

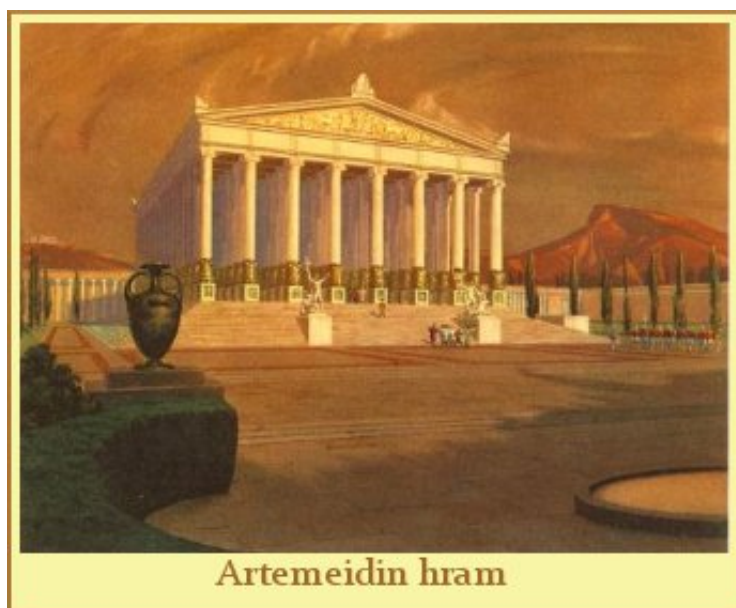
HISTORIJA FIZIKE

Rijeka, 2009

Stari vijek - Uvod

U ovom se poglavlju prati razvoj tumačenja prirodnih pojava, začetaka fizike i svjetonazora kroz stari vijek – razdoblje od uvođenja pisma odnosno početka civilizacije (u 4. tis. pr. n. e. u Mezopotamiji) do početka srednjega vijeka (sredina 5. st. n. e.).

Stari vijek obuhvaća razdoblja ranih civilizacija Istoka, kao što su sumerska, egipatska, babilonska, staroindijska i kineska, te razdoblje antičke Grčke, helenizam i rimsku državu.



Fizika je najviše uznapredovala u vrijeme antičke Grčke, no mnoga znanja i koncepti o prirodi naslijeđeni su od starijih civilizacija. Mnogi su začetnici fizikalne misli rođeni upravo u Grčkoj, u razdoblju 8. – 4. st. pr. n. e., pa se smatra da su ondje udareni temelji učenju o prirodi kakve i danas poznajemo. Europa je, odnosno Sredozemlje, u razdoblju antike bila žarište kulture i znanosti svijeta.

*Nastupit će vrijeme kada će brižljiva stoljetna istraživanja iznijeti na svjetlost dana ono što sada leži skriveno. Doći će vrijeme kada će naši potomci biti zapanjeni jer mi nismo znali stvari koje su njima same po sebi jasne... Mnoga su otkrića očuvana za vremena koja tek dolaze, kada sjećanje na nas bude već izbljedilo. Naš bi svijet bio ubogo mjesto kada svakoj epohi ne bi imao ponuditi nešto za istraživanje...
...priroda ne otkriva svoje tajne odjednom i svima.*

Seneca, Naturales quaestiones, 1. st. pr. n. e.

Stari vijek - Filozofija prirode



Ljudi su od početaka civilizacije bili opčinjeni prirodom, prirodnim pojavama i spoznajom da su njezin dio. Prirodi su pridijevali i prirodna i natprirodna svojstva, stvarali su kultove, mitove, sekte, religije i vjerovanja u čijem je središtu gotovo uvijek bila priroda ili neka prirodna pojava. Zajedničko je obilježje najstarijih civilizacija, poput sumerske, babilonske, asirske, egipatske, te drevne indijske i kineske, što se u njihovim učenjima o prirodi i svijetu, u tim počecima znanstvene misli, ne formuliraju opća pravila i načela. Motivacija je za opažanje prirode praktična pobuda, a temelj je učenja empirija, iskustvo i opažanja; ne postavlja se pitanje „zašto“, pa ni odgovori na nj.

Iako se znanost, pa tako i fizika, naročito mehanika i astronomija, javljaju vrlo rano, njihov

je pravi procvat u antičkoj Grčkoj. Tada se, naime, počinju javljati nove ideje i pokušaji razumijevanja prirode.

*Kad malo digoh vjeđe vrh množine,
ugledah meštra onih koji znaju,
gdje sjedi usred mudre družbe njine
svi mu se dive, svi mu časti daju...*

Dante, *Pakao*, IV, 130-133

Najznačajniji je predstavnik toga razdoblja **Aristotel** (384. – 322. pr. n. e.) koji je udario temelj razvoju znanosti kakvu danas poznajemo. Prihvća ideju **Empedokla iz Agrigenta** (490. – 435. pr. n. e.) prema kojem je sve u prirodi sazdano od 4 elementa: vatre, zemlje, zraka i vode. 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: 1. **PRIRODNO** – koje nastaje zbog težnje tijela prema njegovom prirodnom mjestu; 2. **NASILNO** – izazvano silama koje potječu iz nebeskog područja.

U tumačenju prirode Aristotel počinje koristiti pojmove koje danas poznajemo kao fizičke veličine, kao put, brzina, otpor, a uvodi i mnoge koncepte značajne za Aristotelovu filozofiju, poput pokretačke sile, koncepta težine i lakoće.

«Aristotel nije samo najuspješniji nego i najutjecajniji mislilac svih vremena. Visokim stupnjem refleksije, razinom spoznaja, sintezama znanja i svojim sustavom u cjelini bio je stoljećima najviši domet znanja. Aristotelova je veličina i neprolazna zasluga u tome što je iskovao temeljne pojmove, kategorijalni sustav i okvire unutar kojih se kretalo znanstveno i filozofsko nastojanje čitave kulture Zapada. Za nj se može reći ono što se ne može reći ni za jednoga drugog mislioca: on je za tisućljeća predodredio duhovni razvitak čovječanstva.»

(B. Kalin, *Povijest filozofije*)

«Aristotel priznaje djelovanje i nužnosti i finalnosti. Na toj osnovi nisu se mogle razvijati prirodne znanosti... Osobito je fizika pretrpjela teške smetnje od kojih se nije oporavila sve do Galileija, a s kojim se zbio u fizici povratak Platona u smislu metode.»

(B. Russel, *Mudrost zapada*)

Nakon Aristotela znanost se, baš kao i njezini alati (matematika, eksperimenti, proučavanja), počinje ubrzano razvijati.

O tadašnjem novom shvaćanju prirode najbolje govori izjava rimskoga filozofa Tita Lukrecija Kara:

«U prirodi se sve odvija po stalnim zakonima (prirode)...»

Stari vijek - Mehanika i astronomija

Dajte mi čvrstu točku u svemiru i podići ću Zemlju.

Arhimed

Jedan je od najvećih fizičara antike zasigurno bio **Arhimed** (287. – 212. pr. n. e.), kojega smatramo ocem svih inženjera. Radio je kao dvorski inženjer na dvoru vladara Sirakuze Hiera, gdje je konstruirao različite mehanizme i uređaje koji su se većinom koristili u vojne svrhe. Poznati izumi su mu Arhimedov vijak, koji se upotrebljavao za navodnjavanje, te Arhimedovo koloturje, kojim je bilo moguće izvlačiti čamce na obalu.



Arhimedov vijak

Arhimed je utemeljitelj hidrostatičke – područja mehanike koje opisuje zakone tekućina i plinova, te zakone ravnoteže tijela uronjenih u tekućinu. Uz Arhimedovo ime vezane su brojne legende, a danas ga najviše spominjemo zahvaljujući Arhimedovu zakonu.

Arhimed je otkrio da na tijelo uronjeno u tekućinu djeluje uzgon, odnosno sila koja tijelo potiskuje prema gore i po iznosu je jednaka težini istisnute tekućine.

Prema legendi, Arhimed je ushićen otkrićem ove zakonitosti nag izletio iz kade i potrčao ulicama Sirakuze vičući: «Heureka!» («Pronašao sam!»). Legenda dalje govori da je poticaj za ovo otkriće dobio od vladara Sirakuze koji mu je postavio zadatak da ispita je li jedna od njegovih kruna načinjena od čistoga zlata ili sadrži i jeftinije srebro. Pri tome, kruna nije smjela biti uništena. Arhimed je krunu uronio u vodu i mjerenjem istisnine doznao njezin obujam. Vaganjem je izmjerio njezinu masu pa odredio gustoću. Taj je podatak usporedio s gustoćom čistoga zlata.

Eratosten (276. – 194. pr. n. e.), Arhimedov suvremenik i prijatelj, prvi je čovjek koji je izmjerio veličinu našega planeta. Znao je da je Zemlja oblika kugle te je mjereći duljinu sjene štapa u Aleksandriji na dan ljetne suncostaje izračunao polumjer Zemlje. Eratosten je bio upravitelj knjižnice u Aleksandriji, mjestu s tada najvećim brojem mislilaca i učenjaka.

Rodom iz Aleksandrije bio je i **Heron** (150. – 100. pr. n. e.) koji se bavio raznim izumima kao što su katapult i sprave koje su se pokretale pomoću zupčanika.

Stari vijek - Mehanika i astronomija

*Dok druge životinje pognute glave pretražuju tlo, on učini
čovjeka
uspravnoga zapovjedi mu da upre pogled u nebesa i podigne
glavu prema zvijezdama.*

Ovidije

Astronomija je jedna od najstarijih područja znanosti, jer je čovjekov pogled oduvijek s oduševljenjem bio uprt ka nebu. Poznato je da su dobri astronomi bili Sumerani, Babilonci, Egipćani, stari Kinezi i Indijci te narodi drevnih južnoameričkih civilizacija.

Poznavanje je pravilnosti kretanja nebeskih objekata davalo našim precima važne podatke o mijeni godišnjih doba, trajanju dana i ostalim prirodnim ciklusima koji su bili presudni za preživljavanje ratara i stočara. Ljudi su po Mjesečevim mijenama, kretanju Sunca i planeta naučili procjenjivati i mjeriti vrijeme te određivati najpogodnije doba za sadnju usjeva ili spremanje zimnice. Najveću su počast odavali Suncu, Mjesecu i zvijezdama te su ta nebeska tijela zauzimala vrlo važne uloge u njihovim vjerovanjima i životima. Astronomija je u početku bila isprepletena s astrologijom, „vještinom“ proricanja budućnosti iz kretanja zvijezda i planeta.

U antici su ostvareni osobito veliki pomaci u razvoju astronomije te nadograđena znanja i spoznaje starijih civilizacija.

Tales iz Mileta (6. st. pr. n. e.) smatra se jednim od «sedam mudraca staroga vijeka», jednim od prvih filozofa i osnivačem Miletske filozofske škole. Navodno je predvidio pomrčinu Sunca, a Zemlju je smatrao kuglom koja lebdi u svemiru.

Pitagora sa Samosa (6. st. pr. n. e.) osnivač je Pitagorejske škole u kojoj je naučavao postojanje «vječnoga i savršenoga nebeskog te nesavršenoga i promjenljivoga zemaljskog područja». Budući da su pitagorejci kružnicu držali savršenom krivuljom, a kuglu savršenim tijelom, smatrali su da su nebeska tijela oblika kugli te da su njihove putanje kružnice.

Platonov učenik **Eudokso sa Knidosa** (4. st. pr. n. e.) uvodi zamisao o gibanju planeta oko Zemlje u sustavu rotirajućih sfera.

Aristotel (4. st. pr. n. e.) prihvaća zamisao da je Zemlja oblika kugle i smatra je središtem svemira. Zemljino obrtanje oko Sunca ne smatra vjerojatnim jer smatra da bi se u tom slučaju trebale primjećivati promjene godišnjih položaja zvijezda. Aristotel ima argumente i protiv zamisli **Heraklida od Ponta** o obrtanju Zemlje oko svoje osi. U to se doba nije moglo prigovoriti Aristotelovim argumentima te njegova koncepcija mirujuće Zemlje u središtu svijeta ostaje dominantna predodžba svijeta još dva tisućljeća i glavni argument protiv ideje o njezinu gibanju.

Aristarh iz Samosa (3. st. pr. n. e.) predlaže heliocentrični model svemira. Smatra Sunce puno većim od Zemlje i zato smatra da je Sunce u središtu svijeta. Daje prvi opažački dokaz Zemljina oblika jer za vrijeme pomrčine Mjeseca promatra na Mjesecu njezinu sjenu. Određuje omjere udaljenosti Zemlja — Sunce i Zemlja — Mjesec na temelju kojih zaključuje da je Sunce 20 puta udaljenije od Zemlje nego od Mjeseca i 20 puta veće od Mjeseca.

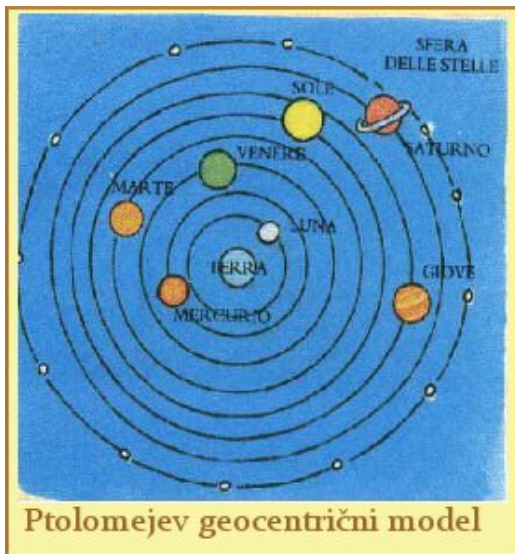
Apolonije iz Perga (3. st. pr. n. e.) matematičar je koji pretpostavlja da se Zemlja nalazi u središtu kružnice zvane deferent, a planeti se oko nje gibaju po drugoj kružnici zvanoj epicikl. Središte epicikla giba se po deferentu.



Hiparh iz Nikeje (2. st. pr. n. e.) smatra se najvećim astronomom antike. Odredio je udaljenost Zemlje i Mjeseca i dobio rezultat od 29,5 Zemljinih promjera, što je blisko stvarnoj vrijednosti od 30 Zemljinih promjera. Hiparh je autor prvoga zvjezdanog kataloga i sustava klasifikacije zvijezda po sjaju, u kojem je zvijezde razvrstao u šest veličina. Uočava razlike u položajima zvijezda te otkriva precesiju, promjenu smjera Zemljine osi.

*Kad bi se zvijezde mogle vidjeti samo
s jedne točke na Zemlji, svi bi ljudi putovali tamo.*

Seneka

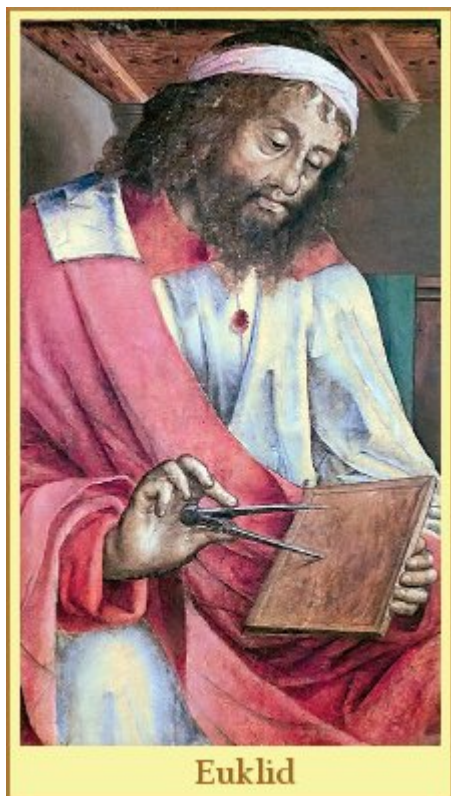


Klaudije Ptolomej (2. st. n. e.) poznat je po geocentričnom modelu svemira. Astronomska znanja antike objedinio je u kapitalnom djelu *Velika sinteza* (*Megale sintaksis*), knjizi koja je kasnije u arapskom prijevodu nazvana *Almagest*. Prema Ptolomeju, nebeska se tijela stalnim brzinama gibaju po stalnim putanjama opisujući savršene krivulje kružnice. Neka nebeska tijela ne kruže oko Zemlje nego po epiciklu, manjoj kružnici čije se središte giba po glavnoj kružnici. Ptolomejev geocentrični model dugo opstaje kao aktualan model opisa nebeskih gibanja.

Stari vijek - Optika i valovi

Narodi su staroga vijeka poznavali žičana glazbala, o čemu svjedoče npr. slikarije egipatske civilizacije. To znači da su poznavali i zakonitosti oblikovanja tonova na žičanom instrumentu, odnosno činjenicu da jače zategnuta žica proizvodi viši ton.

Pitagorejci su obavljali i prve pokusa sa žicama različitih duljina. Tako su spoznali da žice koje titraju proizvode ugodna suzvučja samo ako su im duljine u određenim omjerima cijelih brojeva, te je time utvrđena ovisnost duljine žice i visine tona.



U antici je bila poznata i činjenica da se zvuk širi zrakom.

Platon (427. – 347. pr. n. e.) navodi da titranje tijela uzrokuje titranje zraka, koje se prenosi do uha.

Heron (2. st. pr. n. e.) prvi opisuje nastanak zvuka. Smatra da glazbala proizvode tonove zadajući udarce česticama zraka.

I pitanja su o prirodi svjetlosti postavljena već u starom vijeku. Drevni su Babilonci poznavali pravocrtno širenje svjetlosti. U antičkoj su Grčkoj učenjaci razmatrali pitanje konačnosti, odnosno beskonačnosti brzine svjetlosti. **Aristotel** tvrdi da je brzina svjetlosti beskonačna, jer nije zabilježen nijedan „dolazak“ ili „odlazak“ zrake svjetlosti. **Demokrit** smatra da je svjetlost čestične prirode, što je povezano s njegovom idejom atoma. Začetnikom se optike smatra **Euklid** (4. st. pr. n. e.), autor poznatih djela *Optika* i *Katoptrika*. U svojoj *Optici* naučava da je vid rezultat „zraka vida“ koje izlaze iz oka i opisuje način na koji vidimo udaljene predmete. U djelu *Katoptrika* Euklid

raspravlja o odbijanju i lomu svjetlosti te tumači nastanak slika u ravnim i konkavnim zrcalima. U jednom od aksioma u ovoj knjizi donosi zakon odbijanja svjetlosti dokazujući da su kut odbijanja i upadni kut jednaki.

Prema legendi, **Arhimed** je upotrijebio udubljena zrcala da bi uz pomoć Sunčeve svjetlosti zapalio jedra neprijateljskih brodova pred Sirakuzom.

Heron također poznaje zakon odbijanja svjetlosti i smatra da se svjetlost širi pravocrtno zato što ima veću brzinu od svih tijela. Prvi iznosi ideju načela najmanjega vremena koje u 17. st. formuliра **Fermat**. Prema Heronu, brzina je svjetlosti toliko velika da se ne može izmjeriti, ali nije beskonačna.

Zbog velikoga je utjecaja Aristotelove filozofije tijekom dugih stoljeća prevladalo uvjerenje da je brzina svjetlosti beskonačna, te će proći mnogo vremena dok se ljudi ponovno ne zapitaju je li brzina svjetlosti beskonačna, i ako nije, koliko ona iznosi.

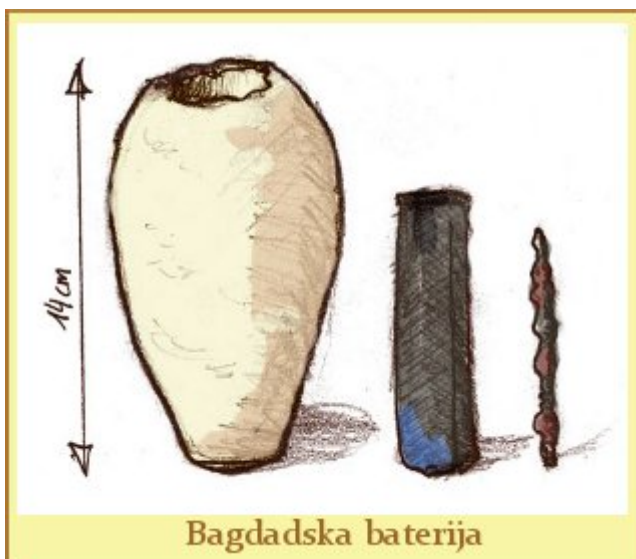
Stari vijek - Elektricitet i magnetizam

*Najstarija od svih stvari je Bog, jer on se nije rodio.
Najljepša je stvar svijet, jer je djelo Božje.
Najveći je prostor, jer on obuhvaća sve stvari.
Najbrži je um, jer on trči svuda.
Najsilnija je nužda, jer ona vlada svima.
Najmudrije je vrijeme, jer ono pronalazi sve.*

Tales

U 7. st. pr. n. e. **Tales iz Mileta** je primijetio da nakon trljanja jantara privlači lake predmete poput suhoga lišća ili kose. Jantar su Grci nazivali *elektron*, pa je otuda izveden pojam elektriciteta. Istraživanje se prirode elektriciteta nastavilo tek nakon tisuću godina.

Iz razdoblja oko početka nove ere datiraju predmeti nađeni u Mezopotamiji nazvani bagdaskim baterijama. Radi se o zemljanim ćupovima unutar kojih su nađene bakrene folije omotane oko željeznih šipki. Nagađa se da su to prve galvanske baterije, jer bi se dodavanjem elektrolita u ćupove, kao što je npr. limunska kiselina ili ocat, mogla stvoriti razlika električnoga potencijala između željeza i bakra. To su hipoteze koje spekuliraju s mogućnošću postojanja kemijskih izvora električne struje prije 2000 godina, mnogo stoljeća prije Voltina izuma.



Drevnih su narodi opazili još jednu pojavu – magnetizam. Prema jednoj od legendi,

na otoku Kreti je živio pastri Magnes. Dok je jednoga dana prolazio planinom Idom obuven u sandale s željeznim čavlima, osjetio je privlačnu silu k tlu i primijetio «stijenu» koja privlači čavle njegove obuće. **Tales** je djelovanje magneta pokušao pripisati mističnim silama, odnosno idejom da magnet ima "dušu" koja privlači željezo. Tales je također primijetio da magnet djeluje na daljinu, a ne samo dodirnom. **Sokrat** je opazio da se moć magneta prenosi i na nemagnetično željezo. **Demokrit** nudi i objašnjenje magnetskih pojava; tvrdi da su atomi magnetske rude istovrsni s atomima željeza pa ih zato privlače.

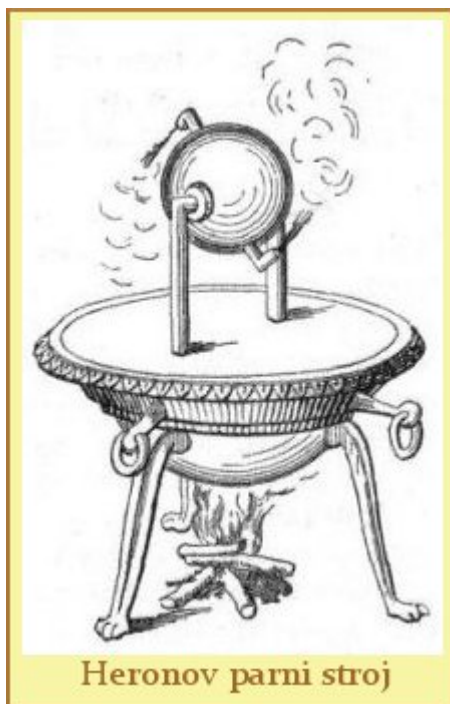
U civilizacijama se dalekoga Istoka, u drevnoj Kini, u 4. st. pr. n. e. spominje «kamen koji privlači željezo». Također se u 1. st. n. e. spominje ruda koja privlači magnetsku iglu.

Stari vijek - Toplina

Pantha rei ! (Sve teče!)

Heraklit

Čovjek je od svojih početaka toplinu povezivao s vatrom i shvaćao da ona dolazi od nje. Toplina se u egipatskim mitovima stvaranja spominje već u 4. tis. pr. n. e. Grčki filozof **Heraklit** (500. g. pr. n. e.) naučava promjenljivost prirode izrekom «Sve teče.» i drži da u prirodi postoje tri glavna elementa: vatra, zemlja i voda. Vatru smatra središnjim elementom koji kontrolira i oblikuje preostala dva. Postulira ideju svemira u stanju stalne promjene, uzrokovane transformacijama vatre kao glavnoga elementa.



Otac medicine **Hipokrat** (460. g. pr. n. e.) smatra je da je toplina «količina» koja pokreće organizam, a potječe iz «unutrašnje vatre».

Prema nekim izvorima, već je Arhimed došao na pomisao da iskoristi «napetost» vrućih para, odnosno da pomoću snage pare izbaci zrno iz topa.

Heron u 2. st. pr. n. e. prvi upotrebljava paru za pogon konstruirajući parnu napravu koju zovemo Heronova kugla ili eolipil. Naime, Heron je grijao šuplju kuglu s vodom dok voda nije proključala. Para je izlazila kroz dvije cijevi savinute u suprotnim smjerovima i tako uzrokovala okretanje kugle. Konstruirao je i štrcaljku – Heronovu bocu. Prema legendi, Heron je koristeći tlak pare otvorio vrata hrama na opće čuđenje i zaprepaštenje prisutnih.

Stari vijek - Struktura tvari

Od prvih je mislilaca većina samo ona tvarne vrste smatrala početima svih stvari. Jer ono od čega su sva bića, te od čega prvo nastaju i u što se na kraju raspadaju, čemu bivstvo preostaje dok se mijenja u trpnostima - to kažu da je pratar i počelo bića; zbog toga misle kako ništa ne prestaje i ništa ne propada, jer se takva narav uvijek zadržava...

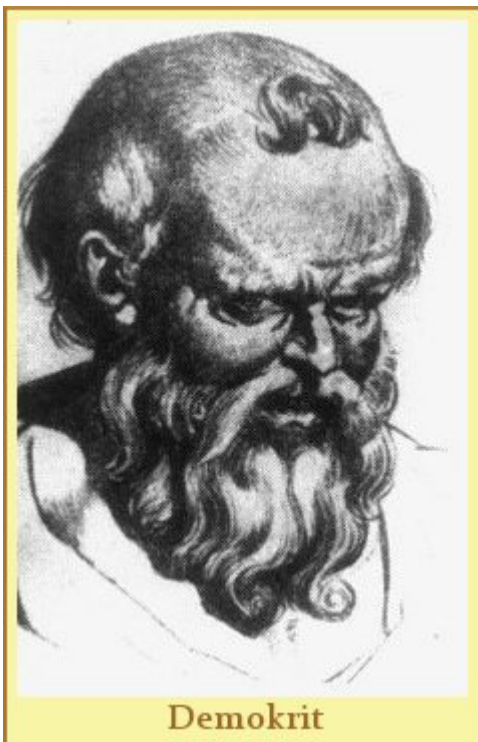
Aristotell

U najranijem razdoblju antičke filozofije, tzv. kozmološkom razdoblju, u 7. st. pr. n. e. javljaju se u Miletskoj školi pitanja o ustroju svijeta, njegovoj građi i početlu. Od čega je sve nastalo? Što je prapočelo, prauzrok, pratemelj svega? Što je osnova prirode?

Na ova se pitanja nude različiti odgovori; npr. Tales smatra da je prapočelo voda; Anaksimendri drži da je to zrak; za Anaksimandru je prapočelo kvalitativno neodređena, beskonačna supstanca *apeiron* iz koje izdvajanjem suprotnosti nastaju konkretne stvari.

U Miletskoj je školi skovan pojam fizika (grč. *fysis* – priroda). Miletski filozofi zastupaju monizam, odnosno drže da postoji jedinstvo i opća povezanost prirode.

