nekog vremena počela ključati. Rumford je zaključio da se okretanjem svrdla može dobivati toplina, te da se toplina dobivena trenjem protivi shvaćanju da je toplina fluid, odnosno fluidnoj teoriji.

Bušilicu je pokretao konj, te je Rumford također pretpostavio da se i konj mora hraniti da bi što duže okretao bušilicu. Iz toga je primijetio da bi se dobila ista količina topline kada konj ne bi okretao svrdlo, nego kad bi se hrana (sijeno) zapalila. U tom njegovom zapažanju o ekvivalentnosti topline i rada, tj. da rad konja potječe od energije sadržane u hrani, a taj rad dalje služi za proizvodnju topline leže korijeni načela održanja energije.



**Slika 5. Prikaz Rumfordovog pokusa bušenja topovske cijevi u muzeju u Münchenu.**

**Izvor: <http://www.eoht.info/page/Cannon+boring+experiment>**

Takve činjenice o međusobnom pretvaranju topline i rada srušile su fluidnu teoriju i na temelju pokusa postalo je jasno da mora postojati neko jedinstveno načelo na kojemu se temelje

---

<sup>19</sup> Grdenić, D. Povijest kemije. Zagreb : Školska knjiga, 2001.

---

mehanički i toplinski efekti, odnosno otvoren je put otkrivanju načela o održanju energije. To načelo je polovicom 19. st. je otkrilo nekoliko znanstvenika, neovisno jedan o drugom.

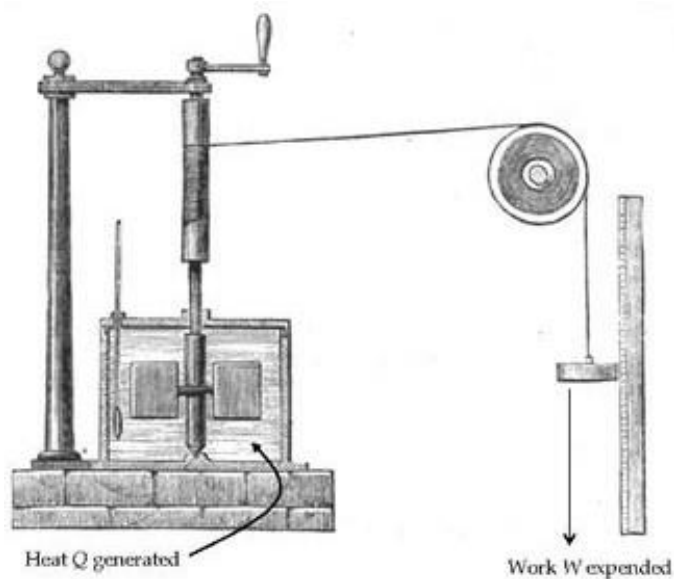
Jedan od znanstvenika koji je proučavao zakon održanja energije bio je njemački liječnik i fizičar Julius Robert Mayer (1814. - 1878.). Mayer se na temelju opažanja prirodnih pojava zainteresirao za fiziku i napisao znanstveni rad pod nazivom *O količinskim i kvalitativnim određivanjima sila* koji je poslao J. C. Poggendorfu (1796. - 1877.) u časopis „*Annalen der Physik*“. U tom radu Mayer je predvidio zakon održanja energije. On piše da u prirodi ima nešto što je neuništivo i da iz ničeg ne nastaje nešto. Prema njemu sve se može mjeriti silom: tijela u gibanju, tijela kad se podignu, zagrijana tijela, molekule, magneti, električne pojave i svjetlost. Pod silom se misli na energiju. Pojam sila se još uvijek koristio pod utjecajem Leibnizove „žive sile“. Međutim, Mayer nije imao prirodoslovnu naobrazbu, pa je u svom radu više nagađao nego dokazivao, a neke tvrdnje su bile netočne i nejasne, pa mu rad nije bio objavljen. Mayer je ipak i dalje nastavio sa svojom idejom i nastojao eksperimentalno dokazati svoje hipoteze. Bio je to pokus kojim bi se zraku, poznatog volumena, temperature i tlaka u cilindričnoj posudi zatvorenoj klipom, povisila temperatura za određeni iznos. Prvo, uz stalan volumen (nepomičan klip), a zatim uz stalan tlak (pomičan klip). U drugom slučaju zrak bi izvršio rad protiv atmosferskog tlaka, a u prvom bi se samo ugrijao. Razlika između količine topline, dovedene u drugom i prvom slučaju, bila bi ekvivalentna izvršenu mehaničkom radu. Mayer je dao i numeričku vrijednost mehaničkog ekvivalenta topline, izračunavši da je jednoj kilokaloriji topline ekvivalentan mehanički rad od 428 kilogrammetara.

U sljedećim radovima Mayer je analizirao i oblike pretvorbe energije. Zaključio je i da su potencijalna i kinetička energija oblici mehaničke energije. Za potencijalnu energiju je ispravno zaključio da je jednaka produktu težine tijela i visine, a kinetička energija da je jednaka produktu težine tijela i kvadrata brzine, gdje ispušta koeficijent  $\frac{1}{2}$ . Također je shvatio da zakon održanja energije vrijedi i za električnu i magnetsku energiju. U svojim radovima navodi da su gibanje, toplina i elektricitet pojave koje možemo svesti na energiju koja mjeri jedna drugu i prelazi jedna u drugu po određenom zakonu, a to je „vrhovni zakon prirode“ zakon održanja energije. Prvi Mayerov rad nije bio objavljen, a ostali su objavljeni u kemijskom časopisu ili u vlastitom izdanju, pa nisu na vrijeme došli do fizičara. Neovisno o Mayeru zakon održanja su otkrivali Joule i Helmholtz, kojima je povijest dala prioritet u otkriću tog zakona, što je Mayer bezuspješno pokušavao osporiti.

---

Engleski fizičar James Prescott Joule (1818. -1889.) proučavao je elektricitet i toplinu, odnosno kako se toplina razvija električnom strujom. 1841. god. odredio je toplinski učinak električne struje, a 1843. godine eksperimentalno je odredio i mehanički ekvivalent topline te je zaključio da se toplina može dobiti iz mehaničkog rada. To je objavio u radu *O toplinskom efektu magneto – elektriciteta i mehaničkom efektu topline*. Joule je eksperimentalno ispitao kako se odvija uzajamna pretvorba topline i rada. Mjerio je porast temperature vode uslijed trenja o lopatice koje su se u vodi okretale (rotirale), pustio je uteg privezan za konopac da pada tako da okreće lopatice. Potencijalna energija utega pretvarala se u kinetičku energiju lopatica zagrijavajući vodu, što je Joule mjerio termometrom. Njegov pokus je bio ključan dokaz za mehanički ekvivalent topline uz konstantnu pretvorbu energije ( $1 \text{ kcal} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J}$ ) koju koristimo i danas, s tim da je jedinica energije nazvana po Jouleu<sup>20</sup>, a konstantu poznajemo kao specifični toplinski kapacitet vode.

Svojim pokusima Joule je pokazao da je toplina također energija, te je bilo moguće formulirati zakon održanja energije.



**Slika 6. Prikaz Jouleovog pokusa**

**Izvor: <http://www.eoht.info/page/James+Joule>**

---

<sup>20</sup> JOULE (jedinica za rad ili energiju) – 1 J jednak je radu koji obavi sila iznosa 1 N na putu duljine 1 m. (Prvo uvedena jedinica rada u CGS – sustavu, erg, jednaka je radu sile iznosa 1 din na putu 1 cm).