«Stav da je sva materija jedno posve je hvalevrijedna znanstvena hipoteza. Što se tiče iskustva, blizina mora činiti više nego vjerojatnim da će netko primijetiti kako sunce isparava vodu, kako se maglice dižu s površine i stvaraju oblake koji opet nestaju u obliku kiše. Prema ovom stajalištu, zemlja je oblik koncentrirane vode. Pojednost, dakle, mogu biti prilično maštovite, ali je ipak prava mastorija otkriti da materija ostaje ista u različitim agregatnim stanjima.» (Bertrand Russell)



Demokrit

Koncept materije, sastavljene od diskretnih i nedjeljivih građevnih jedinica, nastao je vrlo rano. Ovakve su ideje rođene kao apstraktno filozofsko shvaćanje, rijetko s eksperimentalnim ili empirijskim uporištem. Ideja je atoma u filozofiji različita u različitim filozofskim školama, a priroda se atoma često povezuje i s duhovnim svijetom i njegovim elementima. Najranije zabilješke o konceptu atoma potječu iz drevne Indije iz 6. st. pr. n. e. Škole *Nyaya* i *Vaisheshika* naučavaju o atomima koji se kombiniraju u mnogo složenije strukture, najprije u parove, zatim u tercete parova. Stoljeće kasnije pojavljuju se u antičkoj Grčkoj zabilješke o atomima u učenju **Leukipa**. Leukipov je student **Demokrit** sistematizirao njegove ideje. U 5. st. pr. n. e. Demokrit je skovao termin *atomos* (grč. *nedjeljiv*) kojim opisuje najmanju česticu materije. Iako su indijski i grčki koncepti atoma počivali na filozofiji, moderna je znanost preuzela Demokritov termin *atom*.

Ova se ideja atoma zadržala kroz antiku. **Epikur** (oko 341. – oko 270. pr. n. e.), piše djelo *O atomima i praznom prostoru*. Poput svojih prethodnika Leukipa i Demokrita drži da se sve sastoji od atoma i praznoga prostora.

U njegovo se doba rađa nova ideja o postojanju slučajnoga skretanja atoma. Rimski učenjak **Tit Lukrecije Kar** (oko 99. – oko 55. pr. n. e), autor poznatog spjeva *O prirodi stvari* (*De rerum natura*), tvrdi da se događaji u prirodi mogu objasniti pravilnim kretanjem "atoma" i njihovim sudaranjem i okupljanjem, do čega dolazi prilikom njihova kretanja u praznom prostoru. Iako filozofski, bili su to najraniji počeci koncepta zvanoga "atom", jednog od najznačajnijih koncepata u znanosti.

«...poučno je da su atomisti staroga vijeka spekulativno, čisto teoretski, deduktivno mogli izvesti koncepciju atomske strukture svijeta i tako veličanstveno anticipirati opće okvire sličnih koncepcija i spoznaja do kojih je empirijska prirodna znanost mogla doći tek u novome vijeku. Pritom je, dakako, riječ o biti pojma atoma, a ne o njegovoj predodžbi, tj. ne o modelu atoma, modelu koji je uvijek primjeren razini prirodoznanstvenih spoznaja (fizike i kemije) određene epohe - mehanicizmu 17. i 18. stoljeća ili pak tekovinama suvremene fizike.»

(B. Kalin, Povijest filozofije)

Srednji vijek - Uvod

Za srednji se vijek, jedno od razdoblja u tradicionalnoj periodizaciji europske povijesti, općenito smatra da traje od propasti Zapadnoga Rimskog Carstva 476. g. n. e. i osnivanja prvih barbarskih država do Kolumbova otkrića Amerike 1492. g., kada započinje novi vijek. Srednji vijek obilježavaju feudalni društveni odnosi i društveno uređenje te dominacija kršćanskoga svjetonazora i religije u filozofiji.



Kharaghanovi tornjevi blizanci

Razvoj fizike, i općenito prirodnih znanosti, u srednjem vijeku zahvaljujemo arapskoj ili islamskoj civilizaciji koja 8. – 15. st. doživljava svoje zlatno razdoblje. Mnogi su učenjaci arapske civilizacije bili potomci drevnih Perzijanaca. Arapska civilizacija dosta znanja preuzima s Istoka, pa mnoga arapska tumačenja potječu od indijskih (tako npr. arapske brojke zapravo potječu iz Indije).

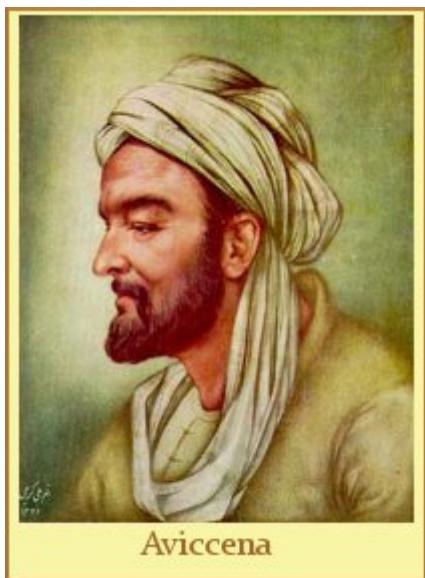
Europa se u srednjem vijeku oslanja na Aristotelovo shvaćanje fizike, odnosno prirodne filozofije. Crkva, kao dominantna institucija toga vremena, prihvaća i zastupa Aristotelove teze, te su one općeprihvaćene. Krajem se srednjega

vijeka u Europi javljaju nove ideje i pogledi na znanost koji predstavljaju izravno sučeljavanje i kritiku Aristotelove filozofije prirode i stavova Crkve.

Srednji vijek - Mehanika i astronomija

U 6. st. indijski astronom **Aryabahata** predlaže heliocentrični sustav u kojem Zemlja, kao i ostali planeti, kruži oko Sunca po eliptičnim putanjama, a os vrtnje joj je nagnuta. Tvrdi da Mjesec i planeti svijetle zbog reflektirane Sunčeve svjetlosti. Aryabahata se bavio i izračunavanjem perioda planeta te Sunčevim i Mjesečevim pomrcinama. Smatra se da su mnoge njegove ideje utjecale na arapske učenjake. Indijski astronom **Bhaskara** (12. st.) napisao je matematičko-astronomsku knjigu *Siddhanta Shiromani u kojoj također* raspravlja o raznim problemima iz astronomije, kao što su Sunčeve i Mjesečeve pomrcine i udaljenosti između planeta i Sunca.

U arapskoj civilizaciji **Ja'far Muhammad ibn Mūsā ibn Shākir** u 9.st. postavlja hipotezu da se nebeska tijela i zvjezdane sfere vladaju po istim zakonitostima kao i Zemlja. To je veliki napredak u odnosu na mislioce antičke Grčke koji su smatrali da se „nebeska“ i „zemaljska“ gibanja odvijaju po različitim zakonitostima. U djelu *Zvezdana gibanja i sila privlačenja* ibn Mūsā ibn Shākir iznosi hipotezu o privlačnoj sili među nebeskim tijelima. **Thābit ibn Qurra** (836. – 901.) naučava da sva gibanja uzrokuje težina te drži da je poredak svemira rezultat sukoba dvaju različitih privlačenja (lunarno-sunčeva i onoga koje potječe od elemenata na Zemlji). **Ibn al-Haitham** (965. – 1039.) razvija teoriju o privlačenju među masama te se smatra da je nazirao činjenicu da je gravitacijsko ubrzanje konstantno. Kao i Shākir, tvrdi da za nebeska i zemaljska gibanja vrijede isti zakoni fizike. Haitham je zapazio da će se tijela gibati beskonačno, osim ako ih ne zaustavi neka vanjska sila. **Abū Raihān al-Bīrūnī** (973. – 1048.) i **al Kazini** (12. st.) prvi počinju upotrebljavati eksperimentalne znanstvene metode u mehanici, posebno u statici i dinamici. Tako Al-Bīrūnī mjeri obujam nepravilnih tijela i određuje im gustoću.



Islamski su znanstvenici združili statiku i dinamiku u novu granu fizike – mehaniku. Također, kombinirali su znanja hidrostatičke i dinamike u hidrodinamiku. Al Kazini razlikuje masu i težinu, tvrdi da zrak ima težinu i da mu je gustoća manja od gustoće vode. Opisuje ovisnost gustoće o temperaturi te postojanje uzgona u zraku. Veliki filozof i znanstvenik **Abu Ali ibn Sina (Avicenna)** (980. – 1037.) kritizira Aristotela i njegovu ideju o stalnoj sili koja je potrebna da bi održala gibanje tijela. U svojoj enciklopediji (*Mi'yar al-'aql*) definira i opisuje jednostavne sprave poput vijka, kolutura i poluge.

Jedan od najvrsnijih arapskih astronoma bio je **Abd ar-Rahman as-Sufi** (903. – 986.) koji je prevodio djela grčkih astronoma, pokušao odrediti veličine zvijezda te crtao i opisivao zvijezda. Smatra se da je prvi opažao Andromedinu galaktiku i Veliki Magellanov oblak (u Evropi nepoznat do Magellanovih putovanja u 16. st.). Arapski

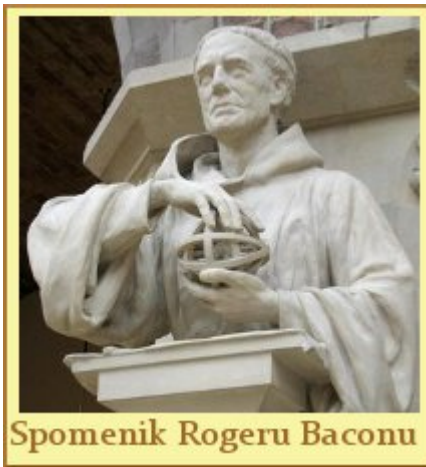
znanstvenici **Muhammad ibn Mūsā al-Khwārizmī** (oko 780. - oko 850.) i **Maslamah Ibn Ahmad al-Majriti** (11. st.) prave prve astronomske tablice, kasnije prevedene na latinski. U 11. st. arapski astronomi počinju preispitivati Ptolomejev geocentrični sustav i unositi u nj određene promjene. Al Bīrūnī spekulira o sastavu Mliječne staze od mnoštva magličastih zvijezda, prvi u povijesti semantički razdvaja astronomiju od astrologije te za

sobom ostavlja ilustracije pomrčine Mjeseca. Ibn al-Haitham smatra da su «nebesa po kojima se kreću zvijezde» manje gustoće od gustoće zraka. Arapski znanstvenici ponovo aktualiziraju heliocentrični sustav.

Pokus je jedini mjerodavan u donošenju zaključaka.

Roger Bacon

Dok arapski svijet proživljava svoje zlatno razdoblje, Europa je pod utjecajem skolastike i Crkve. Biblija i Aristotelova tumačenja su uzimana kao nepogrešiva, no ipak se javljaju novosti i napredci, naročito u znanstvenom razmišljanju.



U 13. st. protiv nekritičkih prihvaćanja Aristotelovih tumačenja ustaje engleski franjevac **Roger Bacon** koji smatra da pokus treba biti temelj znanosti i jedina mjerodavna metoda u donošenju zaključaka. Zbog svojih je naprednih stavova Bacon izbačen sa sveučilišta, osuđen kao heretik i utamničen. Baconov nešto mlađi subrat **William Occam** (oko 1288. - oko 1348.) tvrdi da postoje dvije vrste spoznaje: spoznaja Boga i znanstveno istraživanje. I danas se koristi izraz *Occamova britvaili Occamova oštricao* koja označava *sljedeći koncept: ako* više teorija opisuje istu pojavu, vjerojatno je istinitija ona koja zahtijeva uvođenje manje pretpostavki. Nijemac **Jordanus Nemorarius** u 13. st. objavljuje radove iz mehanike, a francuski skolastičar **Jean Buridan** u 14. st. uvodi pojam *impetus* (ono što održava gibanje) kao pojam koji prethodi pojmu inercije

ili tromosti te se i on suprotstavlja Aristotelovoj fizici. Buridanov suvremenik Talijan **Giacomo Dondi** izučava plimu i oseku; drži da su plima i oseka povezane s Mjesecom te da ne ovise o značajkama mora, kako je tvrdio Aristotel.

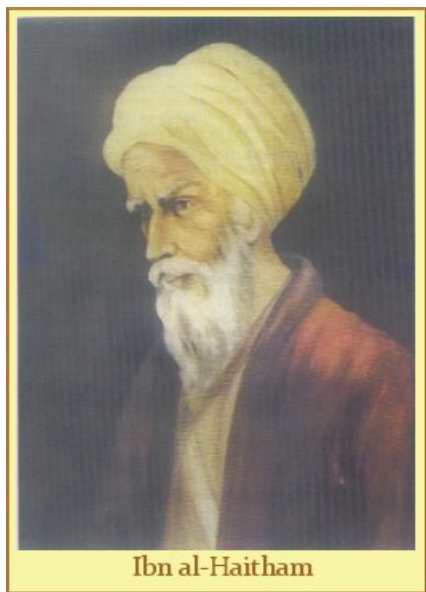
U srednjevjekovnoj Europi je astronomija uživala osobitu popularnost jer se smatrala interpretiranjem Božjih zakonitosti. Njome su se bavili crkveni učenjaci i dužnosnici, jedini školovani ljudi toga vremena. Vjerovalo se u geocentrični model svemira utemeljen na Ptolomejevim učenjima, koji je zastupala Crkva te se astronomija u srednjevjekovnoj Europi dugo svodila na doradu Ptolomejeva modela i nije donosila nova otkrića.

Talijanski dominikanac **sv. Toma Akvinski** (1225. – 1274.) bavi se filozofijom i astronomijom. Piše o astronomskim izračunavanjima i predviđanjima kretanja nebeskih tijela. Smatra očitim da se proučavanjem zvijezda može predvidjeti ono što se događa po nužnosti: tako astronomi predviđaju pomrčine.

Srednji vijek - Optika i valovi

Nastavljači su antičkih istraživanja iz područja optike bili učenjaci arapske civilizacije. **Shapur Ibn Sahl** (10. st.), fizičar i sudski službenik tadašnjega bagdaskog suda, napisao je izvješće *O gorućim zrcalima i lećama* u kojem objašnjava kako zakrivljena zrcala i leće odbijaju, odnosno lome svjetlost. Zanimljivo je da je sam izrađivao leće.

Također u 10. st. **Ibn al-Haitham** u svojem djelu iz optike razvija teoriju svjetlosti. Objašnjava vid i koristeći izraze iz geometrije i anatomije. Tvrdi da svaka točka osvijetljenoga prostora isijava „svjetlosne zrake“ u svim smjerovima, ali se iz jedne točke



može vidjeti samo jedna zraka – ona koja dospije u oko. Ostale, smatra, promašuju oko jer se šire pod drugim kutom. Razradio je metodu mjerenja kutova loma svjetlosti i pokazao da kut loma nije razmjeran kutu upada, bar ne za cijeli kvadrant, kako je to tvrdio Ptolomej. Al Haitham drži da se svjetlosne zrake sastoje od čestica koje putuju konačnim brzinama. Također opisuje zakon loma i disperziju svjetlosti. Utvrđuje da upadna, lomljena zraka i okomica na ravni dioptrar pripadaju istoj ravnini. Zna za mogućnost povećanja slike pomoću konveksne leće i poznaje ovisnost vidnoga kuta o udaljenosti predmeta. U knjizi *Kitab al-Manazir* govori o bojama zalaska Sunca, sjenama i dugi. Prvi je načinio tamnu komoru (*camera obscura*) kojom je motrio slike Sunca i Mjeseca. **Abu Ali ibn Sina** (980. – 1037.) se slaže da je brzina svjetlosti konačna, a kao argument navodi spoznaju da se svjetlost sastoji od čestica. Pokušava objasniti nastanak duge. **Abū Rayhān al-**

Bīrūnī (973. – 1048.) zaključuje da je brzina svjetlosti mnogo veća od brzine zvuka. **Qutb al-Din al-Shirazi** (1236. – 1311.) i **Kamāl al-Dīn al-Fārisī** (1260. – 1320.) opisuju kako nastaje duga.

Optika se u 11. stoljeću razvija i u Kini. **Sun Sikong** (1015. – 1076.) pretpostavlja da je duga rezultat kontakta između Sunčevih zraka i vlage u zraku, dok **Shen Kuo** (1031.– 1095.) tvrdi da je duga nastaje zbog loma svjetlosti u atmosferi. Shen je vjerovao da se Sunčeve zrake lome prije nego dođu do površine Zemlje te smatra kako zbog loma svjetlosti pravi položaj Sunca nije onaj koji vidimo na nebu. Tvrdi da Mjesec svijetli jer reflektira Sunčevu svjetlost, odnosno zakreće Sunčevu svjetlost za određeni kut. Kao model Mjeseca koristi srebrnu osvijetljenu kuglu, koja se može promatrati iz više kutova.

Optikom se u Europi bavio i franjevac **Roger Bacon** (13. st.) naročito tumačenjem nastanka duge i konstruiranjem različitih optičkih uređaja. U Italiji **Erasmus Vitello** (13. st.) također daje svoje objašnjenje duge te konstruira naočale.

Srednji vijek - Elektricitet i magnetizam

U srednjem vijeku zanimanje za elektricitet opada, ali raste zanimanje za magnetizam što dokazuje i izum i uporaba kompasa. Iako su još drevni narodi poznavali svojstva magneta, tek u srednjem vijeku dolazi do nekih važnijih otkrića. Zapisi kineskoga učenjaka **Shen Kuo** (1031. – 1095.) najstariji su zapisi o kompasu s magnetskom iglom. Također se smatra da on u navigaciji uvodi koncept Sjevernoga pola, točke na Zemlji prema kojoj se uvijek usmjerava magnetska igla.

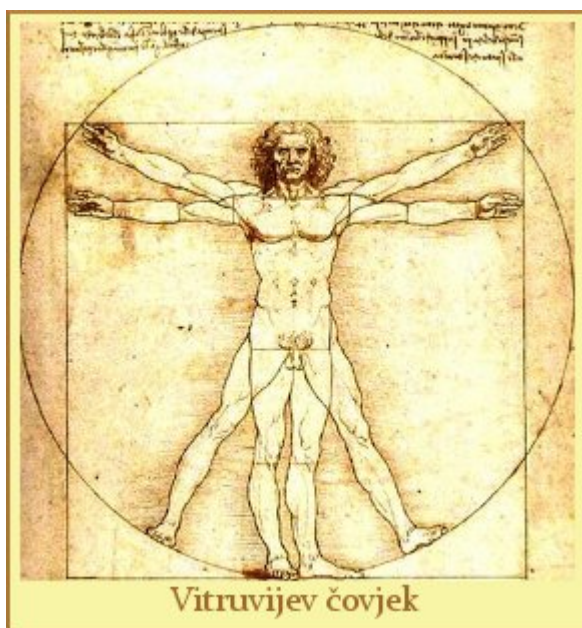


U Europi je 1187. godine upotrebu kompasa u navigaciji prvi opisao **Alexander Neckham**. Prvi su kompasi imali željeznu iglu koja se magnetizirala prirodnim magnetom. Igla se pričvrstila na komadić drveta i stavljala na površinu vode. Upotreba kompasa dovela je do opisa magnetskih svojstava Zemlje i djelovanja magneta. **Petrus Peregrinus** (pravim imenom **Pierre Maricourt**) 1269. g. u svom djelu *Epistola de magnete* daje opsežnu raspravu o magnetima. Uvodi pojam magnetski pol i zamjećuje da se raznoimeni polovi privlače, a istoimeni odbijaju. Ustanovio je da magnetski monopol ne postoji, odnosno ako se magnet prereže na dva dijela (pokus Petrusa Peregrinusa), svaki dio ima svoj „južni“ i „sjeverni“ pol. Opisao je ponašanje magneta smještenoga na daščicu koja je plutala na vodi i uređaje koji rade pomoću magneta. Prikazuje dijagrame u kojima tvrdi da je uz pomoć magneta moguće postići tzv. *perpetuum mobile*.

Renesansa - Uvod

Od 14. do 16. stoljeća nastupa vrijeme jednoga od najznačajnijih pokreta u kulturi zapadne Europe, koji je označio završetak srednjega vijeka i doveo do preokreta u znanosti, filozofiji i umjetnosti. To je vrijeme renesanse ili preporoda (prema franc. *renaissance* – ponovno se roditi). U renesansi se razvijaju gradovi, trgovina i promet, raste broj stanovnika, povećava se značaj novca, nastaju prve manufakture te raspadom feudalnoga nastaje novo, građansko društvo.

Antika je u renesansi smatrana vrhuncem čovjekovih stvaralačkih snaga, pa su sve umjetnosti i znanosti koje su cvjetale u antici ponovno bile oživljene. Skupljaju se i proučavaju antički rukopisi, uči se grčki i latinski jezik, rađa se racionalno i znanstveno shvaćanje svijeta. Nosioi su nove renesansne kulture bili humanisti koji su kulturu usmjerenu prema čovjeku suprotstavljali skolastičkoj znanosti i teologiji. Središte univerzuma više nije Bog, nego čovjek – univerzalno obrazovani humanist, predstavnik novčane i intelektualne elite.



U renesansi stvaraju neki od najvećih umjetnika u povijesti čovječanstva: Leonardo da Vinci, Michelangelo, Rafael i dr.

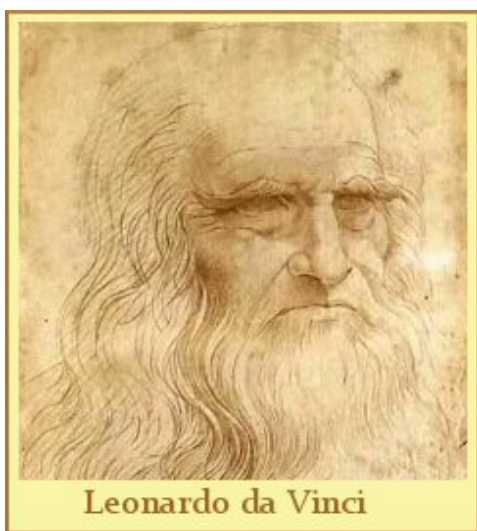
Renesansa je i vrijeme velikih otkrića; istraživači Kristofor Kolumbo, Vasco da Gamma, Ferdinand Magellan i dr. su otkrili nove kontinente i nove zemlje. Brojnim je istraživačkim pothvatima moreplovaca dokazano da je Zemlja okrugla čime je omogućeno novo shvaćanje svemira.

Godine 1440. je Johann Guttenberg izumio tiskarski stroj. Ovo je, jedno od najznačajnijih otkrića u povijesti čovječanstva, otvorilo mogućnost da znanje dopre do velikoga broja ljudi.

U matematici i fizici renesansa ne donosi nove velike spoznaje, ali je ovo razdoblje značajno jer predstavlja prekretnicu u razvoju znanosti i kulture. Poslije tisućljetnoga zastoja znanstvenici započinju borbu protiv autoriteta, protiv dominacije Aristotela i skolastičkoga pristupa znanosti. Renesansni učenjaci obnavljaju i počinju ponovno cijeniti učenja antike i civilizacija Istoka, Indije i islama. Započete su pripreme za novo doba.

Renesansa - Filozofija prirode

Leonardo da Vinci (1452. – 1519.) najveći je genij renesanse koji utjelovljuje renesansni ideal „homo universalis” – višestruko darovita čovjeka neutažive znatiželje i žudnje za novim spoznajama. Osim u umjetnosti, da Vinci je dao i velik doprinos znanosti. Bio je inženjer, izumitelj i istraživač u području mehanike te je među prvima je koji ističu važnost pokusa i primijene matematičke analize kao metode spoznaje prirode i istupa protiv skolastičke metode.



Mehanika je raj za matematičke znanosti.

Leonardo da Vinci

Nikola Kuzanski (1401. – 1464.) u svom djelu *O učenom neznanju* iz 1440. godine tvrdi da postoji najmanji nedjeljivi dio prostora te, nasuprot tome, aktualna beskonačnost. Prostor smatra beskonačnim, a središte toga prostora može biti bilo gdje. To je stav koji se suprotstavlja razlikovanju zemaljskoga i nebeskoga područja, kako je zagovarao Aristotel. Za Kuzanskog ne postoji „gore” i „dolje” u apsolutnom već samo u relativnom smislu.

*Kada bi netko sjedio u čamcu nasred rijeke i ne bi znao da voda teče
i ne bi vidio brda, kako bi on znao da se čamac giba?*

Nikola Kuzanski

Kuzanski je utjecajan učenjak; njegove je radove vjerojatno poznavao i Kopernik, a pod njegovim utjecajem i **Celio Calcagnini** (1479. – 1541.) tvrdi kako je vjerojatnije da se giba Zemlja, kao nesavršena, nego da se gibaju savršena božanska nebesa.

Od 12. je stoljeća shvaćanje pojma sile predmetom rasprave neoplatonista. Oni silu tumače kao „težnju među dijelovima iste cjeline“. Svestrani talijanski učenjak, liječnik, matematičar, astronom, atomist i pjesnik **Girolamo Fracastoro** (1483. – 1553.) u svojem djelu *O simpatiji i antipatiji stvari*, tiskanom 1546. godine, zastupa slično mišljenje; on, naime, smatra da je priroda obdarena životom i dušom te da ima vlastite zakone.

Sva su tijela na koja nas upućuju ili razum ili osjetila sastavljena od ovoga četveroga: prostora, svjetlosti, topline i fluida.

Frane Petrić

Neoplatonistima renesanse pripada i filozof i učenjak rodом s Cresa **Frane Petrić** (1529. – 1597.), koji nasljeđuje mišljenje Nikole Kuzanskog da je gibanje osnovom svega postojećega. Frane Petrić, ili latinskim imenom Franciscus Patricius, drži da su svi dijelovi svijeta međusobno povezani te da među njima vlada simpatija (naklonost) iz koje slijedi djelovanje. Smatra da prvo postoji prostor, a tek onda tvar. Petrić pokušava ponuditi i objašnjenje nastanka plime i oseke tvrdeći da je uzrok obiju pojava simpatija Mjeseca i morske vode. Privlačnu silu pripisuje svim svemirskim tijelima.

Aristotelovo poimanje prostora kao konačnoga i nedjeljivoga od tvari koja se u njemu nalazi u 16. st. nailazi na sve učestalije kritike. Tom se učenju suprotstavlja i **Bernardino Telesio** (1509. – 1588.) smatrajući da je prostor homogen i beskonačan, a njegovo postojanje neovisno o tvari; u prostoru ne postoje prirodna mjesta ni privilegirane točke, nego u njemu vladaju sile koje uzrokuju gibanje. Najpoznatije mu je djelo iz 1565. godine *O naravi stvari prema vlastitim načelima*. Toplina je za Telesia aktivna sila koja proizvodi sve promjene i varijacije u prirodi, ona je pokretač mrtve prirode. Ovaj je talijanski filozof i znanstvenik uveo pojam beskonačnoga vremena i smatrao da najveću vrijednost u znanosti ima osjet.

Misljoci 16. stoljeća ponovno otkrivaju stare koncepcije antike. Tako je **Giordano Bruno** (1548 – 1600.) obnovio i razvio filozofiju Demokrita i Epikura te ih suprotstavio Aristotelovoj. Bruno smatra da su dijelovi svemira u stalnom gibanju, a gibanje se raspoznaje samo u odnosu prema drugim tijelima. **Frederigo Commandino** (1509. – 1575.) je preveo djela Euklida i Arhimeda.

Renesansa - Mehanika i astronomija

Sila je uzrok gibanja, a gibanje je uzrok sile.