---

Godine 1847. u svom članku *O tvari, živoj sili i toplini* tvrdi da kinetička teorija topline i prihvaćanje mišljenja da je tvar sastavljena od čestica može kvalitativno objasniti fizikalne pojave. Tvrdi da se toplina mora sastojati ili od živih sila ili od privlačnosti kroz prostor. U prvom slučaju su čestice zagrijanih tijela u stanju gibanja, a u drugom se čestice privlače gibajući kroz prostor, bez obzira na proces grijanja.

Poput Mayera i Joule je doživio neprihvatanje svojih teorija, te je bio odbijen i od strane *Kraljevskog društva*. Njemački fizičar i vojni liječnik Hermann von Helmholtz (1821. – 1894.) je 1847. godine u knjizi *O održanju sile* postavio opći zakon održanja energije bilo kojom pretvorbom jednog oblika energije u drugi.

Ukupna energija u zatvorenom sustavu ostaje nepromijenjena bez obzira na njene pojedinačne promjene u mehaničku, toplinsku, električnu ili kemijsku i ističe postojanost u njenim pretvorbama. Za mjerenje energije je predložio veličinu  $\frac{1}{2} mv^2$  kao količinu za živu silu i navodi da je uvijek u sustavu suma sila naprezanja (potencijalna energija) i živih sila (kinetička energija) stalna i možemo taj zakon nazvati zakonom održanja sila (energije).

Helmholtz se upoznao sa Jouleovim radom i radom J. R. Mayera iz 1842., te im je obojici dao zasluge za razvoj principa očuvanja energije

Tako je radovima Mayera, Joulea i Helmholtza postavljen u fizici zakon održanja i pretvorbe energije. Apstraktni pojam žive sile zamjenjen je iskustvenim pojmom energije.



---

---

## 5. METODIČKA OBRADA ZAKONA OČUVANJA ENERGIJE U NASTAVNOM PROGRAMU

### 5.1. Pozicija zakona očuvanja energije u nastavnom programu

Nastavni program iz fizike temelji se na suvremenim znanstvenim spoznajama i obradi sadržaja kojima učenici trebaju ovladati da bi razumjeli pojave u prirodi i primjenili ih u svakodnevnom životu.

Program se osniva na iskustvenom učenju (problemska i istraživačka nastava), čime se učenici nastoje zainteresirati i potaknuti na dublje proučavanje fizike.

Nastava fizike treba učenicima omogućiti razumjevanje prirodnih pojava, osnovno poznavanje metoda i tehnika znanstvenog istraživanja prirode, primjenu usvojenih spoznaja, te razvijanje sposobnosti znanstvenoga mišljenja i samostalnog rješavanja problema, ali i za konstruktivnu suradnju pri timskom radu.

Prema HNOS-u nastavna cjelina *Energija* u okviru koje obrađujemo i *Zakon očuvanja energije* obrađuje se u osnovnim školama prema predloženom rasporedu pri kraju sedmog razreda kada su učenici već obradili sadržaje i pojmove vezane uz rad i energija (oblike mehaničke energije: kinetičku, gravitacijsku i elastičnu potencijalnu energiju). Opisuju se pretvorbe jednog oblika energije u drugi s namjerom uočavanja očuvanosti ukupne energije u zatvorenom sustavu. U nastavnoj cjelini *Unutarnja energija i toplina* obrađuje se odnos rada, topline i unutarnje energije. Cilj nastavne jedinice *Promjena unutarnje energije* jest poučiti učenike o povećanju unutarnje topline radom i dovođenjem topline. Objasniti promjenu unutarnje energije radom i zagrijavanjem kod otvorenog i izoliranog sustava. Potrebno je izvesti prikladne pokuse na osnovu kojih se može zaključiti kako se unutarnja energija može mijenjati radom i toplinom, te objasniti zakon očuvanja energije.

Obrazovna postignuća koja bi učenici trebali postići: navesti primjere iz života o pretvaranju rada i topline u unutarnju energiju, te uočiti zakon očuvanja energije na različitim primjerima iz života.