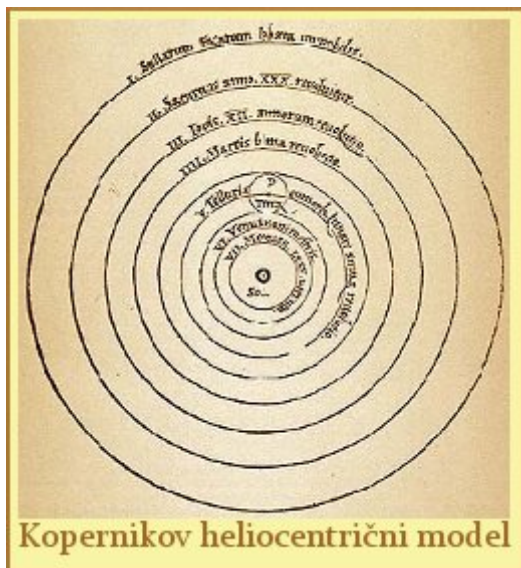
Leonardo da Vinci

Leonardo da Vinci je u svojim istraživanjima mehanike, posebno ustrajnosti, došao tik pred otkriće zakona tromosti. Suprotno je dotadašnjim Aristotelovim učenjima smatrao da „svako gibanje teži svome održanju“ i „svako gibanje produžava svoj put po pravcu“. Istraživao je slobodni pad, horizontalni hitac, sudar tijela, odbijanje zvuka, zakon trenja, tamnu komoru, otpor sredstva, pojave kapilarnosti i dr. Godine 1475. objavljuje da je vječno gibanje, tzv. *perpetuum mobile*, nemoguće.

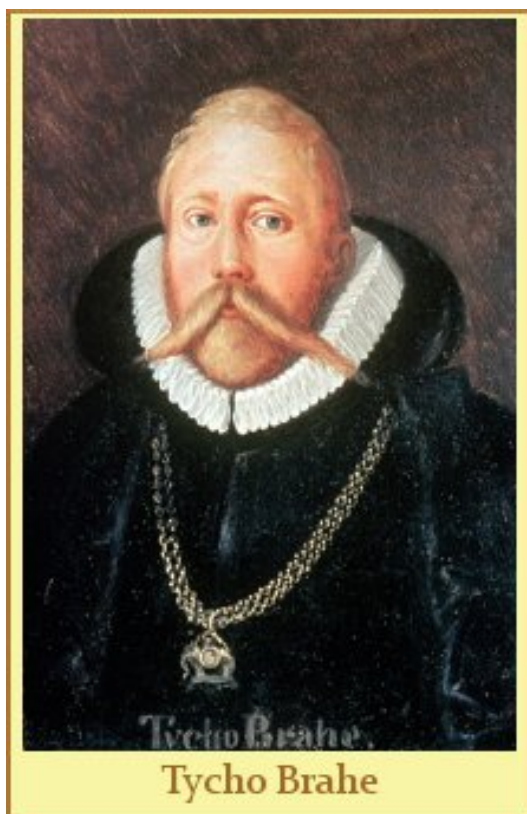
Veliki doprinosi renesanse nastaju u domeni astronomije i konačno dovode do napuštanja tisućljetnih učenja Aristotela i Ptolomeja te razvijanja novoga, temeljno različitoga pogleda na mjesto čovjeka u svemiru.

Poljski je astronom **Nikola Kopernik** (1473. – 1543.) na samome kraju svoga života objavio djelo *O vrtnji nebeskih krugova* (*De revolutionibus orbium coelestium*) u kojem

zagovara heliocentrični model svemira, tj. onaj u kojem je Sunce, a ne Zemlja, postavljena u njegovo središte. Kopernik je reformirao kalendar zbog pomicanja proljetne točke uslijed precesije, tj. pomicanja Zemljine osi vrtnje. Također, utvrđuje postojanje trostrukoga gibanja Zemlje: njezinu rotaciju oko osi, revoluciju (tj. gibanja Zemlje oko Sunca) i precesiju Zemljine osi. Ostali se planeti, smatra Kopernik, gibaju po kružnicama oko Sunca, a Mjesec ne smatra planetom. Iako je izbjegao progon i inkviziciju jer mu je kapitalno djelo tiskano pred kraj života, njegovo je djelo raspirilo žestoke rasprave, sukobe i promjene jer je „kopernikanski obrat“ imao duboke implikacije na ideologiju i tadašnji društveni poredak.



Kopernikov heliocentrični model



Tycho Brahe

Danski plemić, astronom Tycho Brahe (1546. – 1601.) također predlaže astronomski sustav sa Zemljom u središtu, Mjesecom i Suncem koji se gibaju oko nje te planetima koji se gibaju oko Sunca. Za razliku od Kopernikova, Braheov sustav zadržava Aristotelovu ideju „zemaljskoga“ i „nebeskoga“ područja, a promjene uvodi samo u „nebeskom“ području te tako na neki način adaptira peripatetičku prirodnu filozofiju.

Kopernikovim je učenjem bio ponesen i mladi talijanski dominikanac **Giordano Bruno** (1548. – 1600.). U raspravi je iz 1584. godine *O beskonačnosti, svemiru i svjetovima* izložio svoje učenje o svemiru i planetnim sustavima drugih zvijezda te istaknuo ideju o jedinstvenim zakonima prirode. Zbog svojih je ideja morao napustiti crkveni red. Godine 1592. je utamničen, a osam godina kasnije kao heretik spaljen na lomači.

Koliko sunaca! Koliko svjetova!

Giordano Bruno

„Bruno kaže da nam se zvijezde pričinjaju nepomičnim točkama samo zato što su veoma daleko od nas. Naš planetni sustav nije nikakav izuzetak u svemiru. I oko drugih zvijezda ima planeta, a na tim planetima također borave umna bića, moždaumnija od ljudi. Sam je svemir za Bruna beskonačan. Te su misli bile opasne jer su dirale u osnove religiozne dogme: gdje se nalazi nebo i pakao, kako je Bog stvorio Zemlju. Kako se Giordano nije dao ušutkati, uhvati ga 1600. godine inkvizicija i javno spali na trgu Campo dei Fiori u Rimu. Užasnu smrt na lomači podnio je ponosno i neustrašivo, što je ostalo trajno u spomenu kasnijih generacija.“

(Ivan Supek, *Povijest fizike*)

Renesansa - Mehanika i astronomija

U 16. st. značajne doprinose mehanici daje talijanski matematičar i fizičar **Gvido Ubaldi del Monte** (1545. – 1607.), učenik Frederiga Commandina, prevoditelja Euklida i Arhimeda. Del Monte 1577. godine izdaje *Knjigu o mehanici* u kojoj povezuje znanja mehanike staroga i srednjega vijeka. Bavi se uvjetom ravnoteže na poluzi, ustanovljava važnu ulogu sile i okomice iz oslonca na pravac djelovanja sile, tj. kraka sile. Kao i Leonardo da Vinci, nalazi uvjet ravnoteže za savijenu polugu te uvodi pojam „moment“, koji je blizak današnjem pojmu „momenta sile“.



Simon Stevin (1548. – 1620.), nizozemski matematičar i fizičar, svoja istraživanja statike donosi u djelu iz 1586. godine *Načela statike*. Stevin se bavio tumačenjem sila na kosini; riješio je problem ravnoteže na kosini, razlikovao stabilnu i labilnu ravnotežu, shvatio vektorski karakter sila i prvi je našao pravilo za geometrijsko zbrajanje sila. Raspravljao je i o težištu. *Perpetuum mobile* smatra nemogućim. Godine 1586. demonstrirao je da dva predmeta različite težine na tlo padaju jednakim ubrzanjem. Iznimno je značajan i Stevinov doprinos hidrostatici; dokazao je da je svaki dio tekućine u ravnoteži, znanstvenim je postupkom potvrdio istinitost Arhimedova zakon i hidrostatickoga paradoksa te razmatrao uvjete plivanja. Prvi je objasnio plimu preko privlačnih sila Mjeseca, a zalagao se za uvođenje decimalnoga sustava u brojenje novca, težine i mjerenje.

Niccolo Fontana Tartaglia (1499./1500. – 1557.), talijanski matematičar i inženjer, jedan je od začetnika balistike. Osim što je projektirao utvrde, bavio se i topografijom i prvi primijenio matematiku na istraživanje putanja topovskih kugli. Godine 1548. utvrđuje da putanja leta topovske kugle nije izlomljena crta, već je putanja po cijelom putu krivocrtna. Izračunao je domet hitca pri izbacivanju projektila pod kutom od 45 stupnjeva prema horizontu. U tumačenju mehanike Tartaglia je još pod utjecajem peripatetičkih stavova o prirodnom i nasilnom gibanju.

Pojam impetus (ono što odražava gibanje), koji u 14. st. uvodi Jean Buridan, obnavlja se u 16. stoljeću u radovima **Giambattiste Benedettija** (1530. – 1590.). Najpoznatije djelo ovoga talijanskog učenjaka, kritičara Aristotela i peripatetičke filozofije jest *Različita matematička i fizikalna razmišljanja* objavljeno 1585.

godine. Benedetti smatra da tijelo na koje djeluje sila dobiva impetus koji ostaje pohranjen u tijelu i zbog kojega tijelo nastavlja gibanje dobivenom brzinom, odnosno impetus se održava. Tim je učenjem značajno utjecao na Galileija i razvoj koncepta ustrajnosti gibanja.



Francesco Maurolyco

U svojoj se kritici peripatetičke filozofije suprotstavio tezi da se brzina tijela pri slobodnom padu povećava uslijed povećavanja težine tijela, a smatrao je da je brzina razmjerna razlici gustoće tijela i sredstva kroz koje se tijelo giba. Odbacuje i Aristotelove pojmove apsolutne težine i lakoće smatrajući težinu i lakoću relativnima. Sva tijela smatra teškima, a težina će im ovisiti o sredstvu u kojem se nalaze. Ovim učenjem Benedetti je zamijenio Aristotelove kvalitete s Arhimedovim kvantitetama.

Mjerenje kvantitativnih promjena postaje glavnom metodom istraživanja, načelom novoga doba koje je vodilo prema novoj fizici.

Talijan Francesco Maurolyco (1494. – 1575.), matematičar, fizičar i astronom, poznat je po izučavanjima geometrije, mehanike, optike, astronomije i glazbe. Godine 1572. **Maurolyco** je opazio supernovu u zvijezdu Cassiopeia – tzv. Tychovu supernovu.

Renesansa - Optika i valovi



Giambattista della Porta

Područje je optike relativno zapostavljeno tijekom renesanse. Tek se u 16. st. njome bave talijanski učenjaci **Francesco Maurolyco** (1494. – 1575.) i **Giambattista della Porta** (1538. – 1615.). Maurolyco je 1613. godine izdao dva rada iz optike, no kako su Keplerovi radovi iz optike bili objavljeni prije, njegov je doprinos optici ostao manje zapažen. Ipak, Maurolyco je prvi dokazao da svjetlosna zraka, poslije loma na planparalelnoj ploči, ostaje paralelna s upadnom zrakom i objasnio mane vida kratkovidnost i dalekovidnost. Također, prvi je opisao sedam duginih boja (dotadašnje je mišljenje bilo da duga sadrži tri boje), a danas se smatra pionikom u istraživanju loma svjetlosti u prizmi.

Della Porta eksperimentira s lećama i zrcalima. Uočio je položaj i osobine žarišta sfernog zrcala i nazvao ga je „točka u kojoj se okreće slika“. Lećama i tamnom komorom eksperimentira

1558. godine te objašnjava analogiju oka i tamne komore. Smatra, međutim, da slika predmeta nastaje na očnoj leći kao na zastoru. U djelu iz 1593. godine raspravlja o lomu svjetlosti i svojim rezultatima proučavanja leća. Autor je prvih crteža zraka specifičnih za leću.

Talijan Giambattista Benedetti (1530. – 1590.), porijeklom iz Venecije, proučavao je konsonantnost zvuka. Razlog je za konsonanciju pronašao u pravilnom izmjenjivanju perioda dugih i kratkih valova vibracija.

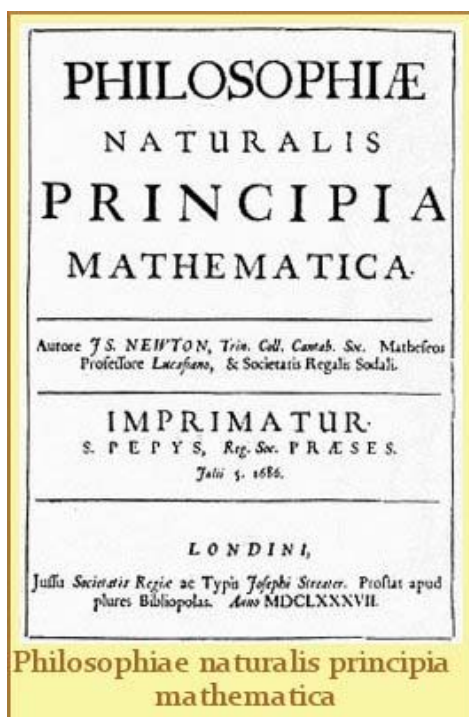
Renesansa - Elektricitet i magnetizam

Matematičar enciklopedijskoga znanja, dramski pisac i znanstvenik **Giambattista della Porta** (1538.-1615.) talijanski je renesansni učenjak koji se bavi i magnetizmom. Rad svoga prethodnika iz 13. st. **Pierrea Maricurta** obogaćuje novim spoznajama. Della Porta u pokusima prvi koristi željeznu piljevinu i uočava djelovanje magnetskoga privlačenja i odbijanja kroz različita sredstva, ali ne i kroz željezo. Predlaže da se djelovanje magnetske sile mjeri vagom. Stupanj tadašnjega poznavanja magnetizma i načina njegova istraživanja zorno predodžuje ovaj zapis njegova opažanja: „Bijeli luk ne djeluje na magnet“.

Novi vijek - Uvod

Razum mora biti naš najviši sudac i vodič u svemu.

John Locke



Nakon renesanse u 17. st. nastupa u zapadnoevropskoj kulturi tzv. vrijeme racionalizma. Ono prethodi pokretu prosvjetiteljstva koje je obilježilo 18. st..

U 17. st. su postavljeni temelji klasične fizike. Njezinim se ocem i "svjetlom novoga doba" često naziva Galileo Galilei, čovjek koji je počeo izgrađivati novu fiziku temeljenu na pokusu i matematičkom opisu. Brojni su veliki umovi gradili znanstvenu misao 17. stoljeća: Edmond Halley, Robert Hooke, Christiaan Huygens, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Gottfried Leibniz, Blaise Pascal, Francis Bacon, René Descartes... U to vrijeme djeluje i, po mnogima, najveći fizičar i znanstvenik koji je ikad živio Isaac Newton. Kulminacija je fizike 17. st. bila izdavanje njegove *Principie* 1687. godine u kojoj su definirani temeljni pojmovi i formulirana nova slika svijeta.

Povijest znanosti u doba prosvjetiteljstva u 18. st. bilježi strmi uspon; utemeljene su elektrostatika i magnetostatika, razvija se optika (posebno tumačenje pojava povezanih s valnom prirodom svjetlosti kao što su rasap, ogib, interferencija i polarizacija svjetlosti te se postavljaju prve teorije o prirodi svjetlosti). Tijekom 18. st. se pojavljuju i prve znanstvene teorije o toplini, a Daniel Bernoulli oblikuje kinetičku teoriju plinova.

*Sapere aude! Imaj srčanosti da se služiš vlastitim razumom!
To je dakle krilatica prosvjetiteljstva.*

Immanuel Kant

Novi vijek - Filozofija prirode

Gdje da te zgrabim, silna prirodo!

Johann Wolfgang Goethe, Faust

Jednim se od osnivača moderne znanosti i moderne filozofije smatra engleski filozof empirist **sir Francis Bacon** (1561. – 1626.). On u poznatom djelu *Novi organon znanosti*, izdanom 1620. godine, izlaže osnovne principe svoje filozofije. Najvišim načelom svakoga znanstvenog istraživanja smatra pokus, a metoda koju predlaže za dolazak do novih spoznaja jest metoda indukcije. Baconova metoda indukcije predstavlja jedinstvo eksperimenta i racionalne spoznaje, no prije njezine primjene, smatra Bacon, treba očistiti razum od nagomilanih predrasuda (zabluda, 'idola'). Bacon teži 'velikoj obnovi' (temeljitoj preobrazbi znanosti i života uopće) i drži da je cilj znanosti i filozofije „opskrbiti ljudski život novim pronalascima i dobrima”, ovladati prirodom i povećati čovjekovu moć nad prirodom.

Znanje je moć.

Francis Bacon



Réne Descartes

Metodu dedukcije zagovara u svojoj knjizi *Rasprava o metodi* i francuski filozof, matematičar i fizičar, po mnogima otac moderne filozofije, **René Descartes** (1596. – 1650.), latiniziranoga imena **Cartesius**. On kritizira dotadašnje filozofske i znanstvene misli i upozorava na potrebu revizije pojmova i metoda kojima su se gradile znanstvene teorije. Smatra da osnova spoznaje treba biti mogućnost čovjeka da svojim umom unosi red u proučavanje stvari te onda pravilno zaključuje. Takav stav određuje Descartesa kao filozofa racionalista; on ističe važnost logičke analize, preciznoga zaključka utemeljenoga na jasnim i jednostavnim načelima i strogom, logički dosljednom, dokazu. U njegovoj je metodi matematika u glavnoj ulozi.

Descartes je jedan od prvih znanstvenika koji jasnije formulira načelo ustrajnosti u svojim zakonima gibanja:

1. Tijelo ne mijenja stanje gibanja (ili mirovanja) sve dok ono ne sretne drugo tijelo; jednom u gibanju, sva se tijela nastavljaju gibati.

2. Svi dijelovi tvari teže gibanju duž pravca sve dok ne sretnu druge dijelove tvari.

Descartes izučava i sudare elastičnih kugli i zaključuje da se količina gibanja pri sudaru prenosi bez gubitaka. Zato smatra da je gibanje neuništivo i da ga ima onoliko koliko ga je bilo i u trenutku stvaranja svijeta. Pod izrazom „očuvanje gibanja” on misli na suvremeni pojam količine gibanja i navodi: „*Ako se dio tvari giba dvaput brže od drugoga dijela, a taj drugi je dio tvari dvaput veći od prvoga dijela, onda moramo držati da ima isto toliko gibanja u prvom koliko i u drugom dijelu*”. Iz svoje je prirodne filozofije izbacio pojam sile, pa je tumačenje prirodnih pojava sveo na gibanje i uzajamno djelovanje čestica. Descartes drži da u svemiru ne postoji praznina, nego je cijeli ispunjen fluidom (eter) i vrtložnim gibanjima (teorija eterskih vrtloga). Razlikuje tri vrste čestica: čestice zemlje, vatre i neba. Protivnik je razdvajanja u „zemaljsko” i „nebesko” područje.

Ovo je vrijeme intenzivnoga osnivanja akademija i znanstvenih društava, vrijeme u kojem nastaju znanstvene publikacije i započinje intenzivnije širenje informacija među znanstvenicima toga doba. Tako su npr. Galileijevi učenici u Firenzi 1657. godine osnovali Akademiju pokusa, u Parizu je Akademija znanosti osnovana 1666. godine, u Londonu je 1645. godine osnovano Društvo ljubitelja prirodnih znanosti koje 1660. godine postaje Kraljevsko društvo. Ove ugledne institucije počinju izdavati i svoje publikacije; časopis Kraljevskoga društva u Londonu je počeo izlaziti 1682. godine, a nakon toga i časopis Pariške akademije. Francuski je znanstvenik **Maren Mersenne** (1588. – 1648.) organizirao širenje znanstvenih informacija dopisivanjem.



U najveće mislioce svih vremena, posebno 17. st., uvrštava se njemački filozof, matematičar, fizičar i diplomat **Gottfried Wilhelm Leibniz** (1646. – 1716.). On oblikuje koncept nazvan dinamizam te uvodi pojam tzv. „žive sile” („*vis viva*”), odnosno neuništive veličine svojstvene tvari. Smatra da sila postoji i značajnija je od same tvari, ali ne može djelovati na daljinu, nego samo kroz neposredni dodir tijela. Tvar se, smatra Leibnitz, ne može sastojati samo od protežnosti i gibanja. U djelu *Dokaz značajnih Descartesovih pogrešaka...*, objavljenom 1686. godine, navodi da neke fizičke veličine ostaju očuvane, kao npr. količina gibanja, no Leibnizov se koncept količine gibanja razlikuje od Descartesova.

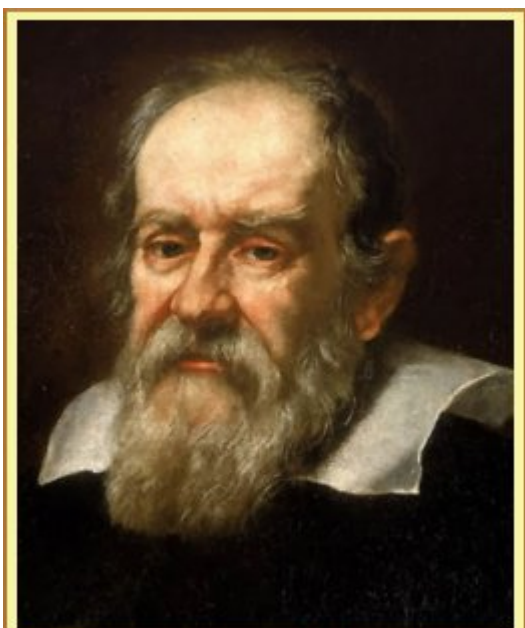
Tijekom 17. st. utemeljuje se i nova moderna kemija. Kritiziraju se Aristotelove ideje o četiri

elementa, a obnavljaju neki drugi antički koncepti. Npr. belgijski kemičar **Jan Baptista van Helmont** (1577. – 1644.) obnavlja Talesovo učenje o vodi kao prapočelu. Kakobi dokazao da je sve nastalo iz vode, **van Helmont** je posadio biljku i pratio njezin rast tako da je sve mjerio vagom. Francuski je znanstvenik **Pierre Gassendi** (1592. – 1655.) obnovio ideju atomizma i ustanovio da su sve tvari sastavljene od čvrstih i neuništivih atoma. Irski kemičar i fizičar **Robert Boyle** (1627. – 1691.) objavljuje 1661. godine poznato djelo *Skeptični kemičar* (*The Sceptical Chemist*) u kojem uvodi nov koncept elementa, blizak današnjem pojmu kemijskoga elementa, pa se to njegovo djelo smatra početkom znanstvene kemije.

Novi vijek - Mehanika i astronomija

*Znaš li zapovijed što vlada nebesima?
Možeš li postaviti njihova pravila na Zemlji?*

Knjiga o Jobu



Galileo Galilei

Talijanski fizičar, matematičar i astronom **Galileo Galilei** (1564. – 1642.) često se naziva „ocem fizike“. To je čovjek koji je prvi uveo eksperimentalnu metodu, pokus ustanovio metodom znanstvenoga istraživanja i započeo matematičko formuliranje fizikalnih zakona, pa se zato smatra osnivačem klasične fizike i mehanike. Galileijev „slučaj“ suđenja s inkvizicijom primjer je povijesno najpoznatijega sukoba znanosti i vjere, čiji odjeci traju i do današnjega vremena.

Galilei je u Pisi studirao medicinu, a zatim matematiku i filozofiju. Već je kao student izučavao izokroničnost njihala promatrajući njihanje svijećnjaka u katedrali u Pisi. Ondje 1586. godine piše i rad o hidrostatičkoj vagi za određivanje gustoća krutina te izvodi pokuse kojima pobija učenje peripatetičara o slobodnom padu. Bacajući s kosoga tornja u Pisi dvije kugle jednakih obujama, a različitih masa,

demonstrirao je Aristotelovim pristašama da teža tijela ne padaju brže; razliku je brzina padanja za tijela različitih oblika objasnio različitim otporom zraka.

Godine 1610. Galilei prelazi na Sveučilište u Padovi gdje se bavi problemima mehanike i gdje započinje njegovo zanimanje za Kopernikovo djelo. Iste je godine, čuvši za otkriće nizozemskih optičara, izradio svoj teleskop s uvećanjem od 30 puta i postao prvi čovjek koji je teleskop uperio u nebo. Ovaj je svestrani znanstvenik otkrio planine na Mjesecu, dnevnu i mjesečnu libraciju Mjeseca, Venerine faze, Sunčeve pjege, rotaciju Sunca, četiri Jupiterova satelita koja danas zovemo Galileijanskim satelitima te ustanovio da se Mliječna staza sastoji od velikoga mnoštva zvijezda. Rezultate je objavio u knjizi *Zvjezdani glasnik*.

*U pitanjima znanosti tisuću autoriteta nije vrijedno
skromna razmišljanja jednoga pojedinca.*

Galileo Galilei

Nakon višemjesečnih usklađivanja s crkvenim cenzorima u Rimu i Firenci 1632. godine je objavljena glasovita Galileijeva knjiga *Razgovor o dva sustava svijeta, Ptolomejevom i Kopernikovom (Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano)*, poznata kao *Dialogo*. Djelo je napisano u vidu razgovora Venecijanaca Sagreda i Simplicia s Firentincem Salviatijem. Salviati i Sagredo zastupaju Galileijeve stavove, a Simplicio je predstavnik peripatetičara. Inkvizicija je tražila da se u predgovoru knjige napomene kako je Kopernikovo učenje tek pretpostavka.

Zbog priklanjanja Kopernikovu učenju iskazanom u *Dijalogu* inkvizicija 1633. godine Galileija pozva u Rim. U travnju iste godine započinje saslušanje, a u lipnju i suđenje već starom i onemoćalom Galileiju. U sudskom je procesu traženo da se odrekne svoga učenja, na što je on i pristao bojeći se sudbine koja je snašla Giordana Bruna na Campu dei Fiori.

Galilei je osuđen na konfinaciju, kućni pritvor u svojoj kući u Firenci, gdje je nastavio s radom i završio svoje veliko djelo u kojem je objasnio zakone fizike i mehanike *Rasprave i matematički dokazi o dvjema novim znanostima (Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica)*, objavljeno 1638. godine. Tijekom konfinacije slobodno je pisao i vodio društveni život, a objavljivanje rada nije imalo nikakve posljedice po Galileijev status niti je dovelo do ponovnoga procesa. Neka njegova djela su se našla na vatikanskom 'popisu zabranjenih knjiga' (*Index librorum prohibitorum*).

Iako se odrekao svih tvrdnji o heliocentričnom sustavu, pripisuje mu se legendarna izjava „*Eppur si muove.*“ („Ipak se kreće.“), no nema dokaza da je to ikad izgovorio.

Već ste sto puta slušali o uvredljivoj besmislenosti kojom ste osudili Galileija, a ja ću vam to reći po sto prvi put. Zahtijevam da zauvijek slavite njegovu godišnjicu. Hoću također da iznad vrata vašeg Sv.Uficia stavite ovaj natpis „Ovdje je sedam kardinala neznalica odlučilo baciti u tamnicu vodećega mislioca Italije u njegovoj sedamdesetoj godini i staviti ga na kruh i vodu zato što je poučavao ljude“.

Voltaire

Postoje dvije sfere znanja (realms of knowledge): jedna koja ima izvor u Objavi i jednu koju racionalno možemo spoznati. Ovoj zadnjoj posebno pripadaju eksperimentalne znanosti i filozofija. Razlike među ovim dvjema sferama znanja ne bi trebalo shvaćati kao suprotnosti. One nisu potpuno strane jedna drugoj nego imaju dodirnih točaka. Metodologije svake od njih omogućavaju iznošenje različitih vidova stvarnosti.

Papa Ivan Pavao II

Sukob između Galileija i inkvizicije nije bio samo sukob između slobodne misli i vjerske zadrčnosti ili između znanosti i religije. To je sukob između induktivnoga i deduktivnoga načina razmišljanja. Oni koji vjeruju u dedukciju kao put do znanja moraju negdje naći svoje premise, obično u svetim knjigama... Kako se ovakav način spoznaje urušava kada se posumnja u premise, oni koji vjeruju u njega moraju biti bijesni na čovjeka koji je doveo u pitanje autoritet svetih knjiga.

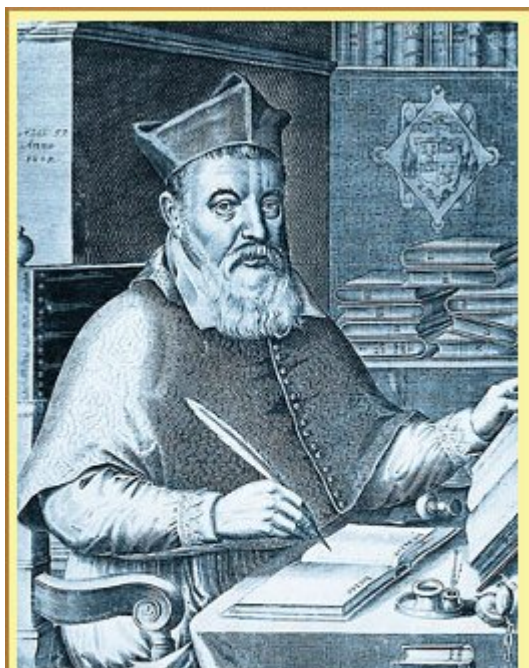
Bertrand Russel

Novi vijek - Mehanika i astronomija

U djelu *Rasprave i matematički dokazi o dvjema novim znanostima* Galileo je izveo relaciju za jednoliko ubrzano gibanje (slobodni pad) i objavio svoje zakone ubrzanoga gibanja: putovi se kod jednoliko ubrzanoga gibanja odnose kao kvadrati protekloga vremena, a putovi u pojedinim jediničnim vremenskim intervalima se odnose kao neparni brojevi.

U radu *Rasuđivanje o tijelima koja se nalaze u vodi*, iz 1612. godine, Galilei raspravlja o Arhimedovu zakonu i uvjetima plivanja tijela protiveći se peripatetičarima koji su tvrdili da je težina tijela u vodi ovisna o obliku tijela. U *Dijalogu* je Galilei iznio teoriju plime i oseke koju je smatrao važnim dokazom u prilog Kopernikovu učenju. Plimu i oseku je usporedio s vodom u teretnom brodu: kada brod naglo zakoči, voda se usmjerava prema pramcu broda, a kada brod ubrza, voda se usmjerava prema krmi. Unatoč zanimljivoj analogiji i zapažanju Galileijeva je teorija plime i oseke bila neuspješna.

Galilei je izvodeći brojne pokuse s kosinom proučavao i ubrzano gibanje. Zanimajući se trenje na kosini uočio da ubrzanje tijela ovisi o nagibu kosine i da brzina tijela ne ovisi o duljini, nego samo o visini kosine. Zapaža da bi se tijelo koje se spušta niz kosinu s određene visine, u odsustvu trenja, a kada bi u nastavku postojala druga kosina uz koju bi se trebalo popeti, uvijek podiglo na tu istu visinu. Slično je ustanovio i za gibanje kuglice u žlijebu oblika slova U, kao i za njihalo. Tako je došao do zakona tromosti i spoznaje da je gravitacijska sila konzervativna.



Marko Antun de Dominis

Pokusima je došao do zaključka da je ubrzanje neovisno o masi tijela i da je brzina slobodnoga pada, ako se zanemari otpor zraka, za sva tijela jednaka. Ustanovio je razmjernost brzine i vremena slobodnoga pada i razmjernost prijeđenoga puta s kvadratom protekloga vremena.

Galilei je došao i do spoznaje o nezavisnosti djelovanja sila. Proučavao je horizontalni i kosi hitac. Ustanovio je nezavisnost brzine slobodnoga pada o brzini koju je tijelo dobilo pri izbacivanju u horizontalnom smjeru. Odredio je i

putanju horizontalnoga hitca. U *Dijalogu* navodi da je putanja tada kružna s velikim polumjerom, a u *Raspravama* je ispravio pogrešku i ustanovio da je putanja tijela parabola. Zato ga mnogu smatraju i osnivačem balistike.

Galileijev suvremenik bio je i splitski nadbiskup, kasnije heretik, rođen na Rabu **Marko Antun de Dominis** (1560. – 1624.). On 1624. godine izdaje djelo *O plimi i oseci mora...* u kojem uspješno i ispravno tumači nastanak plime i oseke kao posljedicu privlačnoga djelovanja Mjeseca i Sunca. Dominisovo tumačenje Galileo u svojem *Dijalogu* oštro kritizira, otvarajući dilemu ima li sila u prirodi koje djeluju na daljinu.

Novi vijek - Mehanika i astronomija

*Mjerih nebesa, sada sjene mjerim.
Um mi visinama težaše,
tijelo na Zemlji prikovano osta.*

Johannes Kepler, epitaf za vlastiti grob

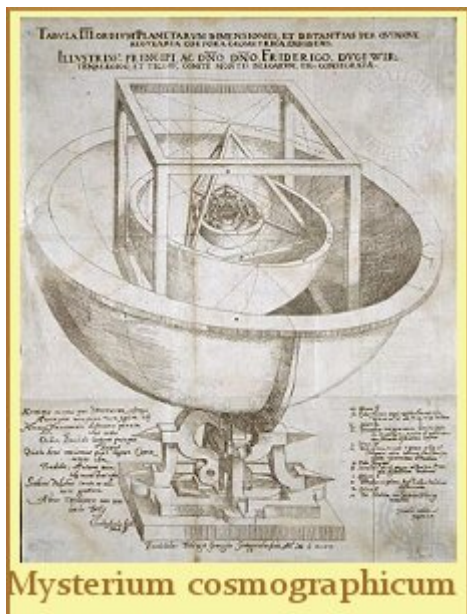


Jedno od najvećih otkrića 17. st. su zakoni nebeske mehanike koje je svijetu otkrio njemački astronom **Johannes Kepler** (1571. – 1630.). Ovaj siromašni protestantski svećenik je 1593. godine postao profesor matematike i filozofije na učilištu u Grazu, a osim predavanjima i znanstvenim radom bavio se sastavljanjem kalendara te, kako bi zaradio za život, izradom horoskopa. Kepler je poznat kao jedan od najsistematičnijih umova u znanosti uopće; godinama je strpljivo izrađivao stotine stranica proračuna i nije se zadovoljavao osrednjim slaganjem teorije i promatranja. Zanimljiva je činjenica da se Kepler uvijek pokoravao promatranjima.

Geometrija je sam Bog.

Johannes Kepler

Kepler se pod utjecajem učenja pitagorejaca upustio u potragu za „brojevnom harmonijom“ među nebeskim sferama, počevši od praćenja proporcija brojeva i njihovih kvadrata, tražeći podudarnosti oblika i njihovih kombinacija, metodom poznatom kao pitagoriziranje.



U to je vrijeme, uz Zemlju, bilo poznato 6 planeta za koje je pokušao pronaći brojevni odnos između njihovih udaljenosti od Sunca. Također, isprobavao je razne kombinacije i došao da geometrijske sheme koju je izložio u svom radu *Kozmografska tajna (Mysterium cosmographicum)*. Nakon što je upoznao Keplerovo djelo, danski ga je plemić Tycho Brahe, vlasnik tada najbogatije i najkvalitetnije zbirke astronomskih mjerenja, pozvao u Prag.

Kepler piše: 'Tycho mi ne pruža priliku da se upoznam s njegovim iskustvom. On bi mi samo spomenuo, za vrijeme jela ili povodom drugih stvari, onako usput, danas vrijednost apogeja jednoga planeta, sutra presjecište nekoga drugog. /.../ Tycho raspolaže najboljim podacima promatranja. Ima i suradnike. Jedino mu nedostaje graditelj koji bi sve to znao iskoristiti'. Tycho je bio najveći promatrački genij toga doba, a Kepler najveći teoretičar. I jedan i drugi su

znali da pojedinačno ni jedan od njih ne može ostvariti sintezu točnoga i suvisloga kozmičkog sistema, ali osjećali su da je sinteza tu na vidiku. No, Tycho nije htio da svoje životno djelo pokloni jednom znatno mlađem potencijalnom suparniku. Osim toga, iz nekog razloga, nije dolazilo u obzir ni zajedničko autorstvo nad rezultatima. Rođenje moderne znanosti – djeteta teorije i promatranja, kolebalo se nad provalijom uzajamnoga nepovjerenja dvoje ljudi.

(Carl Sagan, *Cosmos*)

Na samrtnoj je postelji Brahe zaklinjao Keplera da ne zaboravi sustav koji je on zastupao te ga savjetovao da svoje istraživanje usredotoči na opažачke podatke Marsa. U svojim se kasnijim radovima Kepler savjesno držao obećanja, a neizmjereno poštovanje koje je gajio za Tycha Brahea dokazuje i činjenica da je 25 godina kasnije svoje velike planetarne tablice *Tabuli Rudolphinae* posvetio njenoj uspomeni. Dva je dana nakon Braheove smrti 1601. godine Kepler, tada tridesetogodišnjak, imenovan carskim matematičarom. Proučavanjem je astronomskih mjerenja naslijeđenim od Brahea došao do spoznaje da su planetne putanje elipse, a ne kružnice kako se do tada mislilo i u što je isprva bio i on uvjeren. Budući da je ekscentricitet planetnih elipsa u Sunčevu sustavu mali, do toga otkrića nije bilo lako doći. O napuštanju ideje kružnica Kepler piše: „...*istina prirode, koju sam stalno odbacivao i tjerao, tajno se provukla na mala vrata prerušivši se da bi bila prihvaćena. Ah, kakva sam glupa tikva bio.*“

Svoje je proračune Kepler izložio u knjizi *Nova astronomija ili nebeska fizika s komentarima gibanja planeta Marsa prema motrenjima Tycha Brahea* koja je tiskana u Pragu 1609. godine. Tu su izložena prva dva zakona koja danas zovemo Keplerovim zakonima. Planetne su putanje elipse kojima se Sunce nalazi u jednom žarištu. Planeti se po elipsama gibaju nejednoliko, brže kada su bliže Suncu, a sporije kada su dalje, odnosno gibaju se tako da spojnica Sunce – planet u jednakim vremenskim razmacima prebriše jednake površine. Tražeći matematičku vezu između udaljenosti planeta oko Sunca i vremena njihova ophoda, Kepler dolazi do trećega zakona, odnosno do spoznaje

da su kvadrati vremena obilaska planeta razmjerni kubovima njihovih srednjih udaljenosti od Sunca. Taj je zakon objavio 1619. godine u radu *Harmonija svijeta* (*Harmonice mundi*).

Pod utjecajem platonizma Kepler naučava da se sve u svijetu privlači. Ne samo Zemlja privlači kamen, nego i kamen privlači Zemlju. Plima i oseka su posljedice privlačnoga djelovanja Sunca i Mjeseca. Kepler je poopćio problem privlačenja. Ipak, Keplerova je zasluga da je pojam sile preuredio iz platonističkoga oblika u relacijski pojam, tj. u matematički iskaz.

(Zdravko Faj, *Pregled povijesti fizike*)

Kepler je autor romana *San* (*Somnium*), objavljenoga 1634. godine, u kojem opisuje putovanje u svemir, te se smatra i pionirrom znanstveno-fantastičnoga žanra.

Dubrovčanin **Marin Getaldić** (1568. – 1622.) prvi je hrvatski matematičar svjetskoga glasa. Getaldić je osobno poznao Galileija te se s njim dopisivao. Godine 1603. Getaldić objavljuje rad *Unaprijeđeni Arhimed ili o uspoređivanju težine i obujma tijela različite vrste* (*Arhimedes promotus...*) u kojem raspravlja o Arhimedovu zakonu, uvjetima plivanja, i dokazuje da su sva jednako teška tijela građena od iste tvari jednako „teška“ u vodi bez obzira na njihov oblik.

Novi vijek - Mehanika i astronomija

U 17. stoljeću talijanski učenjaci Baliani, Torricelli i Viviani izgrađuju suvremeni koncept atmosferskoga tlaka. **Giovanni Baliani** (1582. – 1666.) u istraživanjima iz 30-ih godina zaključuje da je moguć vakuum i da bi se neke pojave mogle lakše objasniti postojanjem atmosferskoga tlaka. Prvi eksperimentalni dokaz postojanja atmosferskoga tlaka daje Galileijev učenik i sljedbenik **Evangelista Torricelli** (1608. – 1647.) koji je i prvi proizveo vakuum. On smatra da živimo na dnu zračnoga oceana, a zrak nas tlači svojom težinom. S **Vincenzom Vivianijem** (1622. – 1703.) Torricelli realizira pokus kojim mjeri atmosferski tlak. Staklenu je cijev, zatvorenu na jednome kraju, napunio živom, otvoreni je kraj cijevi zatvorio prstom pa je uronio u posudu sa živom. Kada je maknuo prst, dio žive iz cijevi istekao je u posudu dok se nije uspostavila ravnoteža živinoga stupca i atmosferskoga tlaka. Taj povijesni pokus danas nazivamo Torricellijevim pokusom, a poslužio je i za nastajanje prvoga barometra. Naziv barometar predložio je Boyle 1662. godine.





Blaise Pascal

Descartesovu ideju mjerenja tlaka zraka na različitim visinama u atmosferi realizirao je francuski matematičar, fizičar i filozof **Blaise Pascal** (1623. – 1662.). On je izveo Torricellijev pokus s vodom i vinom najprije u podnožju, a zatim i na vrhu brda u okolici Pariza. Tako je dokazao da se tlak zraka smanjuje s visinom i potvrdio Torricellijevu pretpostavku da promjena visine stupca žive ovisi o atmosferskim uvjetima. U radu *O ravnoteži tekućina* 1653. godine Pascal objavljuje spoznaju da se tlak u posudi širi na sve strane jednako, danas poznatu kao Pascalov zakon. Otkrio je i zakon spojenih posuda te dao teoriju hidrauličkoga tijeska.

Prvu je zračnu pumpu konstruirao njemački fizičar i inženjer, gradonačelnik Magdeburga **Otto von Guericke** (1602. – 1686.). Von Guericke je bio uspješan eksperimentator te je poboljšao konstrukciju barometra.

Izvodio je pokuse s atmosferskim tlakom i vakuumom, što je i opisao u djelu *Novi Magdeburški pokusi* izdanom 1672. godine.

Povijesno je najpoznatiji pokus u nizu sličnih, poznat pod imenom Magdeburške polukugle, izveo 1654. godine u Regensburgu. Iz spojenih šupljih bakrenih polukugli zračnom je pumpom isisan zrak tako da kugle drži spojenima okolni zrak, tj. atmosferski tlak. Dvije skupine od po 8 konja upregnute su s namjerom pokazivanja učinkovitosti djelovanja atmosferskoga tlaka, zbog kojega ni 16 snažnih životinja nije moglo razdvojiti polukugle.

Robert Boyle se 1657. godine upoznao s Guerickeovom zračnom pumpom i uz pomoć Roberta Hookea poboljšao njezinu konstrukciju. Rezultat je bio Boyleov ili pneumatski uređaj, „*machina Boyleana*“, i niz pokusa kojima su istraživali svojstva zraka. Boyle je otkrio da voda na manjem tlaku od atmosferskog provrije na temperaturi manjoj od temperature vrelišta, a svoje je rezultate objavio 1660. godine u knjizi *Novi fizikalno-mehanički pokusi u svezi s elastičnošću zraka* (*New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and its Effects....*).

Zakon koji danas poznajemo kao Boyle-Mariotteov zakon prvi je formulirao **Henry Power** 1661. godine. Boyle i njegov pomoćnik **Richard Townley** su pokusima s U-cijevi punjenom živom došli do spoznaje da je obujam zraka u zatvorenom dijelu cijevi obrnuto razmjernan njegovu tlaku. Rezultate je Boyle publicirao 1662. godine u radu *O elastičnosti zraka*. Do iste je spoznaje, neovisno o Boyleu, došao **Edmé Mariotte** (1620. – 1684.), francuski opat i fizičar koji je 1676. godine izdao rad *Pokus o naravi zraka*.

Konstrukcijom se zračne pumpe bavio i veliki nizozemski fizičar **Christian Huygens** (1629. – 1695.), koji je konstruirao je i živin manometar za mjerenje malih tlakova. Godine 1680. nastaje prvi parni kotao koji je mogao proizvesti veće količine vodene pare, tzv. Papinov lonac, a konstruirao ga je francuski fizičar **Denis Papin** (1647. – 1714.). Prvi je upotrebljivi atmosferski parni stroj konstruirao engleski izumitelj **Thomas Newcomen** (1670. – 1730.).

Talijanski učenjak **Benedetto Castelli** (1577. – 1644.), Galileijev učenik, započinje istraživanja fluida u gibanju i tako postaje jedan od začetnika hidrodinamike. Godine 1628. nalazi da je brzina protjecanja tekućine kroz neku cijev obrnuto razmjerna ploštini njezina presjeka, što predstavlja zakon kontinuiteta. Castellijev učenik Torricelli 1644. godine

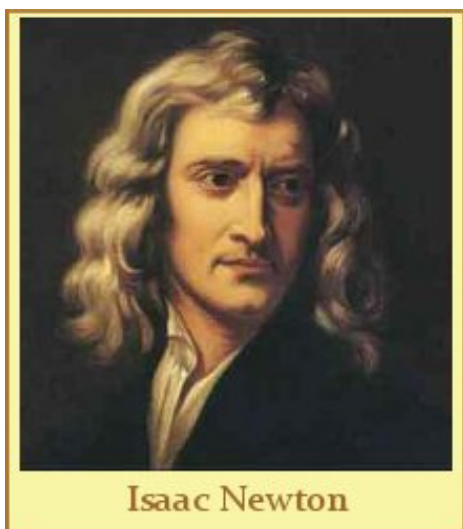
dolazi do spoznaje o brzini istjecanja tekućine iz otvorene posude, koju zovemo Torricellijevim teoremom.

Temelje akustike u 17. stoljeću postavlja francuski učenjak **Maren Mersenne** (1588. – 1648.), autor djela *Opća harmonija* iz 1636. godine. Mersenne je eksperimentirao s titranjem žice, zvučnom rezonancijom, i izveo jedno od prvih mjerenja brzine zvuka u zraku s rezultatom 414 m/s. Prvo određivanje brzine zvuka u zraku posredno, temeljem podataka o elastičnosti i gustoći zraka, izveo je Newton, no rezultat nije bio osobito uspješan. Povezanost frekvencije izvora zvuka i visine tona spominje i Galilei 1638. godine.

Nizozemski fizičar, matematičar i astronom **Christian Huygens** (1629. – 1695.) poznat je u povijesti kao jedan od najsvestranijih znanstvenika. Njegova astronomska otkrića uključuju otkriće Saturnova satelita Titana 1655. godine, pretpostavke o strukturi Saturnovih prstenova, opis Orionove maglice te otkrića nekoliko maglica i dvojnih zvijezda. Poput Bruna, i Huygens razmišlja o životu na drugim svjetovima, a svoja razmišljanja objavljuje u djelu *Cosmotheoros*.

Huygens se bavio i izradom točnoga sata prikladnoga za pomorsku navigaciju. Njegov je sat s njihalom, patentiran 1657. godine, bio prekretnica u mjerenju vremena. Matematičke je i praktične detalje toga otkrića objavio u djelu *Ure njihalice (Horologium Oscillatorium)* 1673. godine. Bavio se teorijom njihala, opisao značajke cikloidnoga, kružnoga i fizikalnoga njihala te izveo relaciju za periodu matematičkoga njihala malih amplituda. Huygens je izučavanjem njihala došao do spoznaje o spljoštenosti Zemlje na polovima; zaključio je da su na različitim mjestima na Zemlji periode njihala različite zbog razlika u ubrzanju sile teže te je realizirao mjerenja koja su to dokazala. Njegov doprinos mehanici uključuje i teoriju elastičnih sudara. Huygens je patentirao i džepni sat te izumio brojne druge naprave i postupke.

Novi vijek - Mehanika i astronomija



U godini Galileijeve smrti rodio se u engleskom selu Woolsthorpe jedan od najvećih znanstvenih genija svih vremena **Isaac Newton (1642. – 1727.)**. Njegovo grandiozno djelo *Matematička načela prirodne filozofije (Philosophiae naturalis principia mathematica)*, izdano 1687. godine, pripada najslavnijim ikada napisanim znanstvenim djelima jer je zauvijek promijenilo mehaniku i cjelokupnu fiziku.

Newton se rodio na Božić 1642. godine. Majka mu je ispričala mnogo godina kasnije da je bio tako sitno novorođenče da je mogao stati u kriglu od četvrt galona. Boležljiv, osjećajući se napušten od roditelja, čangrizav, nedruštven, bez ikakvoga seksualnog kontakta do kraja života, Isaac Newton bio je možda najveći znanstveni genij koji je ikada živio.

(Carl Sagan, *Cosmos*)

*Ne znam kakav se činim svijetu, ali sebi izgledam poput kakva dječaka
koji se igra na obali mora, zabavljajući se da tu i tamo nađe neki glatki
oblutak
ili neku neobično lijepu školjku, dok se pred njim,
još potpuno neotkriven, stere veliki ocean istine.*

Isaac Newton

*Ako sam vidio više nego drugi,
to je zato što sam stajao na leđima
divova.*

Isaac Newton

Svoje izučavanje mehanike Newton utemeljuje na poznavanju djela slavnih prethodnika; naime, objedinjuje spoznaje Galileija i Keplera u jednu teoriju gravitacije i postavlja temelj klasičnoj mehanici. Definira ključne pojmove mehanike: masu, količinu gibanja, silu i tromost, te formulira tri osnovna zakona gibanja. Masu definira kao veličinu razmjernu gustoći i obujmu te uočava razmjernost mase i težine. Koristi latinski pojam *gravitas* za učinak koji danas zovemo silom težom i definira zakon opće gravitacije. Iako je mnogima zvučalo okultno, Newton postulira gravitaciju kao nevidljivu silu koja djeluje na daljinu. Pojam sile kakav danas poznajemo, kao djelovanje koje mijenja stanje gibanja tijela, proizlazi iz Newtonova koncepta sile, iz Newtonove dinamike.

Newton potvrđuje Galileijevu tvrdnju da je ubrzanje sile teže neovisno o masi tijela. Za mjeru gibanja uzima Descarteov pojam količine gibanja i definira je kao umnožak mase i brzine tijela. Toj veličini pridaje temeljno značenje i shvaća da je vremenska promjena količine gibanja jednaka sili.

Vjerojatno su najveći Newtonov doprinos fizici njegovi aksiomi, poznati kao zakoni gibanja:

1. Svako tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikoga gibanja duž pravca, osim ako zbog djelovanja vanjskih sila ne promijeni svoje stanje.
2. Promjena količine gibanja razmjerna je sili koja djeluje na tijelo i odvija se u smjeru djelovanja sile.
3. Svakom djelovanju postoji uvijek jednako i suprotno protudjelovanje, odnosno djelovanja su dvaju tijela jedno na drugo jednaka po iznosima, ali su suprotno orijentirana.

Newton uvodi i koncept referentnoga sustava, zalaže se za apsolutni referentni sustav, odnosno apsolutno vrijeme i prostor.

Novi vijek - Mehanika i astronomija

Prema legendi, koju navodi biograf Stackeley, na razmišljanje o gravitaciji Newtona je navela jabuka koja mu je pala na glavu. U svojim *Načelima* iznosi da Zemlja privlačnom silom djeluje na Mjesec i otklanja ga od pravocrtne putanje. Ta sila, smatra Newton, opada s kvadratom njihovih udaljenosti. Isti zaključak primjenjuje za gibanje planeta uzrokovano privlačenjem Sunca. Prema trećem zakonu gibanja, i planeti privlače Sunce. Usporedbom ubrzanja sile teže i Mjesečeva centripetalnoga ubrzanja zaključuje da slobodni pad i kruženje Mjeseca oko Zemlje imaju isti uzrok. Newton demonstrira konzistentnost Keplerovih zakona gibanja planeta i svoje teorije gravitacije te tako pokazuje da se nebeska i zemaljska gibanja odvijaju po istim zakonitostima. To je bilo prvo „ujedinjenje sila“ u povijesti fizike koje je otklonilo posljednje ostatke aristotelovske fizike i sve dvojbe oko heliocentrizma.

*/.../ Centripetalno ubrzanje Mjeseca u njegovoj orbiti i
ubrzanje tijela na Zemlji istoga su porijekla...
Nebeska i Zemaljska gibanja odvijaju se po istim zakonitostima...*

Isaac Newton, *Principia*

Konačna je verzija Newtonova zakona gravitacije glasila: sila kojom se privlače dva planeta razmjerna je umnošku njihovih masa, a obrnuto je razmjerna kvadratu njihove udaljenosti.

/.../ Dovde sam o pojavama što nam ih pružaju nebo i more dao računa s pomoću sile teže. Ali uzrok teže nisam dao... Do sada iz tih pojava nisam mogao izvesti osnovu za svojstva sile teže; hipoteze ne postavljam (hypotheses non fingo).

Isaac Newton

Newton je bio i genijalni matematičar. Uz Leibnitza, otac je infinitezimalnoga računa koji je bio temelj daljnjem razvoju analitičke mehanike kroz 18. st.. Newton ovo svoje matematičko otkriće naziva „računom fluksija“, a pojam fluksije odgovara današnjem pojmu derivacije.

*„Nikada nisam imao prilike vidjeti ga da se odmara ili nečim zabavlja, ili da izjaše pa ode malo na zrak, nikada nije krenuo u šetnju, nikada nije otišao na kuglanje ili neku drugu vježbu. Smatrao je izgubljenim sve one rijetke sate kada nije bio zaposlen svojim studijama koje su mu bile toliko važne da je sobu napuštao gotovo samo onda kad je imao termine (za predavanje)...
/.../ Nažalost, na njegovim predavanjima bilo je malo slušalaca, a još manji broj njih ga je razumio*

tako da mu se često događalo da zbog izostanaka slušalaca predaje zidovima."

*(svjedočenje Newtonova sluge, prema Carlu Saganu, *Cosmos*)*

„Godine 1696. švicarski matematičar Johann Bernoulli izazvao je svoje kolege da riješe jedan još neriješen problem nazvan brahistokronski; određivanje najkraće krivulje po kojoj bi se tijelo, samo pod djelovanjem gravitacije, spustilo iz više u nižu točku u najkraće vrijeme. Bernoulli je prvo odredio rok za rješenje problema od 6 mjeseci, ali ga je kasnije, na zahtjev Leibniza, produljio na godinu dana.

Izazov je uručen Newtonu u 16 sati 29. siječnja 1697.g. Prije odlaska na posao idućega dana on je izmislio čitavu jednu novu granu matematike (varijacijski račun), koji je primijenio na rješavanje problema.

Rješenje je odmah poslao i ono je bilo objavljeno, ali, na njegov izričit zahtjev - nepotpisano. No, blistavost i originalnost rješenja nedvojbeno su ukazivale na identitet autora. Kada je Bernoulli vidio rješenje, komentirao je riječima: Lava se prepoznaje po pandžama !"

*(Carl Sagan, *Cosmos*)*

*Nature and nature's laws
lay hid in night;
God said: „Let Newton be”
and all was light.*

Epitaf Alexandera Popea na Newtonovu
grobu u Westminsterskoj opatiji

U 18. se stoljeću rađa i intenzivno razvija analitička ili teorijska mehanika, kojoj su najveći doprinos dali najveći matematički umovi toga doba. Najpoznatiji su među njima francuski i švicarski učenjaci **Leonard Euler** (1707. – 1783.), **Johann Bernoulli** (1667. – 1748.), **Daniel Bernoulli** (1700. – 1782.), **Jean le Rond D'Alembert** (1717. – 1783.) i **Joseph Luis Lagrange** (1763. – 1813.).