U srednjoškolskom obrazovanju učenici se susreću sa zakonom očuvanja energije u prvom razredu (gimnazije i strukovne škole), gdje se u okviru metodičke cjeline *Energija. Rad* u

---

---

metodičkoj jedinici *Zakon očuvanja mehaničke energije* obrađuju uzajamna pretvaranja različitih oblika mehaničke energije.

Sadržaji se nastavljaju na one iz osnovne škole, ali s nešto višom razinom matematičkog aparata, gdje je također potrebno opravdati i obrazložiti uvođenje pojmova: rad, snaga, kinetička energija i potencijalna energija. Učenike se može upoznati i sa povijesnom podlogom pri definiranju mjerne jedinice za rad i energiju (Joule) i otkrivanju zakona očuvanja energije.

Učenici bi trebali steći proceduralno znanje o teoremu pretvaranja rada u promjenu energije i znati praktično primjeniti zakon očuvanja energije.

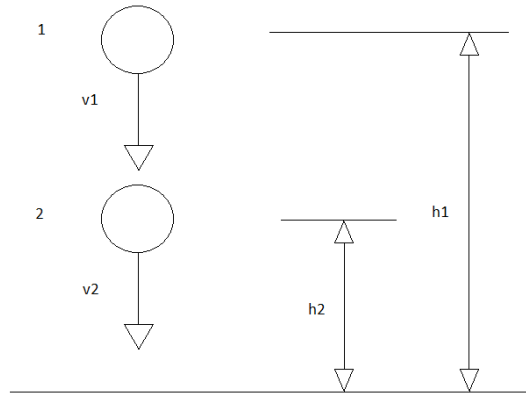
## 5.2. Primjeri zakona očuvanja energije u nastavnom programu

U nastavi fizike učenici trebaju naučiti fizikalne pojave pomoću pokusa i teorije. Temeljni sadržaji izlažu se putem konkretnih problemskih situacija i konkretnih pratećih pokusa.

Zakon očuvanja energije je jedan od najvažnijih i najopćenitijih zakona u prirodnim znanostima. On ne vrijedi samo za fizikalne procese, već i za kemijske i biološke. Vrijedi jednako dobro i u mikrosvijetu i u makrosvijetu.

U nastavi fizike zakon očuvanja energije srećemo u različitim kontekstima. Neki od primjera zakona očuvanja energije u srednjoškolskom obrazovanju su:

*Zakon očuvanja energije pri slobodnom padu.* Gravitacijska potencijalna energija može se pretvoriti u kinetičku energiju kod slobodnog pada. Važna pretpostavka je da za vrijeme promatranoga gibanja tijelo ne dobiva nikakvu energiju od drugih tijela, niti predaje energiju drugim tijelima. Pretpostavili smo da tijelo i Zemlja (koja na tijelo djeluje gravitacijskom silom) čine zatvoren sustav. Uzmimo da se tijelo giba pod utjecajem sile teže i da kroz položaj 1 prolazi brzinom  $v_1$ , a kroz položaj 2 brzinom  $v_2$ . Položaj 1 na visini  $h_1$  iznad Zemljine površine, a položaj 2 na visini  $h_2$ . Na putu  $h_1 - h_2$  od položaja 1 do položaja 2 sila teže obavi nad tijelom rad:  $W = mg(h_1 - h_2)$ . Taj rad jednak je razlici kinetičkih energija što ih tijelo ima u položajima 1 i 2:



Slika 7. U slobodnom padu smanjuje se gravitacijska potencijalna energija, a povećava kinetička.

$$mg(h_1 - h_2) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad \rightarrow \quad mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

Jednadžba pokazuje da zbroj gravitacijske potencijalne energije i kinetičke energije ima jednaku vrijednost u oba položaja. Ukupna se mehanička energija tijela u slobodnom padu ne mijenja, već je očuvana:  $E_{m1} = E_{m2}$

Zakon očuvanja energije vrijedi samo za vrijeme slobodnog pada. Kada tijelo udari u tlo međudjelovanjem tijela i tla energija prelazi u druge oblike.