Novi vijek - Optika i valovi

U 17. st. nastaju i prvi optički instrumenti. Mikroskop je stariji nego teleskop i nastao je oko 1595. godine u Middelburgu u Nizozemskoj. Konstruirali su ga majstori staklari Hans Lippershey te Hans Janssen i njegov sin Zacharias. Unapređuju ga kasnije Galilei i Hook koji u radu *Mikrografija* iz 1665. godine navodi i rezultate koje je njime dobio. U istoj radionici u kojoj je konstruiran prvi mikroskop nastaje 1608. godine i prvi dalekozor. I njegovu je konstrukciju poboljšao i prvi ga uperio u noćno nebo Galileo Galilei 1610. godine. Konstruiranje prvoga teleskopa, što danas pripisujemo Galileiju, sam je izumitelj opisao u djelu *Zvezdani glasnik* (*Sidereus Nuncius*) koristeći za nj naziv *perspicillum*. Poput dalekozora nizozemskih majstora i Galileijev je teleskop bio refraktor, s

divergentnom lećom kao okularom, a konvergentnom kao objektivom. Povećavao je oko 30 puta.

Objašnjenje principa teleskopa pokušao je dati Galileijev suvremenik i kolega sa Sveučilišta u Padovi Rabljanin **Antun Marko de Dominis** u svom radu *O zrakama vida...* (*De radiis visus...*), izdanom 1611. godine. Za tumačenje povećanja dalekozora Dominis je koristio teoriju vidnoga kuta, koja nije bila zadovoljavajuća.



Izniman doprinos razvoju geometrijske optike daje **Johannes Kepler** koji se tijekom čitave 1603. godine posvećuje isključivo njoj. Rezultat je rad iz 1604. godine *Dodatak Vitellu...* (*Ad Vitellionem Paralipomena, Quibus Astronomiae Pars Optica Traditur*) u kojem opisuje zakon recipročnih kvadrata kod intenziteta svjetlosti, odbijanje od ravnih i zakrivljenih zrcala, rezultate vezane za lom svjetlosti, načelo tamne komore i astronomske implikacije optike poput paralakse i prividne veličine nebeskih objekata. Spomenuto se djelo smatra začetkom moderne optike. Svoja istraživanja Kepler proširuje na studiju ljudskoga oka te je prvi protumačio nastanak obrnute slike predmeta na mrežnici oka, nastanak mana oka, a promjenama zakrivljenosti očne leće objasnio akomodaciju oka. Godine 1611. Kepler objavljuje *Dioptriku* u kojoj razmatra potpuno odbijanje svjetlosti, put svjetlosnih zraka u lećama i sustavima leća i uvodi pojmove optička os i žarišna daljina za plankonveksne i bikonveksne leće. Kepler je i predlagatelj konstrukcije dalekozora refraktora s dvije konvergentne leće koji

zovemo njegovim imenom, a prvi ga je konstruirao njemački astronom **Christoph Scheiner** (1575. – 1650.) oko 1613. godine. Uz refraktore 1616. godine **Niccolo Zucchi** (1586. – 1670.) predlaže konstrukciju teleskopa reflektora kojemu je objektiv zakrivljeno zrcalo.

Novi vijek - Optika i valovi

Zakon loma svjetlosti je eksperimentalnim putem otkrio nizozemski matematičar **Willebrord van Snell** (1580. – 1626.) 1621. godine iako ga nikada nije objavio. Prvi ga objavljuje i dokazuje **René Descartes** u djelu *Dioptrica* iz 1637. godine, pa se zakon ponekad naziva i Descartesovim zakonom loma. Descartes proučava promjenu brzine svjetlosti na prijelazu iz jednoga sredstva u drugo temeljeći svoje proučavanje na učenju arapskog optičara Alhazena. Descartesov izvod zakona loma svjetlosti kritizira poznati francuski matematičar **Pierre Fermat** (1601. – 1665.) i izvodi zakon iz Heronova načela te 1662. godine formulira načelo najmanjega vremena: svjetlost iz točke A u jednom sredstvu u točku B u drugom sredstvu prolazi onim putem za koji joj je potrebno najkraće vrijeme. Fermat uočava da je brzina svjetlosti ovisna o optičkoj gustoći sredstva, odnosno da je brzina svjetlosti u optički rjeđem sredstvu veća od brzine svjetlosti u optički gušćem sredstvu.

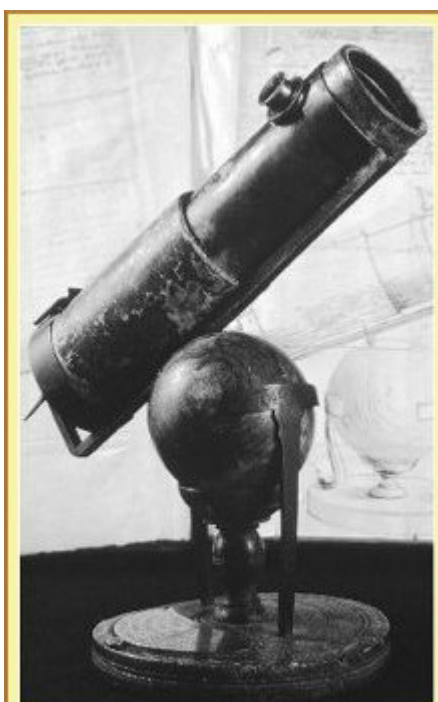
Rene Descartes daje veliki doprinos optici teorijom nastanka duge: ispravno tumači nastanak primarne i sekundarne duge te izračunom dokazuje da kutovi pod kojima se vide primarna, odnosno sekundarna duga iznose 51, odnosno 42 stupnja.



Christiaan Huygens

Talijanski je matematičar **Bonaventura Cavalieri** (1598. – 1647.) izučavao leće i došao do relacije za izračunavanje žarišne daljine bikonveksne i bikonkavne leće. Krajem se 17. st. lećama bavi i engleski astronom **Edmond Halley** (1656. – 1742.).

Znameniti je nizozemski fizičar, matematičar i astronom **Christiaan Huygens** (1629. – 1695.) napisao više djela iz područja optike. Poznata su djela *Opera reliqua* i *Rasprava o svjetlosti* (*Traitbe de la lumiaere*). Huygens izvodi zakone odbijanja i loma svjetlosti, izučava polarizaciju svjetlosti i zastupa koncept valne prirode svjetlosti. Smatra da se svjetlost širi kao impuls kroz elastično sredstvo, slično širenju vala na vodi kada u nju bacimo kamen. Time postaje začetnikom teorije valne ili undulatorne teorije svjetlosti, koju danas zovemo njegovim imenom – Huygensova teorija svjetlosti, a koju kasnije razvijaju Fresnel i Young. Po toj se teoriji val svjetlosti širi tako da svaka čestica valne fronte postaje izvor novoga kuglastog vala (elementarni val), a anvelopa svih elementarnih valova postaje frontom novoga vala.



Newtonov teleskop

Godine 1704. **Isaac Newton** (1643. – 1727.) objavljuje djelo *Optica*. Ovom području doprinosi konstrukcijom teleskopa reflektora, proučavanjem disperzije svjetlosti na prizmi, teorijom boja i istraživanjem interferencije (npr. boje tankih listića i Newtonovi kolobari), koje na određeni način predstavljaju prvi interferencijski spektroskop.

Newton tvrdi da je bijela svjetlost sastavljena od ostalih boja, a spektar nastaje lomom bijele svjetlosti na prizmi pri čemu se svaka boja lomi pod različitim kutom. Za svjetlost svih boja, osim crvene, s prilično velikom preciznošću određuje valne duljine. Newton zastupa čestičnu ili korpuskularnu teoriju svjetlosti, no ne odbacuje potpuno ni valnu teoriju.

Nakon nekoliko sati promatranja Sunca u zrcalu doveo bih oči u takvo stanje da je bilo dovoljno da samo bacim pogled na neki svijetli predmet pa da vidim Sunce pred sobom, tako da se nisam usuđivao ni pisati ni čitati; da povratim sposobnost vida, zatvarao sam se po tri dana u potpuno zamračenu sobu i na svaki način nastojao odvratiti čak i misli od Sunca. Kada god bi mi ono palo na um, odmah bi mi pred očima zasjajala njegova slika premda sam bio u tami.

Newtonovi zapisi iz studentskoga doba, prema Carlu Saganu, *Cosmos*)

Iz 17. st. datiraju i prva mjerenja brzine svjetlosti. Galileo Galilei je 1607. pokušao odrediti brzinu svjetlosti pomoću dva motritelja s fenjerima, međutim, nepreciznost mjerenja je bila vrlo velika te je nakon više pokušaja mogao samo zaključiti da je brzina svjetlosti iznimno velika. Danski je astronom **Ole Roemer** (1644. - 1710) prvi odredio brzinu svjetlosti astronomskom metodom. Radeći u Parizu kao asistent astronoma **Giovannija Cassinija** (1625. – 1712.) **Roemer** je promatrao pomrčine Jupiterovih satelita. Zbog kruženja Zemlje, Jupitera i njegovih pratilaca, svjetlost odbijena od Jupiterovih satelita ne prelazi do Zemlje uvijek isti put, pa pomrčine Jupiterovih satelita traju različito. Mjerenjem njihova trajanja i rabeći Cassinijeve podatke o udaljenostima među nebeskim tijelima, Roemer je odredio brzinu svjetlosti i dobio vrijednost 214 000 m/s.

„/.../ Svjetlosti (s Jupiterova mjeseca) treba neko vrijeme da dođe do Zemlje; čini se da joj i treba oko 10 do 11 minuta da prijeđe udaljenost jednaku polumjeru Zemljine putanje...”

Giovanni Cassini, L'expérience de Römer, 1675. g.

Novi vijek - Elektricitet i magnetizam

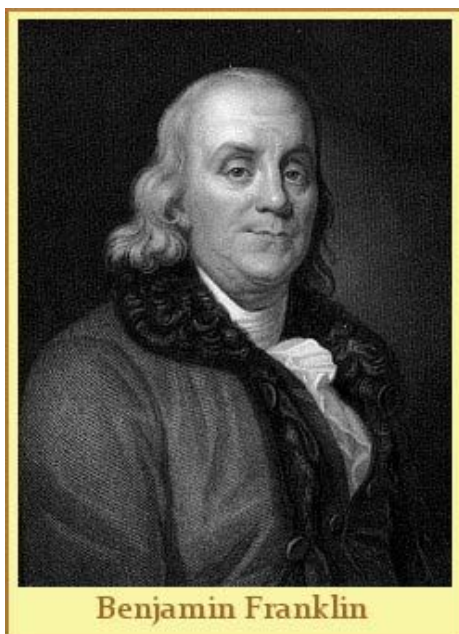
Početkom se znanosti o elektricitetu i magnetizmu obično uzima 1600. godina. Naime, tada je engleski liječnik i fizičar **William Gilbert** (1540. – 1603.), inače liječnik engleske kraljice Elizabete I., objavio čuveno djelo *O magnetu, magnetskim tijelima i o velikom magnetu Zemlji* (*De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*), ili poznato kao *De magnete*. U toj je opsežnoj studiji opisao preko 600 pokusa. Mnoge je izveo s metalnim modelom Zemlje – *terellom*. Gilbert zaključuje da je i sama Zemlja magnet, što je i razlog orijentacije magnetne igle kompasa. Mjerio je kut inklinacije magnetne igle. Prvi je pretpostavio da je Zemljina jezgra željezna. Utvrdio je privlačenje raznoimenih magnetskih polova, a odbijanje istoimenih te dokazao Peregrineov pokus, tj. ustanovio da se dijeljenjem magnetu njegovi polovi ne mogu razdvojiti. Izučavao je i svojstva magnetiziranoga materijala. U knjizi *De magnete* Gilbert je prvi put potrijebio pojam *electricus* (od grč *elektron* – jantar), u značenju „poput jantara”. Izradio je prvi električni mjerni instrument, elektroskop, i nazvao ga *versorium*. Opisao je svojstva različitih materijala s obzirom na zadržavanje naboja i materijale koji zadržavaju naboj nazvao električnima. No, nije primijetio privlačenje i odbijanje elektriziranih tijela. Smatrao je magnetizam svojstvom prisutnim u samom materijalu, a elektricitet svojstvom koje ulazi ili izlazi iz tijela. Zato je zaključio da postoji bitna razlika između električnih i magnetnih pojava.

U 17. je stoljeću napravljen prvi elektrostatički stroj i prvi kondenzator. Elektrostatički stroj konstruirao 1706. godine engleski fizičar **Francis Hauksbee** (1666. – 1713.), a značajna poboljšanja uvodi **Otto von Guericke**. Tijekom svojih pokusa **von Guericke** uočava odbijanje elektriziranih tijela, pojave električne vodljivosti i električnoga izboja praćenoga pucketanjem. Prvi je kondenzator 1745. godine načinio **Pieter von Musschenbroeck** (1692. – 1761.) u nizozemskom gradu Leydenu, pa je taj kondenzator dobio naziv

leidenska boca. Gotovo istodobno ga u Njemačkoj pronalazi **Ewald von Kleist** (1700. – 1748.).

Istrže nebu munju, tiranima žezlo.

Epitaf na grobu Benjamina
Franklina



Američki je fizičar i političar **Benjamin Franklin** (1706. – 1790.) napravio mnoga istraživanja elektriciteta i prikazao ih u radu *Pokusi i motrenja elektriciteta*. Franklin zastupa jednofluidnu teoriju elektriciteta i njegovu čestičnu prirodu. Objašnjava nastanak groma pomoću pokusa sa šiljkom te konstruira prvi gromobran. Polazište je njegove teorije elektriciteta zakon očuvanja električnoga naboja. Franklinu zahvaljujemo današnje termine „pozitivan i negativan naboj“ te naziv „vodič“ (koji se do tada nazivao „elektrik“).

Francuski je vojni inženjer **Charles Augustin de Coulomb** (1736. – 1806.) istraživao odbojnu silu među elektriziranim metalnim kuglicama te zaključio je da je ona obrnuto razmjerna kvadratu udaljenosti između kuglica, odnosno naboja. Zato relaciju koja to iskazuje njemu u čast zovemo *Coulombovim zakonom*. Također, smatrao je da postoji analogija električne i gravitacijske sile.

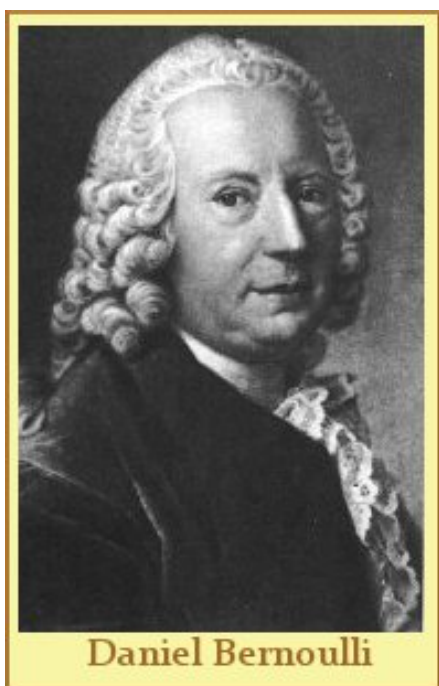


Talijanski profesor anatomije **Luigi Galvani** (1737. – 1798.) slučajno je opazio grčenje žabljih krakova u doticaju s metalom. Intenzitet grčenja je ovisio o vrsti metala, a za staklo npr. grčenja uopće nije bilo. Galvani je pretpostavio da je ta pojava električne prirode, ali ju je objasnio postojanjem „životinjskoga elektriciteta“. Taj je koncept ispravio njegov sunarodnjak i suvremenik **Alessandro Volta** (1745. – 1827.). Volta je ustvrdio da uzrok grčenja žabljih krakova nije „životinjski elektricitet“, već metal koji krakove dodiruje. Volta 1793. godine objavljuje da je uspio proizvesti električnu struju kada je između dva različita metala stavio vlažan predmet. Tako je ušao u povijest znanosti kao izumitelj prvoga izvora električne struje, nazvanoga *Voltin članak*. Izvor se sastojao od cinčane i bakrene elektrode uronjene u otopinu sumporne kiseline. Volta je članke povezivao u seriju i tako dobio jači izvor koji

se zove *Voltin stup*, koji danas poznajemo pod nazivom baterija. Električnu struju koja nastaje u takovom kemijskom izvoru električne struje Volta je u čast Galvanija nazvao *galvanskom strujom*. Poznat je i Voltin niz (poredak metala po njihovu elektrodnom potencijalu) iz kojega se može odrediti koji će metali proizvesti veći električni napon ako su upotrijebljeni kao elektrode u članku.

Novi vijek - Toplina

U 17. je stoljeću uočena potreba za određivanjem temperature pokazateljima objektivnijima od ljudskih osjeta što je dovelo do rođenja termometrije. Prvi je termometar napravio **Galileo Galilei** 1592. godine i time započeo znanstveno proučavanje toplinskih pojava. Opis termometra daje **Francis Bacon** 1620. godine. Termometar s alkoholom je 1646. godine napravio **Evangelista Torricelli**, a termometar s lanenim uljem nešto kasnije **Isaac Newton**. Toplina je bila predmet izučavanja i na Akademiji pokusa u Firenci. **Christian Huygens** i **Robert Hooke** su 1665. godine predložili da se osnovne točke temperaturne skale termometra budu temperatura topljenja leda i vrelišta vode.

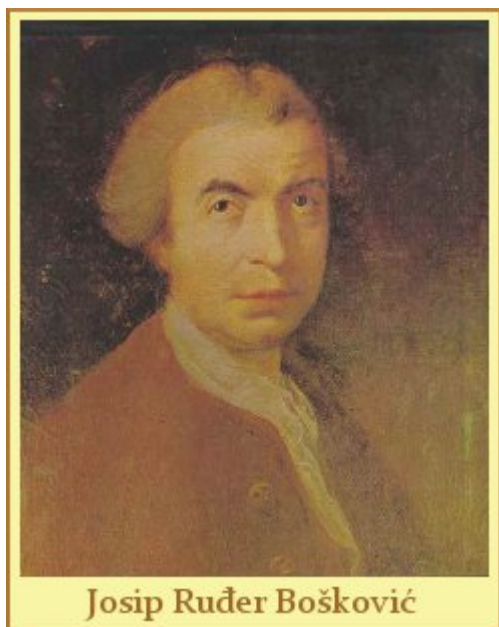


Došlo je i do prvih pokušaja stvaranja teorije topline. Početkom je 17. st. utvrđeno da je toplina oblik gibanja. **Bacon** u *Novom organonu* primjenjuje svoju metodu empirije na građenje teorije topline i zaključuje da je toplina povezana s gibanjem sitnih čestica u tvarima. Sličan stav ima i Descartes. Na predodžbu su o toplini kao o obliku gibanja sitnih čestica utjecala i atomistička shvaćanja, pa je to stanovište bilo vrlo prihvaćeno. Zastupali su ga mnogi učenjaci 17. stoljeća; Galilei, Gassendi, Hooke, Boyle (koji proučava pretvaranje mehaničkoga gibanja u toplinu) i Newton (koji ga navodi u svojoj *Optici* 1704. godine). Ovaj koncept u 18. stoljeću nastavlja razvijati **Daniel Bernoulli** (1700. – 1782.), koji u svom djelu *Hidrodinamika* (*Hydrodynamica*) opisuje zrak kao skup sitnih čestica koje gibanjem uzrokuju tlak. **Bernoulli** je uočio povezanost brzine gibanja čestica i temperature zraka te tako postao osnivačem kinetičke teorije plinova. Mehaničku je teoriju topline zagovarao i **Leonard Euler** (1707. – 1783.).

Njemački liječnik **Johann Joachim Becher** (1635. – 1682.) 1667. godine uvodi teoriju flogistona koju početkom 18. st. razvija njegov student kemičar **Georg Ernst Stahl** (1660. – 1734.). Teorija je, iako pogrešna, bila prvo znanstveno tumačenje gorenja, odnosno oksidacijskih procesa, i zato je bila značajna za razvoj kemije. Prema Stahlu, goriva tijela sadrže *flogiston*, nevidljivu i neuništivu tvar bez težine (sam je termin nastao prema grčkim riječima *phlox* (plamen) i *phlogistos* (spaljen)). Gorenje je tumačeno kao izlazak flogistona iz tvari u atmosferu. Jezikom je moderne kemije oksidacija smatrana gubitkom flogistona, a redukcija njegovim dobivanjem. Tako je nastala supstancijska teorija topline, odnosno koncept topline kao fluida koji prelazi s jednoga tijela na drugo izazivajući njegovo ugrijavanje ili ohlađivanje. Iako ju je sredinom 18. st. veliki ruski znanstvenik **Mihail Vasiljevič Lomonosov** (1711. – 1765.) pobijao moćnim argumentima, hipoteza o flogistonu se zadržala sve do početka 19. st.

Novi vijek - Struktura tvari

Znameniti dubrovčanin **Josip Ruđer Bošković** (1711. – 1787.) uz radove iz matematike, astronomije, optike i geodezije razvoju cjelokupne znanosti posebno doprinosi svojom



teorijom atoma, koju objavljuje u djelu *Teorija prirodne filozofije svedena na jedan zakon sila što u prirodi postoje* (*Theoria philosophiae naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*) objavljenom u Beču 1758. godine. Bošković zastupa stav da je sve materija i kretanje, a građa tvari diskretna. Osnovne građevne čestice tvari (atomi) su neprotežne i nedjeljive točke u prostoru. Atom smatra središnjom točkom oko koje se šire oblaci privlačno-odbojnih sila tzv. *Boškovićevo polje*. Udaljenost među atomima određuje, prema Boškoviću, silu kojom će međudjelovati. Ta je sila na malim udaljenostima odbojna, zatim nekoliko puta prelazi iz odbojne u privlačnu, da bi na vrlo velikim udaljenostima bila privlačna u skladu s Newtonovim zakonom gravitacije. Bošković je utjecao na razvoj koncepta atoma i koncepta polja, pa njegova razmišljanja i zaključke mnogi kasnije citiraju. U 19. je stoljeću Boškovićev zakon sila utjecao na **Michaela**

Faradaya, koji u fiziku uvodi pojam polja, a Bohrov model atoma mnogi smatraju izravnim potomkom Boškovićevega modela atoma.

19. stoljeće - Uvod

*Poznato je konačno, nepoznato je beskonačno;
u intelektualnom pogledu nalazimo se na otočiću usred oceana
neobjašnjivosti.
Dužnost je svake generacije da moru otme još pokoji komadić kopna.*

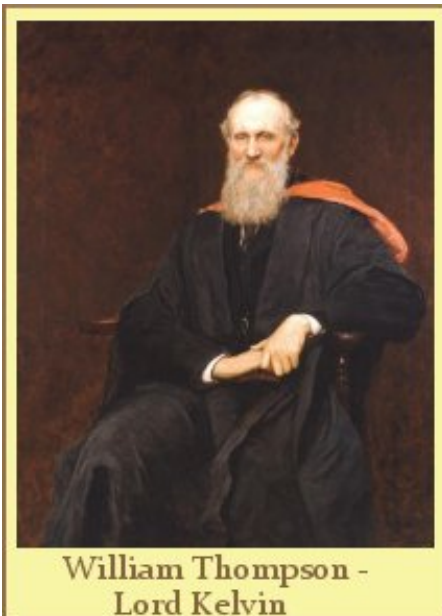
Thomas Henry Huxley, *Pisma i dnevnik iz 1887.*

Analitičke se metode mehanike, razvijene u 18. st., tijekom 19. st. počinju primijenjivati i na istraživanje fizikalnih pojava. Matematizirani su koncepti o energiji u drugoj polovici 19. st. uzrokovali do tada najveću ekspanziju fizike, kao i preispitivanje tradicionalnih ideja o fizičkom svijetu.

Doprinos je **Pierrea-Simona Laplacea** nebeskoj mehanici utvrdio mehanicistički pogled na svijet temeljnih i reverzibilnih zakona. No, koncepti energije i topline 19. stoljeća doveli su u pitanje takav pogled na svemir. To je vrijeme teorija **Sadija Carnota** i **Benoîta Paula Émilea Clapeyrona** te eksperimentalnih doprinosa **Jamesa Prescottta Joulea**

o izmjenjivosti mehaničke, kemijske, električne energije i topline, odnosno rada

William Thompson sa suradnicima začinje novu, matematičku fiziku, koja razmatra različite oblike energije, i spoznaje o njezinu očuvanju formulira u prvi zakon termodinamike. Uspostavlja se veza s teorijama **Juliusa Roberta von Mayera** i **Hermann von Helmholtza** o očuvanju sila. Znanstvenici 19. st. saznanja o disipaciji energije oblikuju u drugom zakonu termodinamike, kao temeljnom načelu fizike. **Rudolf Clausius** uvodi pojam entropije i utemeljuje drugu interpretaciju termodinamike – statističku fiziku, kojoj su osobito pridonijeli radovi **Ludwiga Boltzmanna** i **Jamesa Clerka Maxwella**. Rasprava je o statističkoj interpretaciji drugoga zakona termodinamike, nasuprot apsolutnoj interpretaciji, potrajala nekoliko desetljeća i u potpunosti se razriješila tek početkom 20. st.



Na samome početku 19. st. dolazi do spoznaje o povezanosti električnih i magnetnih pojava, što je nakon Newtonova ukidanja Aristotelove „nebeske i zemaljske fizike“ vodilo prema drugom velikom ujedinjenju sila u povijesti fizike. **Michael Faraday** uvodi koncept polja, a **James Clerk Maxwell** sredinom 19. st. uobličuje klasičnu elektrodinamiku. Novi je koncept svjetlosti, kao prijenosa energije u vidu elektromagnetnoga vala kroz hipotetski eter, te otkriće elektromagnetnoga zračenja **Heinricha Rudolfa Hertza** bio trijumf fizičkih teorija, što je bilo uvod u „elektrotehničku revoluciju“ u drugoj polovici 19. st.

*Najljepša stvar koju možemo iskusiti je tajanstvenost.
Onaj kojemu je taj osjećaj stran, tko
se više ne može čuditi i ukočiti od straha -
on kao da je mrtav, njegove su oči zatvorene.*

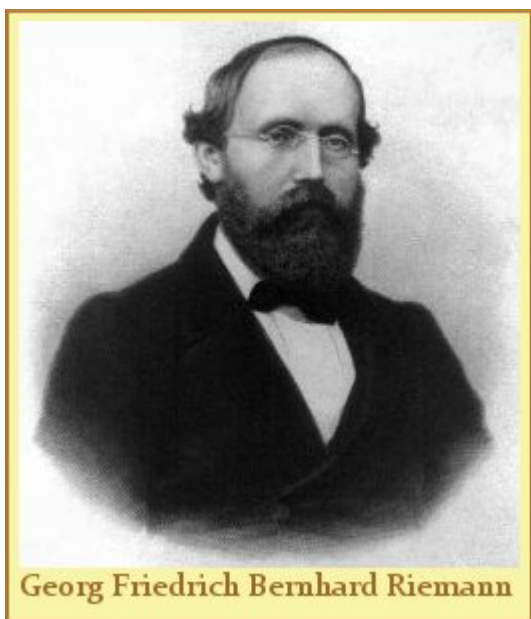
Albert Einstein

19. stoljeće - Mehanika i opća fizika

U 19. je stoljeću nekoliko velikih matematičara formuliralo potpuno nove matematičke koncepte prostora koji su utrli put načelima važnim za kasnije formuliranje i geometrijsku reprezentaciju Einsteinove opće teorije relativnosti.

Nikolaj Ivanovič Lobačevski (1792. – 1856.), veliki ruski matematičar, otac je neeuklidske geometrije. Zamijenivši Euklidov peti postulat postulatom o postojanju više paralelnih pravaca kroz bilo koju odabranu točku prostora, razvio je hiperboličku – prvu neeuklidsku geometriju. Posljedice su ovoga otkrića iz 1826. godine nekoliko desetljeća nakon smrti Lobačevskog dovele do razvoja općenite teorije neeuklidske geometrije,

značajne za shvaćanje novih koncepata prostora i vremena koji se početkom 20. st. uvode u teoriji relativnosti.



Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826. – 1866.), jedan iz plejade njemačkih matematičkih genija 19. st., student velikana Gausa, Jacobija i Dirichleta, već u svojim ranim radovima postavlja temelje nove, Riemannove geometrije. Ona opisuje glatke mnogostrukosti pomoću tzv. Riemannove metrike, odnosno zadane pozitivno definitne forme na tangencijalnim prostorima koja od točke do točke glatko varira. Riemannova geometrija obuhvaća širok raspon geometrija kao što su sferna, hiperbolička, ali i euklidska geometrija. Pridjeljivanjem tenzora točkama prostora omogućuje izražavanje zakrivljenosti i drugih svojstava prostora. Razvoj Riemannove geometrije i njezina poopćenja u više dimenzija bili su važan doprinos uspostavljanju matematičkoga aparata neophodnoga za formulaciju i razumijevanje opće teorije relativnosti.

Znanost uvijek proizlazi iz prilagodbe razmišljanja na određeno polje iskustva.

Ernst Mach

Austrijski se fizičar i filozof **Ernst Mach** (1838. – 1916.) bavio optikom i akustikom, no najznamenitiji je po istraživanjima mehanike fluida, nadzvučnih brzina te svakako filozofije znanosti kojom utječe na mnoge mislioce 19. i 20. st., uključujući i Einsteina. Godine 1883. objavljuje djelo *Mehanika* (*Die Mechanik in ihrer Entwicklung*) u kojem iznosi kritiku dotadašnjih Newtonovskih shvaćanja apsolutnoga vremena i prostora; Newtonovu pojmu vremena spori „praktično i znanstveno značenje“, izbacuje iz svoje mehanike apsolutno vrijeme i apsolutni prostor te na potpuno nov način tumači načelo tromosti. Einstein naziva Macha „pretečom teorije relativnosti“, iako Mach, na Einsteinovo razočarenje, teoriju relativnosti nikad nije prihvatio.

„Po Machu, ne može se znati koje su fizikalne pojave najfundamentalnije. Možda su jednako fundamentalna sva područja fizike. Za nj je mehanički pogled povijesno shvatljiv i možemo ga opravdati. On je, dapače, bio koristan prolazno, ali je ipak u cjelini umjetna pretpostavka. Fiziku treba shvaćati kao izraz zbiljskih odnosa, a da se ne pretpostavlja nešto što leži u pretpostavkama. Mogu se doznati i shvatiti neke istinske međuovisnosti gibanja, masa, promjene temperature, promjene potencijala, kemijska promjene, a da pri tom ne pomišljamo ni na što drugo. To Machovo gledište u skladu je s njegovim pozitivističkim opredjeljenjima. /.../ Ipak ni takvo shvaćanje nije moglo ugroziti općenito uvjerenje u sigurnost postojećih pozitivnih znanja. Znanja su se doista proširivala, a u pozitivnim činjenicama kao da se nisu mijenjala nego samo dopunjavala. Fizika je trijumfirala u svojoj sigurnosti i uvjerenosti da se postignuta znanja neće uzdrmati. Ali takva radost bila je vrlo kratkotrajna.“

(Žarko Dadić, *Povijest ideja i metoda u matematici i fizici*)

Ernst Mach u svom članku objavljenom 1877. godine opisuje zvučne učinke tijekom nadzvučnoga gibanja projektila, daje izvod i eksperimentalnu potvrdu postojanja udarnoga vala. Budući da istraživanja nadzvučnih brzina Mach nije mogao provesti u svojem laboratoriju, surađivao je s dva riječka profesora: **Peterom Salcherom**, profesorom Vojne pomorske akademije u Rijeci, te **Šandorom Rieglerom**, tada direktorom Visoke riječke komercijalne škole. Njih su dvojica u Rijeci snimili ultrabrze fotografije akustičkih pojava, i prvi na svijetu dokazali da zaista postoji fenomen „udarnoga vala”, danas poznatoga pod nazivom „zvučni zid”. Ti su pokusi doveli do ustanovljavanja važnoga fizičkog parametra u aerodinamici i hidrodinamici koji zovemo Machovim brojem, a predstavlja omjer brzine projektila i brzine zvuka. Ime Ernsta Macha povezano je i s velikim hrvatskim znanstvenikom, geofizičarem **Andrijom Mohorovičićem** (1857. – 1936.), rođenim u Voloskom, koji je bio Machov student.

19. stoljeće - Optika

Tijekom se 19. st. počinje razvijati valni koncept prirode svjetlosti koji postupno prevladava nad korpuskularnom teorijom svjetlosti prihvaćenom u 18. st.

Engleskoga fizičara, liječnika, astronoma, erudita i svestranoga istraživača **Thomasa Younga** (1773. – 1829.) smatramo utemeljiteljem fizikalne optike. Njegova su postignuća značajno utjecala na modernu znanost, posebno na razvoj valne teorije svjetlosti, koju je uveo u djelu *Skice i ekperimenti u vezi sa zvukom i svjetlošću*. Young je pretpostavio da su valovi svjetlosti tranverzalni i razjasnio je interferenciju svjetlosti. Bavio se istraživanjem vida te je objasnio akomodaciju oka i astigmatizam, pa ga smatramo i utemeljiteljem fiziološke optike. Pridonio je teoriji boja postavivši hipotezu o percepciji boja koja ovisi o tri vrste živčanih vlakana u mrežnici koja reagiraju na crvenu, zelenu i ljubičastu svjetlost. Teoriju je kasnije razvio **Hermann von Helmholtz** (Young – Helmholtzova teorija), a eksperimentalno je dokazana 1959. godine.

Huygensovu teoriju svjetlosti preispituje i predstavlja u analitičkom obliku francuski inženjer, matematičar i fizičar **Etienne-Louis Malus** (1775. – 1812.). On 1809. godine objavljuje otkriće polarizacije refleksijom, a 1810. godine i teoriju dvoloma svjetlosti na kristalima. Malus je otkrio i uvjet pod kojim dolazi do polarizacije refleksijom, no zakonitost je u potpunosti, nešto kasnije, formulirao David Brewster. Malusov zakon opisuje ovisnost intenziteta polarizirane svjetlosti o kutu koji zatvaraju polarizator i analizator. **Sir David Brewster** (1781. – 1868.) škotski znanstvenik,



Augustin Jean Fresnel

izumitelj i pisac, posvetio se izučavanju optike i dao joj najveće doprinose u opisu polarizacije refleksijom i refrakcijom, otkriću polarizirane strukture inducirane toplinom i tlakom, otkriću dvoosnih kristala te otkrivanju veze između optičkih struktura i kristala.

Augustin Jean Fresnel (1788. – 1827.) francuski je fizičar poznat po svojim teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima prirode svjetlosti. Proučavao je ogib, interferenciju, polarizaciju i aberaciju svjetlosti. Fresnel je prvi 1821. godine matematičkim metodama dokazao Youngovu pretpostavku da je svjetlost transverzalni val i objasnio polarizaciju uz tu pretpostavku. Konstruirao je brojne optičke uređaje kao npr. Fresnelove leće, Fresnelov romb, a najpoznatija su tzv. Fresnelova

zrcala koja omogućavaju postizanje interferencije svjetlosti bez ogiba na otvoru.

*Astronomija je sretna znanost.
Nema potrebe za ukrašavanjem.*

François Arago

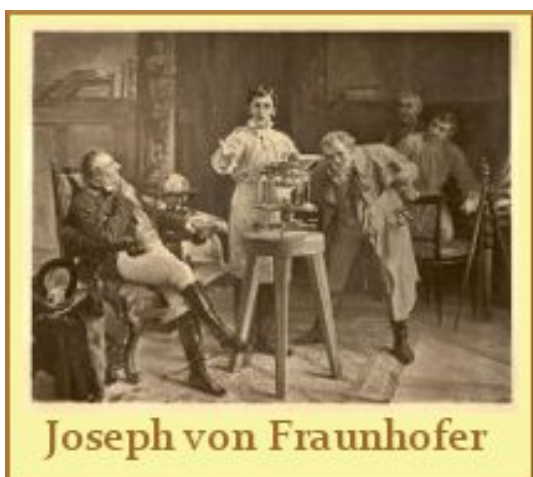
Plejadi znamenitih francuskih znanstvenika, zagovornika valne teorije svjetlosti u 19. st., pripada i **François Jean Dominique Arago** (1786. – 1853.), matematičar, fizičar, astronom i političar. Bavio se mnogim područjima fizike (termodinamikom, akustikom, magnetizmom) i bio slavan kao vrstan popularizator i predavač astronomije. Blizak prijatelj Fresnela, podržavao je njegove teorije o svjetlosti i zajedno s njim obavljao optičke pokuse. Arago je izumitelj polariskopa i polarizacijskoga filtra. Ključni pokus koji je 1838. godine podupro valnu teoriju o prirodi svjetlosti, onaj o izravnom mjerenju brzine svjetlosti u različitim sredstvima koji su ostvarili Hippolyte Fizeau i Léon Foucault, sugerirao je upravo Arago.

Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819. – 1896.) zarana se počeo baviti optikom. Istražuje interferenciju svjetlosti i 1848. predviđa crveni pomak elektromagnetnih valova čime je uključen u otkriće Dopplerova efekta. Godine 1849. objavljuje prve rezultate svoje metode određivanja brzine svjetlosti tzv. Fizeau – Foucault-uređajem. **Jean Bernard Léon Foucault** (1819. – 1868.) skupa s Fizeauom poduzima niz istraživanja o intenzitetu Sunčeve svjetlosti, interferenciji infracrvenoga zračenja i kromatskoj polarizaciji. Godine 1850. koristi Fizeau – Foucaultov uređaj za određivanje brzine svjetlosti u poznatom Foucault – Fizeauovu pokusu. Foucaultu dugujemo izum polarizatora, koji zovemo njegovim imenom, i metodu procjene kvalitete teleskopa reflektora tzv. „Foucaultov test“.

Foucault je znamenit i po pokusu s tzv. Foucaultovim njihalom kojim je 1851. godine dao eksperimentalni dokaz Zemljine vrtnje.

19. stoljeće - Optika

Na 19. stoljeće danas gledamo kao i na vrijeme rođenja spektroskopije, koja započinje opažanjem Sunca. Godine 1802. **William Hyde Wollaston** (1766. – 1828.) opaža u spektru Sunca 7 tamnih crta; 1840. godine **John Frederick William Herschel** (1792. – 1871.) opaža tamne crte u infracrvenom, a 1843. godine **Alexandre-Edmond Becquerel**



Joseph von Fraunhofer

(1820. – 1891.), otac nobelovca Henrija Becquerela, i u ultraljubičastom području spektra. Spektroskop je 1814. godine otkrio njemački fizičar **Joseph von Fraunhofer** (1787. – 1826.), i iste je godine u visokorazlučenom spektru Sunca otkrio 574 tamne linije, nazvane Fraunhoferovim linijama, te im odredio valne duljine. Usavršio je difrakcijsku rešetku koju je krajem 18. stoljeća otkrio američki astronom David Rittenhose.

Njemački znanstvenici **Gustav Robert Kirchhoff** (1824. – 1887.) i **Robert Wilhelm Eberhard Bunsen** (1811. – 1899.) pioniri su spektralne analize. Godine 1859. konstruirali su prvi spektroskop s 4 prizme, a 1861. godine su tom

metodom otkrili rubidij i cezij. Njihovi su pokusi pridonijeli razumijevanju porijekla Fraunhoferovih apsorpcijskih linija u Sunčevu spektru i njihovoj povezanosti s kemijskim elementima. Kirchhoff je znamenit i po svojim zakonima strujnoga kruga i termičke emisije, otac je pojma „zračenje crnoga tijela“, a Bunsen je značajano pridonio razvoju kemije.

Nakon Kirchhoffova i Bunsenova otkrića spektralne analize Kirchhoffov se prijatelj bankar našalio: „Kakva korist od toga što smo saznali da na Suncu ima zlata ako ga otamo ne možemo dobiti.“ Nakon što je 1862. g. Kirchhoff kao nagradu za objašnjenje Sunčeva spektra dobio Rumfordovu zlatnu medalju odgovara prijatelju: „Ipak sam uspio dobiti zlato od Sunca!“

Austrijski je fizičar **Christian Doppler** (1803. – 1853.) objavio 1842. godine poznato djelo *O obojenoj svjetlosti dvostrukih i nekih drugih zvijezda* (*Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels*) u kojem je opisao pojavu promjenu frekvencije valova pri relativnom kretanju izvora i motritelja, koju poznajemo kao Dopplerov efekt.

Još jedan je velikan rođen u Austriji, fizičar i filozof **Ernst Mach** (1838. – 1916.). U ranijim se radovima bavio Dopplerovim efektom u optici i akustici, zatim interferencijom, difrakcijom, polarizacijom i refrakcijom svjetlosti.

Sredinom 19. stoljeća njemački fizičar **Karl Hermann Knoblauch** (1820. – 1895.) proučava interferenciju, ogib i polarizaciju toplinskih zraka i eksperimentalno zaključuje da toplinske zrake imaju veću valnu duljinu od svjetlosnih. Tako se spoznalo da je vidljivi dio spektra samo jedno spektralno područje.

19. stoljeće - Elektricitet i magnetizam

Danski fizičar i kemičar **Hans Christian Ørsted** (1777. – 1851.) jedan je od znanstvenika koji su otkrili vezu električnih i magnetnih pojava. Dok je 1819. godine jednom pripremao predavanje na sveučilištu u Kopenhagenu, primijetio je trzanje magnetske igle kompasa svaki put kada bi dolazilo do promjene struje u vodiču. To ga je navelo na zaključak o postojanju magnetnoga polja oko vodiča pod strujom, a to njegovo povijesno otkriće nazivamo Ørstedov pokus. Matematičku je formulaciju toga pokusa kasnije dao **Andre-Marie Ampere**. Ørstedov pokus sa zavojnicom prvi je izveo **Johann Schweigger**, konstruktor prvoga galvanometra, koji kasnije usavršava **Johann Christoff Poggendorff**.

Godine 1821. **Thomas Johann Seebeck** (1770. – 1831.) otkriva termoelektricitet. Seebeckovim učinkom nazivamo pojavu struje na zagrijanom spojištu različitih metala. **Jean Charles Peltier** (1785. – 1845.) je ustanovio obratnu pojavu: struja kroz strujni krug u kojem je spojište različitih metala uzrokuje promjenu temperature spojišta koja, ovisno o kombinaciji metala, može biti pozitivna i negativna, tj. može značiti zagrijavanje i hlađenje spojišta.

Jean-Baptiste Biot (1774. – 1862.) i **Felix Savart** (1791. – 1841.) eksperimentalno su otkrili zakon magnetne indukcije ravnoga vodiča, koji je matematički oblikovao **Pierre-Simon Laplace** (1749. – 1827.), pa se naziva Laplace – Biot – Savartovim zakonom.



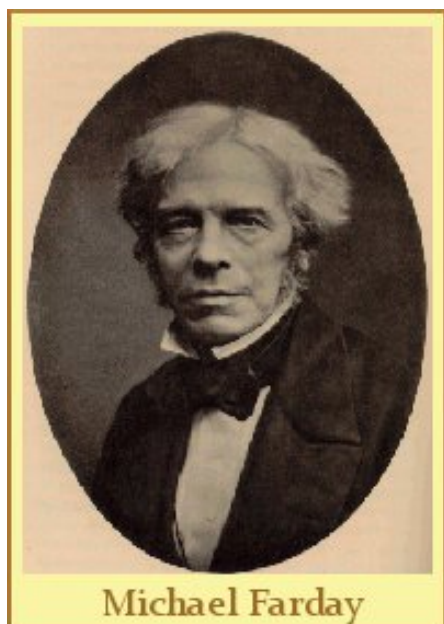
Francuski je fizičar, matematičar i polimat **Andre Marie Ampere** (1775. – 1836.) jedan od utemeljitelja elektrodinamike. Naime, Ampere je utvrdio da se kružni tok električne struje ponaša kao magnet te formulirao zakon prema kojemu se dva paralelna vodiča međusobno privlače kada kroz njih prolazi struja istoga smjera, a odbijaju ako su struje suprotno usmjerene. Matematički je formulirao zakonitost otkrivenu Ørstedovim pokusom koju nazivamo Ampereovim zakonom. Uveo je pojmove elektrodinamika, električna struja, električni strujni krug, galvanometar i definirao (tehnički) smjer struje. Ampere se često smatra i začetnikom ideje telegrafa.

Linearnu je ovisnost električne struje i napona kod nekih vrsta vodiča prvi otkrio engleski fizičar **Henry Cavendish** (1731. – 1810.), no to otkriće nije objavio. No, 1827. godine to je učinio njemački fizičar **Georg Simon Ohm** (1787. – 1854.) u djelu *Matematički istražen galvanski krug* (*Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*), pa je po njemu ta ovisnost nazvana Ohmov zakon. Ohm je u fiziku uveo pojmove elektromotorna sila, pad napona i električna vodljivost. Također, 1830. godine je prvi izmjerio elektromotorni napon izvora struje.

Faraday je bio priznat i slavan znanstvenik svoga doba koji je održavao predavanja i demonstracije svojih otkrića i pred britanskim prijestolonasljednikom. U jednoj ga je prilici britanski ministar financija William Gladstone upitao: 'Mislite li da će u budućnosti Vaša otkrića imati neku praktičnu uporabu?' 'Ne znam, gospodine', odgovorio je navodno Faraday, 'ali sam siguran da će, ako se to dogodi, Vaša vlada na to udariti porez'.

Raditi, dovršiti, objaviti!

Faradayev savjet mladome Williamu Crookesu



Michaela Faradaya (1791. – 1867.), autora brojnih otkrića u vezi s elektomagnetizmom i elektrokemijom, mnogi povjesničari znanosti danas smatraju najvećim eksperimentatorom u povijesti fizike. Porijeklom iz siromašne obitelji, od 14. je godine morao raditi i samostalno se obrazovati. Budući da je u vrlo skromnim uvjetima, zahvaljujući iznimnom trudu i genijalnosti, uspio postati jednim od najvećih znanstvenika u povijesti, često ga se naziva i „Pepeljugom znanosti“.

...želim pretvoriti magnetizam u elektricitet...

Iz dnevnika Michaela Faradaya, 1822. g.

Talijanski svećenik i fizičar **Francesco Zantedeschi** (1797. – 1873.) 1829. i 1830. godine objavljuje radove o pojavi električne struje u zatvorenom strujnom krugu kojemu se približava magnet čime na neki način anticipira Faradayevo otkriće. Pokuse koji su doveli do spoznaje o elektromagnetnoj indukciji Faraday započinje 1831. godine. Otkriva da promjenljivo magnetno polje uzrokuje pojavu električnoga polja, odnosno inducirana napona i, posljedično, inducirane struje. Ovaj je princip iskoristio za konstrukciju električnoga dinama, prvoga generatora električne energije.

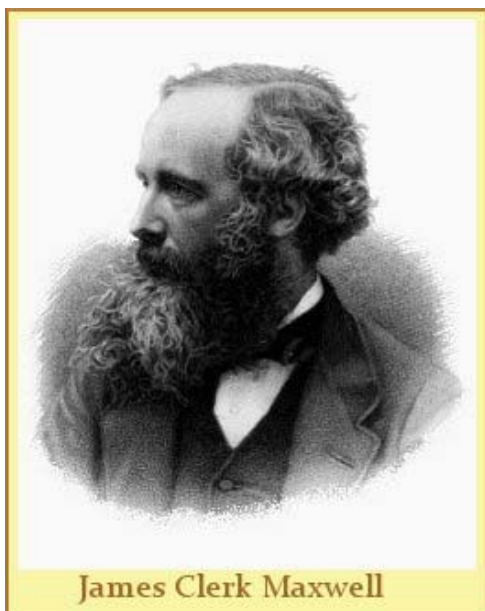
*...polje je sposobnost prostora da bude uznemireno
djelovanjem izvora u njemu...*

Michael Faraday, pod utjecajem filozofije Ruđera
Boškovića

Faraday je uveo dva važna koncepta koji su značajno utjecali na daljnji razvoj fizike. Prvi je koncept silnica, koje su omogućile vizualizaciju električnih i magnetnih polja, i time postale ključni „mentalni model” za razvoj elektromehaničkih uređaja u 19. st. Drugi je koncept polja sile odnosno „djelovanja na daljinu”. Faraday je istražujući magnetizam prvi shvatio važnost polja kao fizičkoga objekta. Električno i magnetno polje, smatra on, nisu samo polja sile koja određuju gibanje čestice, nego posjeduju neovisnu fizičku realnost jer prenose energiju. Ove su ideje vodile ka prvoj „ujedinjenoj teoriji polja” u fizici, tj. oblikovanju Maxwellovih jednadžbi, a pojam polja postao je, i još uvijek jest, jedna od fundamentalnih kategorija suvremene fizike.

Osim zakona elektromagnetne indukcije Faradayevim imenom nazivamo i zakone elektrolize. Faraday je istražio polarizaciju dielektrika, uveo fizičku veličinu električne permitivnosti, a u magnetizam uveo nazive dijamagnetizam i paramagnetizam.

19. stoljeće - Elektricitet i magnetizam



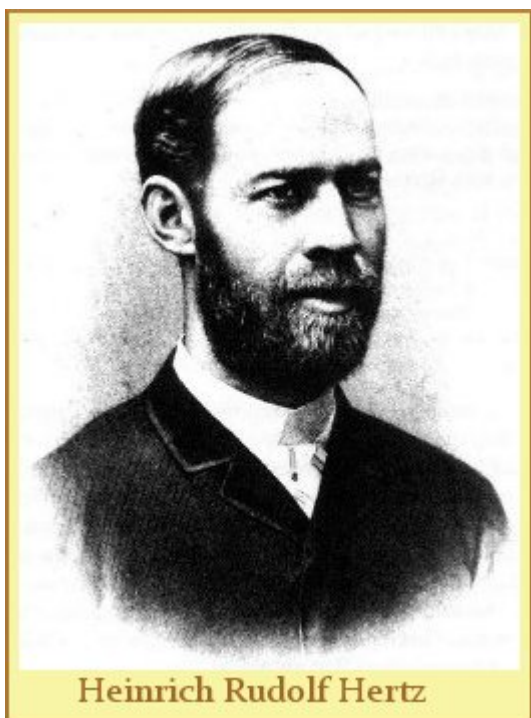
James Clerk Maxwell

Znameniti škotski fizičar **James Clerk Maxwell** (1831. – 1879.) zadužio je mnoga područja fizike, no najznačajniji je doprinos dao klasičnoj elektrodinamici, koju je obogatio kapitalnim djelom po kojem ga, uz Newtona i Einsteina, mnogi svrstavaju u tri najznačajnija fizičara svih vremena. Maxwell je matematički formulirao Faradayeva otkrića, ustanovio jednadžbe elektromagnetnih polja i teorijski pokazao da je svjetlost elektromagnetne prirode. Jedan je od osnivača kinetičke teorije plinova, u kojoj je formulirao zakon raspodjele brzina.

*Maxwellovo je djelo najdublje i najplodnije
što se fizici dogodilo od Newtona.*

Albert Einstein

Teoriju elektromagnetizma Maxwell razvija od 1861. do 1864. godine, povezuje električne i magnetne pojave i oblikuje Maxwellove jednačbe – fundamentalne jednačbe klasične elektrodinamike i temelj teorijske elektrotehnike kojima se podvrgavaju sve električne i magnetne pojave. Formulirao ih je koristeći u to doba poznate zakone; Faradayev zakon elektromagnetne indukcije, Gaussov zakon te Ampèreev zakon koji je poopćio uvođenjem struje pomaka. Jednačbe opisuju ovisnost električnoga i magnetnoga polja o nabojima i strujama i njihovo međudjelovanje kada se polja mijenjaju u vremenu. Zahvaljujući Stokesovu i Gaussovu teoremu mogu se prikazati u diferencijalnom i integralnom obliku, a u teoriji relativnosti i kvantnoj elektrodinamici koristi se i njihov tenzorski zapis u sklopu kojega se pokazuje se da su invarijantne na Lorentzove transformacije.



Maxwell predviđa postojanje elektromagnetnih valova koji se gibaju brzinom svjetlosti. Utemeljenost je toga predviđanja potvrdio njemački fizičar **Heinrich Rudolf Hertz** (1857. – 1894.) kojemu dugujemo i današnji matematički zapis Maxwellovih jednačbi, puno jednostavniji od originalnoga, Maxwellova. Mladi je Hertz 1888. godine eksperimentalno dokazao postojanje elektromagnetnih valova predviđenih Maxwellovom teorijom, i njihovu istovrsnost s valovima svjetlosti. Opisao je širenje, odbijanje, lom i polarizaciju elektromagnetnih valova i eksperimentalno dokazao valnu prirodu elektromagnetnoga zračenja, a time i ispravnost cjelokupne Maxwellove elektrodinamike. Hertz nije uviđao mogućnosti primijene elektromagnetnih valova, no njegov je rad značio rođenje radiotehnike.

Hertz nije bio svjestan praktičnih posljedica svojih pokusa ni „bežične revolucije“ koju će oni potaknuti. Izjavio je: `Nije to od neke velike koristi /.../ to je samo pokus koji dokazuje da je maestro Maxwell bio u pravu - samo da postoje ti misteriozni elektromagnetni valovi koje ne možemo vidjeti golim okom. Ali oni su ovdje`.

Upitan za posljedice, za moguća grananja svojih otkrića je odgovorio: `Nikakve, pretpostavljam.`

Iz biografije Heinricha Rudolfa Hertza, Institut za kemiju Sveučilišta Hebrew u Jeruzalemu

Hertz je istraživao električne titraje proizvodeći ih električnim oscilatorom. Njegovi su proračuni zračenja električnoga dipola bili temelj teorije zračenja antene i klasične teorije zračenja atoma i molekula.

William Thompson (1824. – 1907.), poznatiji kao **lord Kelvin**, proučava električne titraje u krugu koji se sastoji od kondenzatora i zavojnice. Thomson primijenjuje načelo očuvanja energije na proces nabijanja kondenzatora i zaključuje da „glavni vodič tjera svoj naboj, nabijajući se manjom količinom elektriciteta suprotnoga predznaka, zatim se ponovno nabija još manjom količinom elektriciteta početnoga predznaka i ta se pojava ponavlja vrlo mnogo puta, sve dok se ne uspostavi ravnoteža”.

Njemački fizičar **Berend Feddersen** (1832. – 1918.) se bavi izbojem kondenzatora kroz iskrište preko zavojnice. U rotirajućem zrcalu motri sliku iskre koja pri tome nastaje i dolazi do zaključka da „u električnoj iskri dolazi do suprotne struje i da se vrijeme jednoga titraja povećava s drugim korijenom iz električki nabijene površine”. **Heinrich Hertz** 1887. godine opisuje mogućnost dobivanja titranja oko sto puta veće frekvencije od onih koje je promatrao Feddersen. Njegovi su proračuni upućivali na zaključak da se ta titranja po frekvencijskom opsegu nalaze između zvučnih titranja tijela i svjetlosnih titranja hipotetskoga etera. Prvi je prijemnik električnih titranja, tada zvanih i „Hertzovi valovi“, 1890. godine konstruirao **Eduard Branley** (1844. – 1940.). **Ernst Rutherford** 1894. godine utvrđuje da električni titraji utječu na magnetiziranost željezne jezgre što se može iskoristiti za njihovo detektiranje te objavljuje i rad o uređaju koji detektira elektromagnetne valove na većim udaljenostima.

19. stoljeće - Elektricitet i magnetizam

Nikola Tesla (1856. – 1943.), znanstvenik i izumitelj rođen u srpskoj obitelji u Smiljanu kraj Gospića, nakon školovanja u Karlovcu, Grazu i Pragu je radio u Budimpešti i Parizu, a 1884. godine emigrira u Ameriku gdje osniva laboratorij te svojim brojnim istraživanjima i patentima ostvaruje golem doprinos na području elektrotehnike i radiotehnike. Tesla je otkrio okretno magnetno polje, višefazni sustav izmjeničnih struja, konstruirao prvi praktični motor za izmjeničnu struju, jednofazni i višefazni elektromotor, višefazni transformator sa željeznom jezgrom te je ostvario preko 700 izuma i brojne patente. Od 1891. godine bavi se bežičnim prijenosom (radiovalovima) i problemima razvođenja energije bežičnim putem te patentira niz izuma koji čine temelj suvremene radiotehnike. Na elektrotehničkoj je izložbi u New Yorku 1898. godine demonstrirao daljinsko upravljanje brodom. Bio je nominiran za Nobelovu nagradu, ali je nije dobio.