*Prvi zakon termodinamike.* Toplina koju neki sustav prima djelomice povećava njegovu unutarnju energiju, a djelomice mu omogućava da obavi rad.

$$Q = \Delta U + W \quad \Delta U = U_2 - U_1$$

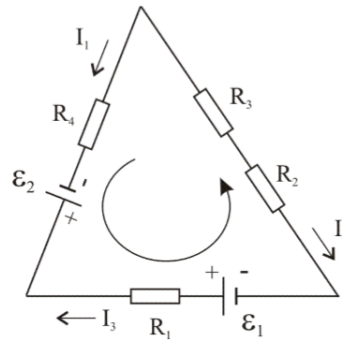
Vrijedi zakon očuvanja energije koji pokazuje da u termodinamičkim procesima energija ne može ni nastati, ni nestati. Moguće su samo uzajamne pretvorbe: toplina prelazi u unutarnju energiju i rad ili se radom može dobiti toplina. Ukupna energija ostaje očuvana. Nemoguće je konstruirati stroj koji bi davao više energije u obliku rada nego što je apsorbirao u obliku topline (nemoguće je stvoriti energiju ni iz čega). Perpetuum mobile prve vrste nije moguć.

$Q > 0$  toplina ulazi u sustav       $W > 0$  sustav vrši rad

$Q < 0$  toplina izlazi iz sustava       $W < 0$  okolina vrši rad nad sustavom

*Drugi Kirchhoffov zakon.* U svakoj zatvorenoj petlji zbroj svih elektromotornih sila jednak je zbroju svih padova napona na otporima.

$$\sum_i \mathcal{E}_i = \sum_i R_i I_i \quad \sum \Delta V = 0$$



**Slika 8. Drugi Kirchhoffov zakon.**

Rad po zatvorenoj putanji u električnom polju jednak je nuli. Stoga, ako premještamo naboj u strujnom krugu i vratimo se u početnu točku, ukupni rad je nula. Posljedica zakona očuvanja energije. Energija koju potrošimo ili rad koji napravimo premještajući naboj u strujnom krugu, mora dati ukupan rad ili ukupno potrošenu energiju.

Pad napona će biti pozitivan ako je smjer struje kroz taj otpor u smjeru obilaženja petlje. Elektromotorna sila ima pozitivan smjer ako djeluje u smjeru električne struje.

*Lenzovo pravilo.* Inducirana elektromotorna sila ima uvijek smjer suprotan uzroku koji ju je stvorio.

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{dt} \quad \rightarrow \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R} = - \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}$$

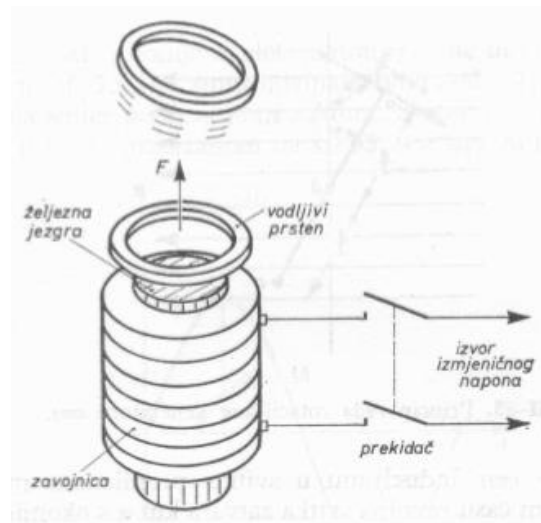
Kada se tok kroz petlju smanjuje ( $d\Phi < 0$ ), inducirana struja vlastitim tokom nastoji povećati tok, kada se tok povećava, inducira se takva struja koja svojim magnetskim učinkom nastoji smanjiti taj tok.