Bije me glas da sam jedan od najvrijednijih radnika, a možda i jesam, ako je razmišljanje isto što i rad, budući da sam mu posvetio sve svoje budne sate... Ali, ako se rad shvaća kao određeno djelovanje u određeno vrijeme prema strogim pravilima, onda sam ja vjerojatno jedan od najvećih dokolikača.

Nikola Tesla, *Biografija*



Aleksandar Popov

Ruski fizičar **Aleksandar Popov** (1859. – 1906.) je otkrio mogućnost praktičnoga korištenja elektromagnetnih valova i 1895. godine konstruirao prvi radioprijemnik, ali svoj izum nije patentirao. Godine 1897. talijanski je inženjer i fizičar **Guglielmo Marconi** (1874. – 1937.) patentirao otkriće „usavršeno za predaju električnih impulsa i signala” te ulazi u povijest kao osnivač bežične telegrafije i izumitelj radija. Marconi je 1901. godine prvi uspio odaslati radiosignal preko Atlantskoga oceana te je za radove na bežičnoj telegrafiji 1909. godine nagrađen i Nobelovom nagradom za fiziku. No, Vrhovni je sud Sjedinjenih Američkih Država u pitanju zasluga za izum radija, tj. pripadnosti odgovarajućih patenata, ipak presudio u korist Nikole Tesle.

Ernst Lecher (1856. – 1926.) je pronašao metodu motrenja i mjerenja valne duljine elektromagnetnih valova pomoću rezonancije.

Godine 1876. **Adolfo Bartoli** (1851. – 1896.) na temelju termodinamičkih razmišljanja dolazi do zaključka da postoji tlak svjetlosti, a **Pjotr Lebedev** (1866. – 1912.) izvodi pokus kojim i dokazuje njegovo postojanje.

Nov je pogled na svjetlost kao na transversalni elektromagnetni val dovelo fizičare 19. st. do pitanja o sredstvu u kojem se transversalni valovi šire, pa je i prirodna bila težnja da se dotadašnji koncept etera, kao mehaničke supstancije koja ispunjava svemir i sudjeluje u propagaciji elektromagnetnih valova, uklopi u nove koncepte o svjetlosti nastale Maxwelllovom elektrodinamikom. Po uzoru se na zakone klasične mehanike prema kojima brzina objekta uvijek ovisi o brzini njezina mjeritelja, takva zakonitost očekivala i kod motritelja uronjenih u eter prilikom njihovih mjerenja brzine svjetlosti, tj. elektromagnetnih valova koji se tim istim eterom propagiraju. Naime, ako je Zemlja kao i ostala svemirska tijela uronjena u eter, a njime se širi i svjetlost, onda bi motritelji s gibajuće Zemlje trebali izmjeriti različite brzine svjetlosti odaslane iz izvora, npr. zvijezde, ovisno o tome udaljuje se Zemlja ili približava toj zvijezdi. Niz je pokusa kojima je bio cilj to istražiti 1881. godine započeo američki fizičar **Albert Michaelson** (1852. – 1931.), a kasnije se tim istraživanjem bavio i **Edward Morley** (1838. – 1923.). Rezultat je pokusa bilo jedno od najvećih iznenađenja zbog kojih se Michaelson – Morleyev eksperiment ubraja u povijesne pokuse i smatra „najčuvenijim neuspjelim pokusom” zbog svojega začuđujućeg ishoda. Naime, potpuno suprotno očekivanjima, pokusom nije ustanovljena razlika u brzini svjetlosti u ovisnosti o gibanju motritelja, već je brzina svjetlosti u svim slučajevima bila konstantna. To je bilo objašnjivo jedino ako je pretpostavka o postojanju etera bila pogrešna. Eksperiment Michaelsona i Morleyja iz 1887. godine time je protresao temelje klasične fizike, srušio koncept etera i otvorio vrata nadolazećoj nadgradnji klasične mehanike – Einsteinovoj teoriji relativnosti.

19. stoljeće - Toplina i statistička fizika

Početkom se 19. st. već zahuktala primijena toplinskih strojeva i spoznaje o njihovoj ekonomskoj i industrijskoj korisnosti. Prvi je parni stroj gotovo stoljeće prije, točnije 1712. godine, izumio **Thomas Newcomen** (1664. – 1729.). U drugoj je polovici 18. st. značajno usavršio radni učinak stroja i omogućio njegovu veću primijenu škotski izumitelj **James Watt** (1736. – 1819.), kojemu se često pogrešno pripisuje i sam izum parnoga stroja.



No, početkom 19. st. teorijska je studija toplinskih strojeva još nedostajala. Nju 1824. godine objavljuje mladi francuski fizičar i vojni inženjer **Nicolas Léonard Sadi Carnot** (1796. – 1832.) koji je svoje kapitalno djelo *Razmišljanja o sili gibanja vatre...* (*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*) napisao kada je imao samo 28 godina. Njegovu studiju danas poznajemo kao Carnotov ciklus. U tom djelu on upućuje na činjenicu da se toplina ne može po volji pretvarati u mehanički rad, nego se u rad pretvara tako da jedan njezin dio prelazi s toplijega tijela na hladnije. Ustanovivši da nije moguće konstruirati stroj u kojem bi se sva toplina pretvarala isključivo u rad, Carnot je u ovom djelu postavio temelje drugom zakonu termodinamike. Nažalost, kako mladi Carnot umire od kolere, velika je većina njegovih zapisa i neobjavljenih radova morala biti spaljena. Njegovo djelo nije izazvalo veliku pažnju suvremenika, no je počelo velik značaj postiže desetljeće nakon izdavanja, kada ga elaboriraju i

moderniziraju najprije Émile Clapeyron, a zatim Rudolf Clausius i lord Kelvin.

Temeljni su zakoni svemira, koji odgovaraju dvama temeljnim teoremima mehaničke teorije topline:

- 1. Energija svemira je konstantna;*
- 2. Entropija svemira teži maksimalnoj vrijednosti.*

Rudolph Julius Emmanuel Clausius, *The Mechanical Theory of Heat*

Razvoj su termodinamike i kinetičke teorije plinova uvelike unaprijedili njemački fizičar **Rudolf Julius Emanuel Clausius** (1822. – 1888.) i francuski inženjer **Benoît Paul Émile Clapeyron** (1799. – 1864.). Clausius je neovisno o Kelvinu formulirao pojam entropije i drugi zakon termodinamike te razvio kinetičku teoriju topline. Clapeyron nastavlja Carnotov rad na teoriji topline dajući joj prihvatljiviji analitički i grafički oblik te Carnotov ciklus predstavlja zatvorenom krivuljom. Godine 1843. Clapeyron razvija i Carnotovu ideju reverzibilnih procesa. Njegov je rad pridonio značajnom širenju Clausiusova rada, u kojem je nastala i Clausius – Clapeyronova relacija, koja opisuje odnose termodinamičkih parametara kod faznih prijelaza.



James Prescott Joule

James Prescott Joule (1818. – 1889.), engleski fizičar i pivar, bavio se istraživanjem pretvorbe energije, posebno topline i mehaničkoga rada, koja je vodila do oblikovanja prvoga zakona termodinamike. Kao iskusan je eksperimentator odredio prilično točnu vrijednost specifičnoga toplinskog kapaciteta vode. Energiju zove *vis viva* („živa sila“) i daje grubi oblik zakona njezina očuvanja. Zajedno je s lordom Kelvinom radio na uspostavi apsolutne temperaturne ljestvice, a pridonio je i elektricitetu došavši do spoznaje o toplinskim učincima električne struje, koju nazivamo Jouleov zakon.

William Thomson (1824. – 1907.), poznat i kao **lord Kelvin**, glasoviti je škotski matematičar, fizičar i inženjer koji je postao sveučilišnim profesorom već u dobi od 22 godine. Bio je i vrlo plodan znanstvenik te je objavio brojne radove iz teorijske i eksperimentalne fizike (ukupno preko 600 znanstvenih radova i 70 patenata). Za svoja

je znanstvena dostignuća dobio titulu lorda Kelvina. Najpoznatiji je po uvođenju ljestvice apsolutne temperature, koju zovemo njegovim plemićkim imenom. Ljestvicu je predložio 1848. godine, a osnovna joj je prednost što je neovisna o fizičkim svojstvima bilo koje tvari. U radu iz 1851. godine *O dinamičkoj teoriji topline* (*On the dynamical theory of heat*) objavljuje da toplinu ne smatra oblikom tvari, već „dinamičkim oblikom mehaničkoga djelovanja“. Thompsonu dugujemo naziv termodinamika.

Dva su njemačka liječnika i fizičara sredinom 19. st. objavila otkrića koja su im osigurala mjesto među utemeljiteljima termodinamike: **Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz** (1821. – 1894.) i **Julius Robert von Mayer** (1814. – 1878.).

Energija se ne može stvoriti ni uništiti.

Julius Robert von Mayer

Mayer 1841. godine izriče tvrdnju o neuništivosti energije poznatu kao jednu od prvih inačica zakona očuvanja energije i prvoga zakona termodinamike. Izvodi pokuse pretvorbe kinetičke energije u toplinsku u kojima određuje specifični toplinski kapacitet vode. Izveo je tzv. Mayerovu relaciju prema kojoj je razlika specifičnoga toplinskog kapaciteta plina pri stalnom tlaku i specifičnoga toplinskog kapaciteta plina pri konstantnom obujmu jednaka općoj plinskoj konstanti. Mayer opisuje i kemijske procese u organizmu, danas poznate kao oksidacijske procese, koji su primarni izvor energije svih živih bića. Smatra da biljke pretvaraju svjetlosnu energiju u kemijsku.

*Uvijek se ponovno divim izvornom, slobodnom misliocu
Helmholtzu.*

Albert Einstein

Helmholtz je također dao doprinos unapređenju mnogih područja suvremene znanosti, od fiziologije i fiziološke psihologije, „matematike oka“, teorije vida, vizualne percepcije prostora, percepcije zvuka, filozofije znanosti, do fizike, u sklopu koje je radio na teoriji očuvanja energije, elektrodinamici i kemijskoj termodinamici. Prvo značajno otkriće u fizici iz 1847. godine je Helmholtzov fizikalni opis načela očuvanja energije, do kojeg je došao studirajući metabolizam mišića. Proučavajući djela Carnota, Clapeyrona i Joulea Helmholtz je postulirao relaciju koja povezuje mehaniku, toplinu, optiku, elektricitet i magnetizam smatrajući sve manifestacijom jedinstvene fizičke veličine, koju naziva „silom“, misleći pri tom na veličinu koju danas nazivamo energijom. Teoriju je objavio 1847. godine u knjizi *O očuvanju sile (Über die Erhaltung der Kraft)*.

19. stoljeće - Toplina i statistička fizika

Slovenski znanstvenik i poeta **Jožef Stefan** (1835. – 1893.) poznat je po formulaciji zakona zračenja crnoga tijela, koju objavljuje 1879. godine. Na temelju eksperimentalnih mjerenja irskoga fizičara Johna Tyndalla Stefan utvrđuje da je ukupna energija zračenja crnoga tijela razmjerna četvrtoj potenciji njegove termodinamičke temperature. Godine 1884. zakon je u okviru termodinamike teorijski izveo Stefanov student **Ludwig Boltzmann**, pa je danas poznat kao Stefan – Boltzmannov zakon.



Ludwig Boltzmann

Austrijski fizičar **Ludwig Boltzmann** (1844. – 1906.), student Josefa Stefana i veliki pristaša atomistike, jedan je od osnivača statističke termodinamike. Nadahnut Maxwellovim radom njome se počinje baviti još za studija. Naime, pored klasične elektrodinamike Maxwell je utemeljio i kinetičku teoriju plinova, gdje je formulirao zakon raspodjele brzine molekula u plinu. Boltzmann je bio uvjeren da se zakoni ponašanja makroskopskih termodinamičkih sustava mogu izvesti iz pretpostavke postojanja atoma koji taj sustav čine i koji se pokoravaju Newtonovim zakonima. Rezultat je spajanja mehaničkih zakonitosti i teorije vjerojatnosti bila Boltzmannova razdioba atoma po energijama u ovisnosti o temperaturi sustava. Boltzmann je unaprijedio kinetičku teoriju plinova, prvi je povezao entropiju i termodinamičku vjerojatnost, mikroskopski i makroskopski opis sustava. Time je otvorio put razumijevanju drugoga zakona termodinamike u

sklopu statističke fizike i Newtonove mehanike. Boltzmann objašnjava porast entropije u ireverzibilnim procesima i istražuje prijenos topline u sredstvu. Svojim je pokusima i teorijskim razmatranjima podupro Maxwellovu teoriju elektromagnetizma.

Boltzmannu i znanstvenicima koji su podržavali atomističku ideju oponira austrijski fizičar i filozof **Ernst Mach**, zastupajući gledišta pozitivističke filozofije. Atomi su, smatra Mach,

premali da bi se izravno opažali, a jer nijedan model atoma u to vrijeme nije konzistentan, ideju atoma smatra samo hipotezom, bez osobitoga opravdanja. Prema Machu, atome ne možemo opažati, već su oni, kao i sve supstancije, predmet zamišljanja, a atomska teorija samo pomoćno sredstvo tumačenja prirode i nadomjestak zora.

20. stoljeće - Uvod

Što je neki pojam općenitiji, to on češće ulazi u naše mišljenje, a što je posredniji njegov odnos prema osjetilnom iskustvu, to nam je teže razumjeti njegovo značenje.

To je osobito slučaj s prirodoslovnim pojmovima na koje smo se bili navikli upotrebljavajući ih od djetinjstva. Uzmimo pojmove koji su u vezi s riječima GDJE, KADA, ZAŠTO, POSTOJANJE, pa se prisjetimo koliko im silan opseg filozofije bijaše posvećen.

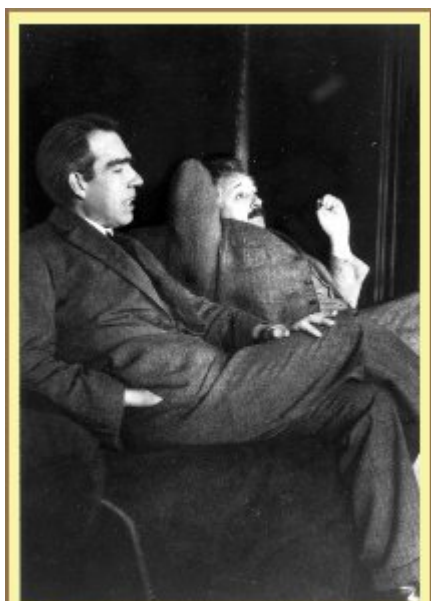
Mi u našim umovanjima nismo ništa bolji od ribe koja pokušava dokučiti sastav vode.

Albert Einstein, članak *Prostor-vrijeme*
Encyclopedia Britannica, 13. izdanje

U osvit je 20. st. na jednom kongresu William Thompson sa žaljenjem ustvrdio kako su svi važni problemi fizike riješeni te da fizičari nemaju osobito što više otkriti. Međutim, novo stoljeće, stoljeće ekspanzijskoga razvoja spoznaja iz fizike i znanosti općenito te stoljeće mnogih tehnoloških revolucija, već je u prvim desetljećima donijelo povijesne prevrate u shvaćanju prirode. Najveći su od njih bili teorija relativnosti i kvantna fizika.

Teorija relativnosti je rođena 1905. godine, koju zovemo i čudesnom godinom, (*annus mirabilis*). Albert Einstein je tada u samo nekoliko mjeseci objavio četiri kapitalna znanstvena rada. Teorijom je relativnosti prostor i vrijeme ujedinio u jedinstven entitet.

Tijekom ovoga je stoljeća došlo i do velikih otkrića o strukturi atoma: 1911. godine Ernst Rutherford otkriva atomsku jezgru sastavljenu od pozitivnih protona, a 1932. godine James Chadwick otkriva neutron.



Albert Einstein i Niels Bohr

Početak su 20. st. Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr i drugi razvili temeljne elemente kvantne teorije da bi objasnili nekonzistentnosti nekih fizikalnih eksperimenata, a 1925. godine su Werner Heisenberg i Erwin Schrödinger formulirali kvantnu mehaniku.

Razvoj je kvantne mehanike tijekom 20. st. doveo do stvaranja moćnih teorijskih alata za nastanak i razvoj novih područja fizike. Fizika čvrstoga stanja počinje izučavati fizička svojstva kristala i tekućina, kristalne strukture te, nešto kasnije, poluvodiče i pojavu supravodljivosti. Pionirima ovoga područja pripada i Felix Bloch, koji je 1928. godine opisao ponašanje elektrona u kristalnim strukturama.

Prije Drugoga svjetskog rata i za vrijeme njegova trajanja provode se intenzivna istraživanja u području nuklearne fizike s ciljem dobivanja nuklearnoga oružja. Saveznički projekt *Manhattan*, predvođen Enricom Fermijem, prvi je ostvario taj cilj: 1942. godine

postignuta je prva nuklearna lančana reakcija, a 1945. godine je u New Mexico (SAD) izvedena prva nuklearna eksplozija.

Tijekom se 20. st. razvija i kvantna teorija polja, koja ujedinjuje kvantnu mehaniku i specijalnu teoriju relativnosti. Svoj suvremeni oblik dostiže polovicom 20. st. u radovima Feynmana, Schwingera, Tomonaga i Dysona, autora kvantne elektrodinamike. Kvantna je teorija polja osigurala kvalitetan okvir za razvoj fizike elementarnih čestica, koja izučava fundamentalne sile i elementarne čestice. Godine 1954. Yang i Mills postavljaju temelje koji dovode do tzv. standardnoga modela, upotpunjenoga u drugoj polovici 20. st., koji do danas uspješno opisuje sve do sada poznate čestice.

20. stoljeće - Teorija relativnosti

Prostor i trajanje su jedno.

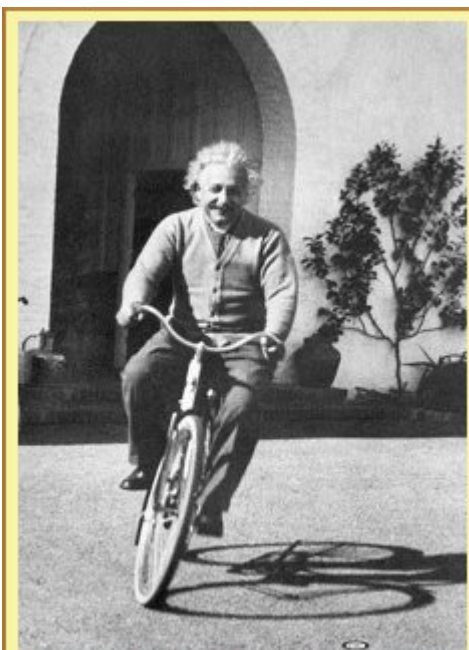
Edgar Allan Poe, *Esej o kozmologiji*, 1848.

Nema razlike među vremenom i bilo kojom od triju dimenzija prostora, osim u tome kako ih doživljava naša svijest. ...znanstvenici /.../ dobro znaju da je vrijeme samo jedna vrsta prostora.

Herbert George Wells, novela *Vremenski stroj*, 1895.

Da ste imali priliku šetati živopisnim predjelima Toskane u posljednjem desetljeću 19. stoljeća, možda biste negdje na putu za Paviju susreli jednoga dugokosog momčića nedavno izbačenoga iz škole. Njegovi su mu učitelji u Njemačkoj objasnili da nikada ništa neće postići u životu, da njegova pitanja narušavaju red u razredu te da će biti najbolje ako napusti školu. On ih je poslušao i ubrzo se našao u sjevernoj Italiji, koja ga je očarala svojom ljepotom i gdje se mogao posvetiti stvarima beskrajno dalekim od onih kojima je bio kljukan u svojoj ranijoj, vojnički discipliniranoj, pruskoj školi. Njegovo je ime bilo Albert Einstein, a njegova su razmišljanja izmijenila svijet.

(Carl Sagan, *Cosmos*)



Albert Einstein

Albert Einstein (1879. – 1955.) jedan je od najistaknutijih tvoraca i predstavnika fizike novoga doba. Einstein je rođen u Ulmu (Njemačka) u židovskoj trgovačkoj obitelji, a školovao se u Njemačkoj, Italiji i Švicarskoj. Kao zaposlenik patentnoga ureda u Bernu 1905. godine, kada je i doktorirao, objavljuje u tada vodećem njemačkom znanstvenom časopisu *Annalen der Physik* četiri znanstvena članka koji su od iznimne važnosti za fiziku i razumijevanje svijeta. U prvom razjašnjava fotoelektrični efekt koristeći koncept kvanata energije, i za to objašnjenje 1921. godine dobiva

Nobelovu nagradu. U drugom radu tumači Brownovo gibanje (slučajna gibanja malih čestica kao izravan dokaz aktivnosti molekula) podržavajući time atomsku teoriju. Trećim radom *O elektrodinamici tijela u gibanju* (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*) uvodi specijalnu teoriju relativnosti, radikalno nov svjetonazor, kojim uvodi fundamentalne promjene u shvaćanju prostora i vremena, i koji dalje razrađuje u četvrtom radu iskazujući jednadžbu ekvivalencije mase i energije.

*Zašto sam baš ja stvorio teoriju relativnosti?
Čini mi se da je razlog sljedeći: čovjek koji je
normalno odrastao uopće ne razmišlja
o problemu prostora i vremena. Po njegovu je mišljenju
on s tim pojmovima raščistio još u djetinjstvu.
Ja sam se, međutim, razvijao tako sporo da su prostor
i vrijeme zaokupljali moje misli i kada sam već bio odrastao.*

Albert Einstein

Specijalna je teorija relativnosti brzo zadobila široku pozornost potvrđujući time kasniji Einsteinov komentar da je u 1905. godini bila „zrela za objavljivanje“. U ranoj je diseminaciji ideje značajnu ulogu imao Max Planck, o kojem Einstein piše: „Pozornost koju je teorija brzo dobila od kolega u velikom je dijelu zasluga odlučnosti i topline kojom ju je zagovarao Planck“.



Planck je 1908. godine i skovao naziv „teorija relativnosti“ želeći naglasiti kako specijalna teorija relativnosti, a kasnije i opća, interpretira načelo relativnosti poznato još od Galileija. Iznimno je velik značaj za prihvatanje teorije relativnosti svakako imala matematička formulacija teorije koju 1907. predstavlja matematičar **Hermann Minkowski** (1864. – 1909.). On zasniva interpretaciju u četverodimenzionalnom prostoru, nazvanom prostor–vrijeme ili *prostor Minkowskog*, u kojem povrh tri prostorne, jednu od dimenzija čini vrijeme, a točke se nazivaju „događajima“. U tom se prostoru geometrija specijalne relativnosti mogla jednostavnije prikazati.

*Odsad prostor za sebe i vrijeme za sebe postaju tek puke sjene
i samo je neka vrsta njihova sjedinjavanja sačuvala nezavisno
postojanje.
Ovo je sjedinjenje nazvano prostor–vrijeme.*

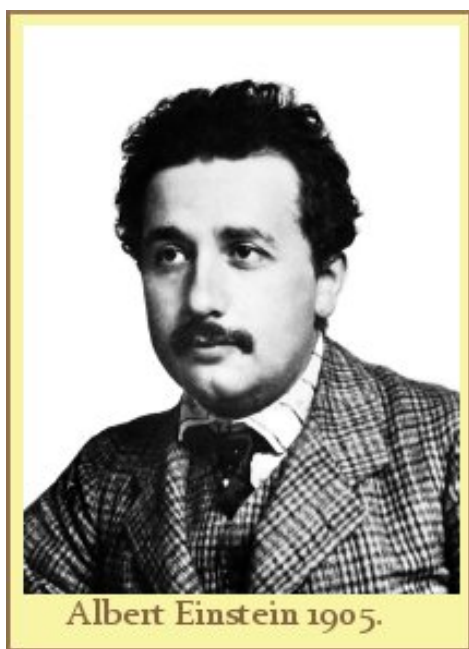
Hermann Minkowski

Specijalna teorija relativnosti proizlazi iz postulata konačne i maksimalne brzine svjetlosti, konstantne u svim inercijalnim referentnim sustavima. Postuliranje je neovisnosti brzine svjetlosti o gibanju izvora svjetlosti ili motritelja značilo korjenitu promjenu u odnosu na dotadašnje klasične newtonovske koncepte apsolutnoga prostora i vremena te zbrajanje brzina i zagaraniranu istodobnost Galileijeve klasične relativnosti.

Vrijeme je u klasičnoj fizici poput rijeke koja nosi pojave kao rijeka brodove. Pa i kada nema brodova, rijeka teče. Prostor je obala rijeke, koja isto postoji neovisno o brodovima. Einsteinova teorija relativnosti promijenila je tu sliku na sljedeći način: kada nema brodova – rijeka ne teče! Oblik se obale mijenja pod djelovanjem lađa u prolazu!

Charles Nordmann

20. stoljeće - Teorija relativnosti



Godine 1908. Einstein nastavlja rad na izgradnji opće teorije relativnosti – relativističkoga poopćenja Newtonove teorije gravitacije. Upoznaje se s Riemannovom geometrijom i dovršava je koristeći Riemannov tenzorski račun. Teoriju objavljuje 1916. godine u članku *Osnove opće teorije relativnosti (Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie)* u časopisu *Annalen der Physik*, te ona do danas ostaje jedna od najvažnijih teorija za razumijevanje ustroja svemira, a eksperimentalno je potvrđena 1919. godine za vrijeme pomrčine Sunca, kada je ustanovljeno skretanje svjetlosti zvijezde gravitacijskim djelovanjem Sunca.

Einsteinova teorija imala je i brojne ugledne oponente. Protiv nje su se izrazili fizičari Philipp Lenard, Johannes Stark, J.J. Thompson. Publicirana je i knjiga Sto autora protiv Einsteina koju je Einstein prokomentirao: „Da nisam bio u pravu, bio bi dovoljan i samo jedan“.

Kasniji se Einsteinov rad većinom odnosi na nekoliko neuspješnih pokušaja stvaranja ujedinjene teorije polja. Godine 1924. sa **Satyendrom Boseom** utemeljuje Bose – Einsteinovu statistiku i predviđa postojanje još jednoga agregacijskoga stanja, točnije Bose – Einsteinova kondenzata, eksperimentalno potvrđenoga 1995. godine. Einstein je objavio više od 300 znanstvenih radova i više od 150 radova iz drugih domena. Smatra se jednom od ikona 20. st., a u popularnoj je kulturi njegovo ime sinonim za genija.

Kao žrtva nasilnoga nacističkog režima Einstein je 1932. godine emigrirao u SAD. Prezirao je militarizam i uporabu sile; bio čovjek širokih nazora, slobodouman, slobodoljubiv, antirasist koji se uvijek zalagao za pravdu i mir. Promicao je pacifističke ideje, i do 1930. godine je postao vodeća ličnost u globalnom pokretu za mir. Godine 1925. se pridružio Mahatmi Gandhiju i drugim istaknutim pacifistima u potpisivanju izjave u kojoj se protive obaveznoj vojnoj službi smatrajući je namjernom obukom ljudi da ubijaju, što potkopava poštovanje pojedinca, demokracije i ljudskoga života. Na početku se Drugoga svjetskoga rata 1939. godine s nekoliko kolega otvorenim pismom obratio predsjedniku SAD Franklinu Rooseveltu, upozoravajući na opasnost da Njemačka proizvede atomsko oružje. Pismo je doprinijelo nastojanju SAD da u tome preduhitri Njemačku.