Ako je inducirana elektromotorna sila nastala zbog gibanja vodiča, inducirana elektromotorna sila će u tom vodiču dati struju takvog smjera da će sila vanjskog polja vodiča na vodič djelovati u smjeru suprotnom gibanju.

Inducirana el. struja ima takav smjer da proizvodi magnetski tok koji se suprotavlja promjeni toka zbog kojeg je nastala. Lenzovo pravilo je posljedica zakona očuvanja energije. Rad koji ulažemo kad npr. mičemo vodič u magnetskom polju, pretvara se u električnu energiju.

---

Da ne vrijedi Lenzovo pravilo, inducirana struja stalno bi rasla – perpetuum mobile (ne bi vrijedio zakon očuvanja energije).



**Slika 9. Demonstracija Lenzovog pravila.**

Aluminijski prsten se postavi na elektromagnet. Kada se elektromagnet spoji s izvorom izmjenične struje, prsten odskoči od njega. Sila koja podigne prsten dolazi od struje koje promjenjivo magnetsko polje u njemu inducira, a odskakanje prstena pokazuje da se struje koje u njemu nastaju suprotstavljaju uzroku koji ih je stvorio. Kada je naime struja u elektromagnetu takva da je npr. sjeverni pol gore, inducirane struje u prstenu stvaraju sjeverni pol na donjem dijelu prstena (smanjivanje toka). Elektromagnet i prsten se odbijaju. Kada je struja u elektromagnetu suprotnog smjera, i polovi su suprotni, te opet dolazi do odbijanja.

---

---

## ZAKLJUČAK

Od prvih civilizacija ljudi su pokušavali shvatiti strukturu prirode, osobine materije, prirodne pojave, zašto različiti materijali imaju različite osobine i slične pojave. Mnoštvo teorija je pokušavalo objasniti te pojave, no većina od njih na pogrešan način, jer nisu bile potvrđene pokusom.

Povijesni razvoj koncepta energije odvijao se od prvih civilizacija, kada je čovjek počeo proučavati prirodne pojave. Taj razvoj povezan je i sa razvojem društva, tehnološkim razvojem, ali i razvojem drugih znanstvenih područja.

Istaknuti povjesničari fizike smatraju da je suvremena fizikalna znanost počela polovicom 19. stoljeća, onda kad je apstraktni pojam „žive sile“ zamjenila iskustvenim pojmom energije. Fizika se oslobodila prirodne filozofije u kojoj su vladali pojmovi sile i djelovanja na daljinu, tek onda kad se odredila pojmom energije.

Danas znamo veliki značaj pojma energije koji se proteže kroz sve grane fizike. Energija je svojstvo tijela da obavi rad ( da podigne tijelo uvis, da ubrza tijelo...). Energija je unutarnje svojstvo svega u svemiru, uključujući zračenja, materije, čak i praznog prostora. Postoji u velikom broju ekvivalentnih oblika. Najčešći od njih je unutarnja energija – gibanje molekula materije. Jedan od oblika je i gibanje elektrona kod elektriciteta – elektroni koji se gibaju povećavaju elektromagnetsko polje i oni također sadrže energiju. Oblik elektromagnetske energije je elektromagnetsko zračenje (energija zračenja) kao što je svjetlost. Prema kvantnoj mehanici, energija elektromagnetske energije je kvantizirana, što se odnosi na diskretne jedinice nazvane fotoni. Kada se makroskopska tijela gibaju, ona također imaju energiju na temelju njihovog gibanja i tu energiju nazivamo kinetička energija. Da bismo promijenili brzinu tijela koje se giba, ili ga postavili u gibanje, na njega djelujemo silom i obavljamo rad. Taj rad je jednak promjeni kinetičke energije tijela i dao je fizičarima jednu od najranijih definicija energije, tj. svojstvo tijela da obavi rad. Kada tijelo podignemo na neku visinu, ono ima gravitacijsku potencijalnu energiju. Ako tijelo pustimo da pada, ono će pasti i udariti u zemlju, to je potencijalna energija pretvorena u kinetičku za vrijeme gibanja. Energija zvuka je kinetička energija titranja zraka. Kemijska energija je energija oslobođena iz kemijskog sustava u tijeku reakcije. Iako su svi oblici energije ekvivalentni, nisu svi takvi procesi pretvorbe 100% učinkoviti (taj energetske deficit se pojavljuje kao toplina) tj. gubi se.

Sva ta današnja znanja o energiji i njezinom doprinosu u suvremenoj znanosti i fizici su stvarana i razvijala se u prošlosti kroz stoljeća, nekada u pravom smjeru, nekada ne, ali su u 19.

---

stoljeću došla do svojeg cilja kada je utemeljen jedan od temeljnih zakona fizike – zakon održanja energije.

---

---

## POPIS LITERATURE I LINKOVA:

- Cindro, N.; Colić, P. Fizika. Zagreb : Školska knjiga, 1987.
- Cindro, N. Fizika 2 : Elektricitet i magnetizam. Zagreb : Školska knjiga, 1985.
- Dadić, Ž. Povijest ideja i metoda u matematici i fizici. Zagreb : Školska knjiga, 1992.
- Faj, Z. Pregled povijesti fizike. Osijek : Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Pedagoški fakultet, 1998.
- Grdenić, D. Povijest kemije. Zagreb : Školska knjiga, 2001.
- Krsnik, R. Suvremene ideje u metodici nastave fizike. Zagreb : Školska knjiga, 2008.
- Labor, J. Fizika 1 : Udžbenik za 1. razred gimnazije. Zagreb : Alfa, 2001.
- Mach, E. History and root of the principle of the conservation of energy. Chicago : The open court publishing Co, 1911.
- Paar, V. Fizika 1 : Gibanje i energija. Zagreb : Školska knjiga, 1998.
- Paar, V.; Šips, V. Fizika 2 : Udžbenik za 2. razred gimnazije. Zagreb : Školska knjiga, 2000.
- Supek, I. Od antičke filozofije do moderne nauke o atomima. Zagreb : Nakladni zavod Hrvatske, 1946.
- Supek, I. Povijest fizike. Zagreb : Školska knjiga, 2004.
- Supek, I. Put u mikrokosmos : (razvoj moderne fizike). Zagreb : Tehnička knjiga, 1962.
- Mayer, J. R.; Joule, J. P.; Sadi Carnot, N. L. The Discovery of the Law of Conservation of energy. 1929. URL: <http://www.ghtc.usp.br/server/HFIS/Mayer-Joule-Carnot-Isis-1929.pdf>
- Povijest fizike. 2009. URL: [http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/sadrzaj\\_uvod.htm](http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/sadrzaj_uvod.htm)
- Smith, G. E. The vis viva dispute : A controversy at the dawn of dynamics. 2006. URL: <http://philoscience.unibe.ch/documents/MaterialFS11/PSLeibniz11/SmithG2006Vis.pdf>
- Strand, J. O energiji v razvoju in poučevanju fizike URL: <http://sss.fmf.uni-lj.si/data/139.pdf>



---

## ŽIVOTOPIS

Katarina Bogdanić rođena 26. listopada 1979. godine u Slavonskom Brodu. Osnovnu školu Mijat Stojanović, Babina Greda završava 1994. godine. Iste godine upisuje Opću gimnaziju Županja.

1998. godine upisuje se kao redovni student na Pedagoški fakultet, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, smjer fizika – politehnika.

Od studenog 2007. godine do listopada 2011. godine radila kao voditeljica Općinske narodne knjižnice Babina Greda .