Nakon završetka Drugoga svjetskog rata Einstein se zalagao za svjetsko razoružanje i do kraja života ostao predan borac za mir, međunarodnu suradnju i eliminaciju nuklearnoga oružja. Podupirao je cioniste, no odbio je ponudu države Izrael da 1948. godine postane njezinim prvim predsjednikom.

Albert Einstein nije mogao prihvatiti neodređenost kvantne mehanike i u svojim je raspravama s Nielsom Bohrom često to retorički formulirao pitanjem: „Je li moguće da je Bog bio kockar?“ Navodno mu je Niels Bohr u jednoj takvoj raspravi odvratio: „Prestani stalno naređivati Bogu što da radi“.

20. stoljeće - Kvantna fizika

Fizika izrasta u dijalogu, u raspravi...

Werner Heisenberg

Na prijelazu je 19. u 20. st. u fizici postojalo nekoliko „kritičnih“ eksperimenata koji se ni na koji način nisu mogli objasniti u okviru dotadašnje klasične fizike. To su bili npr. problem zračenja crnoga tijela, fotoelektrični efekt i Michaelson – Morleyev eksperiment. Njihov broj nije bio velik u usporedbi s uspjesima koje je u tumačenju prirode imala fizika 19. stoljeća, no njihovo se objašnjenje pokazalo vrlo „tvrdim orahom“ koji se nikako nije dao riješiti u okviru dotadašnjih spoznaja. Objašnjenje je ovih pokusa otvorilo tako vrata potpuno novom području fizike i potpuno novom kvantnomehaničkom pogledu na svijet koji je imao iznimne kako prirodosnanstvene, tako i filozofske implikacije.



Max Planck

Jedan je od osnivača kvantne teorije njemački fizičar **Max Planck** (1858. – 1947.). On se od 1894. godine bavi problemom crnoga tijela u nastojanju da odgovori na pitanje kako intenzitet elektromagnetnoga zračenja crnoga tijela ovisi o frekvenciji zračenja i temperaturi crnoga tijela. U području su se visokih frekvencija rezultati eksperimenta slagali s relacijom koju je predložio **Wilhelm Wien** (1864. – 1928.), ali se Wienov zakon nije dobro slagao s eksperimentima u području niskih frekvencija. Niti se relacija koju je predložio lord Rayleigh, danas poznata kao Rayleigh – Jeansov zakon zračenja, nije slagala s rezultatima eksperimenta, s time da je neslaganje bilo osobito izraženo u području visokih frekvencija. Zato je u povijesti fizike to neslaganje poznato kao „ultraljubičasta katastrofa“, kako ga je nazvao **Paul Ehrenfest** (1880. – 1933.). U nastojanju da dobije zakon zračenja koji će se slagati s eksperimentalnim rezultatima Planck 1900. godine iznosi smionu pretpostavku o diskontinuiranosti energije. Smatra da

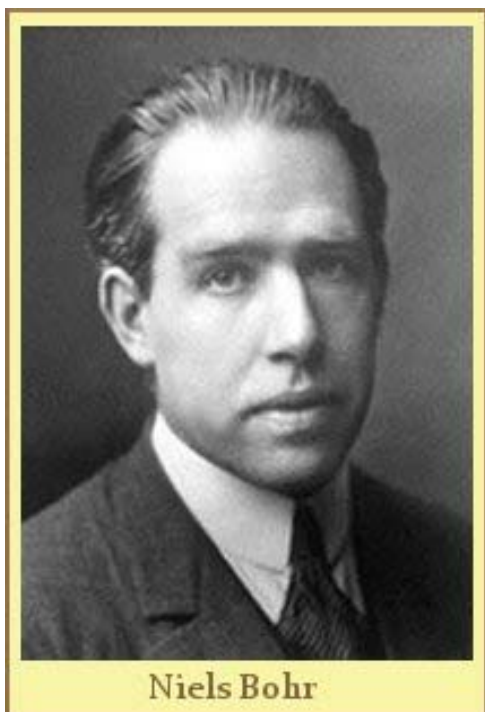
izvor može zračiti energiju samo u diskretnim količinama – kvantima. Na toj je osnovi izveo zakon zračenja crnoga tijela, koji poznajemo kao Planckov zakon zračenja ili Planckovu

relaciju. Ideja je kvantizacije energije bila temelj tumačenja svih atomskih pojava te su je primijenili Albert Einstein, na tumačenje fotoelektričnoga efekta, i Niels Bohr, na objašnjenje izgleda spektra vodikova atoma. Max Planck je 1918. dobio Nobelovu nagradu za fiziku.

Fotoelektrični se efekt istraživao od kraja 19. st., ali je njegovo teorijsko objašnjenje ponudio Einstein tek 1905. godine u radu *O jednom heurističkom gledištu koje se odnosi na tvorbu i pretvorbu svjetlosti*. On pretpostavlja da svjetlost, osim valne prirode, pokazuje i čestična svojstva, te drži da su fotoelektrični efekt, zračenje crnoga tijela i fotoluminiscencija povezani s nastankom i pretvorbama svjetlosti.

Bohrovi su postulati poput kistova i boja: sami po sebi ne čine sliku, ali pomažu da ona nastane.

Werner Heisenberg



Drugi su veliki korak u razvoju kvantne mehanike bile osnove kvantnoga modela atoma, koje 1913. godine postavlja danski fizičar **Niels Bohr** (1885. – 1962.) u radu *O građi atoma i molekula* (*On the Constitution of Atoms and Molecules*). Osim na svojem matičnom sveučilištu u Kopenhagenu Bohr je nekoliko godina radio zajedno s Rutherfordom na sveučilištu u Manchesteru, upravo u vrijeme Rutherfordova otkrića atomske jezgre. Godine 1915. Bohr objavljuje nekoliko radova o građi atoma i vodikovim spektrima pokušavajući povezati strukturu atoma, položaj elemenata u periodnom sustavu elemenata i izgled njihovih spektara. Velik su doprinos razumijevanju spektara kemijskih elemenata dali švicarski matematičar **Johann Balmer** (1825. – 1898), švedski fizičar **Johannes Rydberg** (1854. – 1919.) i njemački fizičar **Friedrich Paschen** (1865. – 1947.). Njihove je eksperimentalne rezultate i način nastanka linijskoga

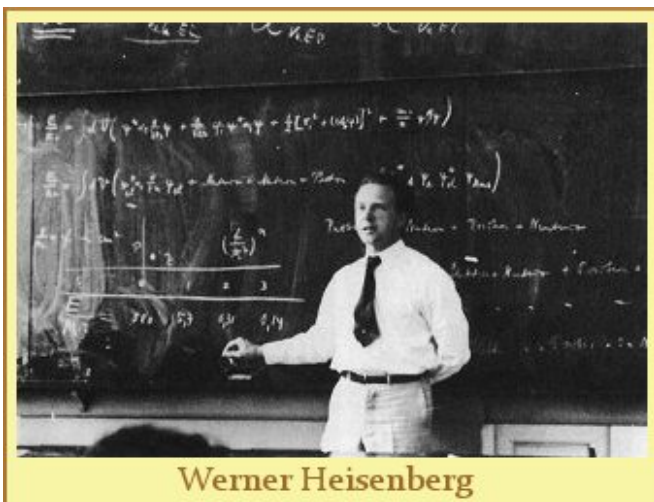
spektra objasnila Bohrova teorija i time bila jedan od temelja za nastanak cjelovite kvantne teorije. Daljnje je eksperimentalne potvrde Bohrova teorija dobila radovima **Jamesa Francka** (1882. – 1964.) i **Gustava Hertza** (1887. – 1975.) koji su dokazali postojanje kvantnih razina energije atoma. Za svoj je doprinos istraživanju strukture atoma Bohr 1922. godine nagrađen Nobelovom nagradom za fiziku, a 1958. godine primio je počasni doktorat Sveučilišta u Zagrebu.

Bohr je naglašavao važnost komplementarnosti i na primjerima vrlo udaljenim od fizike. Priča se da su ga prilikom nekoga intervjua upitali koja je „veličina“, odnosno kategorija, komplementarna pojmu istina (njem. die Wahrheit). Razmislivši, odgovorio je: „Jasnoća“ (njem. die Klarheit).

Steven Weinberg, *U potrazi za konačnom teorijom*

20. stoljeće - Kvantna fizika

Francuski fizičar plemićkoga roda **Louis-Victor-Pierre-Raymond de Broglie** (1892. – 1987.) u svojoj doktorskoj tezi uvodi ideju o pridruživanju valnih svojstava česticama. Ona se javlja kao obrat ideje čestične prirode svjetlosti koju su objašnjenjem fotoelektričnoga efekta, odnosno zračenja crnog tijela, uveli Einstein i Planck. Iako je ova pretpostavka u početku primljena suzdržano i skeptično, 1927. godine **Lester Germer** (1896. – 1971.) i **Clinton Joseph Davisson** (1881. – 1958.) eksperimentalno su dokazali ogib elektrona na kristalima, dobivši ogibni uzorak ili difrakcijsku sliku (dokaz valne prirode elektrona). Time je de Broglieova hipoteza postala jedan od temeljnih postulata kvantne mehanike i uvela u fiziku problem tzv. valno–čestičnoga dualizma. Za doprinos valnoj mehanici i otkriće valne prirode elektrona de Broglie je 1929. godine dobio Nobelovu nagradu za fiziku.



Werner Heisenberg

Razvoj su kvantne teorije u smjeru valno–čestičnoga dualizma ostvarili Werner Heisenberg i Erwin Schrödinger 1925. i 1926. godine predlažući tzv. matričnu, odnosno valnu reprezentaciju kvantne mehanike.

Njemački se fizičar **Werner Karl Heisenberg** (1901. – 1976.) smatra jednim od najznačajnijih fizičara 20. st., a za svoj je doprinos fizici 1932. godine nagrađen Nobelovom nagradom. Želeći ustrojiti „kvantnomehaničku teoriju analognu klasičnoj mehanici“ 1925. godine objavljuje osnove svoje teorije u radu *O kvantnoteorijskom istraživanju kinematičkih i mehaničkih odnosa* (*Über*

quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen). Heisenberg ustanovljava načelo neodređenosti koje utvrđuje granice eksperimentalnoga istraživanja kvantnih pojava i uvodi matričnu mehaniku. Engleski fizičar **Paul Dirac** (1902. – 1984.), nakon što se upoznao s Heisenbergovim radom, uvodi i drugu, operatorsku shemu kvantne mehanike.



Erwin Schrödinger

Dvadesetih godina 20. st. polazeći od de Broglijeve postavke o valnoj prirodi elektrona austrijski fizičar **Erwin Schrödinger** (1887. – 1961.) usporedo s Heisenbergovom matričnom mehanikom razvija još jedan kvantnomehanički koncept i 1926. godine svoju prezentaciju objavljuje u časopisu *Annalen der Physik* pod naslovom *Kvantiziranje kao problem vlastitih vrijednosti* (*Quantisierung als Eigenwertproblem*). Gibanje elektrona u atomu opisuje valnom funkcijom, odnosno valnom jednačinom, koju danas poznajemo kao fundamentalnu jednačinu kvantne fizike – Schrödingerovu jednačinu. Fizikalni smisao valne funkcije Schrödinger tumači konceptom „valnoga paketa“: određivanjem se valne funkcije dobiva „valni paket“ koji predstavlja česticu u gibanju.

Godine 1927. njemački fizičar **Max Born** (1882. – 1970.) predlaže uspješniju, statističku interpretaciju valne funkcije koja je danas općeprihvaćena: „valovi tvari” zapravo su „valovi vjerojatnosti”, odnosno kvadrat apsolutne vrijednosti valne funkcije ima značenje gustoće vjerojatnosti nalaženja čestice u nekoj točki prostora. Erwin Schrödinger je 1933. godine Nobelovu nagradu za fiziku podijelio s Paulom Diracom.

Onaj tko kvantnom mehanikom nije šokiran, taj ju nije razumio.

izjava se pripisuje Nielsu Bohru

Protivnici kvantne teorije ne poriču njezinu istinitost. Navodno je omiljena anegdota Nielsa Bohra na tu temu sljedeća: „Moj je susjed na vrata objesio potkovicu. `Vjerujete li da to donosi sreću?`, upitali ga. `Naravno da ne`, odgovorio je, `ali kažu da donosi sreću i onima koji ne vjeruju`.”

20. stoljeće - Atomska i nuklearna fizika

*Od onih sam koji smatraju da znanost posjeduje veliku ljepotu.
Znanstvenik u svojem laboratoriju nije samo tehničar;
on je dijete stavljeno pred prirodne pojave
koje ga impresioniraju jednako kao i bajke.*

Maria Sklodowska Curie

Istraživanja su tzv. katodnih i kanalnih zraka krajem 19. st. rezultirala 1897. godine otkrićem elektrona, što dugujemo engleskom fizičaru **Josephu Johnu Thomsonu** (1856. – 1940.). Ono je bilo prva indikacija unutarnje strukture atoma na kojoj se temeljio Thompsonov model atoma aktualan na prijelazu stoljeća. Model je poznat pod nazivom „kolač s groždicama” jer se mislilo da je pozitivno nabijena struktura u kojem su negativni elektroni ravnomjerno raspoređeni duž cijele strukture, poput groždica u kolaču. Američki je fizičar **Robert Andrews Milikan** (1868. – 1953.) precizno odredio naboj elektrona, odnosno elementarni kvant naboja. Japanski fizičar **Hantaro Nagaoka** (1865. – 1950.) polazeći od Maxwellove elektrodinamike predlaže model atoma sličan planetnom sustavu u kojem je središnji dio atoma pozitivno nabijen, a elektroni kruže oko središta poput planeta oko Sunca.

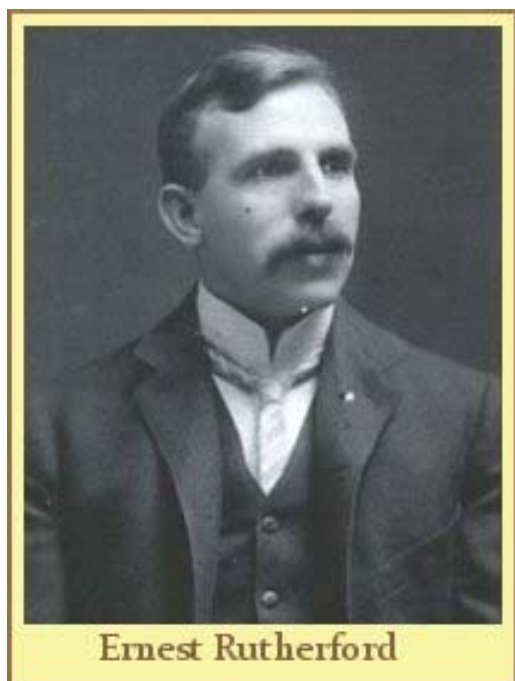


Na prijelazu stoljeća otkrivene su i nove vrste zračenja. Godina 1895. je godina senzacionalnoga otkrića x-zračenja njemačkoga fizičara **Wilhelma Conrada Röntgena** (1845. – 1923.), kojim je 1901. postao prvi Nobelov laureat u povijesti. Radioaktivnost je 1896. godine otkrio francuski fizičar **Henry Antoine Becquerel** (1852. – 1908.) istražujući luminiscenciju. U

početku je mislio da je luminiscencija minerala koje je koristio u pokusima uvjetovana korištenjem svjetlosti koje ih pobuđuje na zračenje, no ubrzo je ustanovio da neki minerali emitiraju zračenje „sami po sebi“, bez prethodnoga izlaganja svjetlosti. Zračenje je nazvano „uranovim“ i „Becquerelovim zrakama“. Ubrzo se u ove pokuse uključuje bračni par **Maria Sklodowska Curie** (1867. – 1934.) i **Pierre Curie** (1859. – 1906.). Njima zahvaljujemo naziv ove pojave koji i danas koristimo – radioaktivnost, te otkriće novih kemijskih elemenata radija i polonija. Daljnja su istraživanja otkrila tri različite vrste radioaktivnosti: alfa- beta- i gama-raspad. Otkriveno je i da mnogi drugi kemijski elementi pokazuju svojstvo radioaktivnosti, odnosno imaju radioaktivne izotope. Koncept je izotopa, kao različitoga atoma istoga elementa kojem jezgra ima jednaki naboj, a različitu masu, uveo 1913. godine engleski fizičar i kemičar **Frederick Soddy** (1877. – 1956.). Pokusi su njemačkih fizičara **Lise Meitner** (1878. – 1968.) i **Otta Hahna** (1879. -1968.) 1911. godine te engleskoga fizičara **Jamesa Chadwicka** (1891. – 1974.) 1914. godine otkrili da je energetski spektar beta-raspada kontinuiran, a ne diskretan, kao što je to spektar alfa- i gama-zračenja. Prema tadašnjim je spoznajama atomske fizike to bilo u neskladu sa zakonom očuvanja energije. Porijeklo radioaktivnosti nije moglo biti rastumačeno dok nije otkrivena struktura atomske jezgre.

Ne smijemo zaboraviti da pri otkriću elementa radija nitko nije mogao znati da će ono biti od koristi u medicini. To je otkriće bilo čisti znanstveni rad. To je dokaz da se znanstveni rad ne smije sagledavati s gledišta njegove izravne koristi. On mora biti motiviran samim sobom, ljepotom znanosti, a uvijek postoji mogućnost da će znanstveno otkriće, kao što je i radij, poslužiti na dobrobit čovječanstvu.

Maria Sklodowska Curie



Ernest Rutherford

Novozelandski fizičar **Ernest Rutherford** (1871. – 1937.) početkom 20. st. u Manchesteru (Velika Britanija) okuplja plodan tim istraživača, među kojima su **Hans Geiger** (1882. – 1945.) i **Ernest Marsden** (1889. – 1970.), **George Hevesy** (1885. – 1966.), **Henry Gwyn Jeffreys Moseley** (1887. – 1915.), a nekoliko je godina dio tima bio i **Niels Bohr** (1885. – 1962.). U tom je periodu došlo do mnogih otkrića, a najznačajnija su otkriće prirode alfa-čestica te otkriće atomske jezgre.

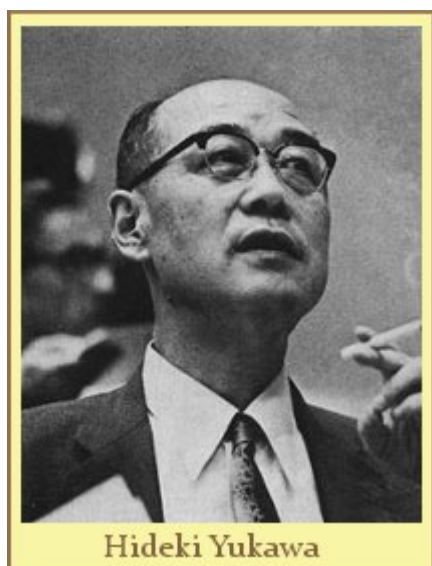
Ključni se pokus za to otkriće dogodio 1909. godine kada su znanstvenici vrlo tanku zlatnu foliju izložili djelovanju alfa-čestica tj. helijevih jezgri. Thompsonov je model atoma predviđao će alfa-čestice proći kroz tanki metalni film i raspršiti se pod određenim malim kutovima. No, na veliko je iznenađenje istraživačkoga tima ustanovljeno raspršenje i pod velikim kutovima, a neke su se

helijeve jezgre od metalne folije odbile potpuno unatrag. Rutherford je to usporedio s vjerojatnošću da list papira odbije topovsku kuglu. Rezultat je pokusa vodio prema novom modelu atoma, koji je Rutherford predložio 1911. godine: atom se sastoji od središnjega naboja okruženoga sferičnom raspodjelom naboja suprotnoga predznaka. U početku se pretpostavljalo da su i elektroni građevne čestice atomske jezgre, pa je u modelu za atom dušika rednoga broja 7 bilo pretpostavljeno da u jezgri ima 21 česticu, i to 14 protona i 7

elektrona, a u elektronskom omotaču još 7 elektrona. Otkriće je spina i spektroskopija dušikovih jezgri, do čega je 1930. godine došao talijanski fizičar **Franco Rasetti** (1901. – 2001.), pokazalo da se dušikove jezgre vladaju kao čestice cjelobrojnoga spina, tj. kao bozoni. To je bilo u potpunom neskladu s predloženim modelom dušikove jezgre s 21 nukleonom, pa je to neslaganje nazvano „dušikovom katastrofom“. No, „katastrofa“ je razriješena otkrićem neutrona, koje je 1932. objavio **James Chadwick** (1891. – 1974.) i njegova spina 1/2. Ruski je fizičar **Dmitri Ivanenko** (1904. – 1994.) predložio tada današnji model atoma prema kojem su atomski nukleoni protoni i neutroni, a ne elektroni. Naziv proton za pozitivno nabijeni nukleon prvi je upotrijebio Rutherford, a on je 1919. godine izveo i prvu pretvorbu (transmutaciju) jednoga elementa u drugi; toj je prvoj nuklearnoj reakciji u povijesti bombardirao dušik alfa-česticama i tako dobio kisik.

Stvarnost je složena. Nema opravdanja za sve ove prenaple zaključke.

Hideki Yukawa



Hideki Yukawa

Godine 1935. japanski teoretičar i prvi japanski nobelovac **Hideki Yukawa** (1907. – 1981.) je predložio prvu značajnu teoriju jake nuklearne sile, kojom je objasnio stabilnost, odnosno egzistenciju atomske jezgre. Prema Yukawi, posrednik je sile među nukleonima virtualna čestica, kasnije nazvana mezon, a jaka je privlačna nuklearna sila odgovorna za postojanje jezgre unatoč električnom odbijanju protona. Yukawina je teorija objasnila mali doseg nuklearne sile. Godine 1947. engleski je fizičar **Cecil Powell** (1903. – 1969.) u kozmičkom zračenju otkrio česticu nazvanu pi-mezon (p-mezon), svojstva upravo predviđenih Yukawinom teorijom.

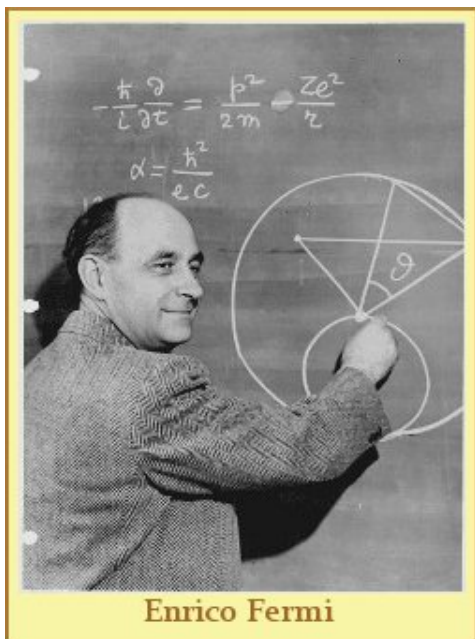
Time je uspostavljen suvremeni model atoma, čije je središte jezgra građena od neutrona i protona vezanih jakim nuklearnom silom. Kada je jezgra prevelikih dimenzija, mali doseg nuklearne sile ne može je držati na okupu i ona postaje nestabilna te se radioaktivnošću raspada. Alfa-raspadom jezgra emitira alfa-čestice ili helijeve jezgre, a beta-raspadom može emitirati elektron ili pozitron. Nakon tih raspada jezgra može biti u pobuđenom stanju i iz njega prijeći u osnovno stanje emisijom fotona visoke energije, tj. gama-raspadom.

Za razvoj je nuklearne fizike bila posebno važna gradnja uređaja kojima se ona istražuje – ubrzivača ili akceleratora čestica. Prvi se takvi uređaji konstruiraju u Americi 1928. godine. Načelo je rada ciklotrona 1930. godine predložio američki fizičar **Ernest Lawrence** (1901. – 1958.), za što je, uz svoja ostala istraživanja umjetne radioaktivnosti, 1939. godine dobio Nobelovu nagradu.

20. stoljeće - Atomska i nuklearna fizika

*Nikad ne valja podcijeniti zadovoljstvo koje
čovjek osjeća kada čuje nešto što već zna.*

Enrico Fermi



Tridesetih se godina 20. st. intenzivira razumijevanje i razvoj nuklearne fisije. Godine 1932. Rutherfordovi su suradnici **Sir John Cockcroft** (1897. – 1967.) i **Ernest Walton** (1903. – 1995.) prvi izveli „cijepanje” atoma litija nuklearnom reakcijom koristeći ubrzane čestice, odnosno protone. Prvom se nuklearnom fisijom ipak smatra bombardiranje urana neutronima koje je 1934. godine izveo talijanski fizičar **Enrico Fermi** (1901. – 1954.) i objavio u radu *Radioaktivnost dobivena bombardiranjem neutronima*. Za to je otkriće 1938. primio Nobelovu nagradu, a u Chicagu je 1942. godine, upravo pod njegovim vodstvom, izgrađen prvi nuklearni reaktor.

Mađarski je fizičar **Leó Szilárd** (1898. – 1964.) 1933. godine došao do spoznaje o mogućnosti nastanka nuklearne lančane reakcije ako neki proces oslobađa više neutrona nego što ih je trebalo za pokretanje procesa. Lančane su reakcije bile poznate iz kemije, gdje najčešće izazivaju nekontrolirano oslobađanje energije, odnosno eksploziju. Szilárd, međutim, u fizici predviđa takve reakcije kod lakih atoma. U eksperimentima nakon otkrića fisije urana Szilárd otkriva da je fisijom oslobođeno više neutrona nego ih je upotrijebljeno i prepoznaje predviđenu nuklearnu lančanu reakciju. Bojeći se uporabe ovoga otkrića u izradi oružja od strane nacističke Njemačke on taj otkriće. No, 1934. godine grupa znanstvenika predvođena **Irène** (1897. – 1957.) i **Frédéricom Joliot-Curijem** (1900. – 1958.) objavljuje da bombardiranje alfa-česticama inducira umjetnu radioaktivnost kod stabilnih elemenata. Iste je godine svoje otkriće objavio i Fermi.



Njemački fizičari **Otto Hahn** (1879. – 1968.) i **Fritz Strassmann** (1902. – 1980.) 1938. godine objavljuju rezultate pokusa bombardiranja urana neutronima u kojima dobivaju izotop barija. Njihova suradnica **Lise Meitner** (1878. – 1968.), austrijska fizičarka židovskoga porijekla koja je zbog *Anschlussa* izbjegla u Švedsku, i **Otto Robert Frisch** (1904. – 1979.)

interpretiraju te rezultate kao nuklearnu fisiju, tj. cijepanje uranove jezgre nakon apsorpcije neutrona. Reakcija oslobađa veliku energiju i dodatne neutrone.

*Znanost je jedno, mudrost drugo. Znanost je oštro
oruđe
kojim se ljudi igraju poput djece i porežu svoje prste.*

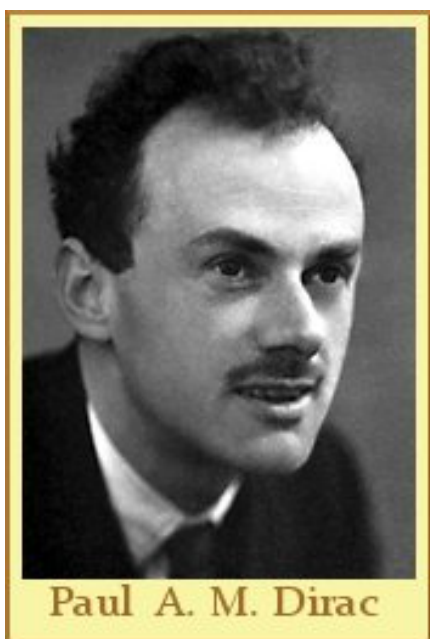
Arthur Eddington

Budući da se ova otkrića zbivaju u vrijeme jačanja nacizma u Njemačkoj i dolaska Hitlera na vlast, mnogi su znanstvenici upozoravali na posljedice koje bi mogla imati uporaba nuklearnoga oružja, pogotovo ako bi do oružja prva došla nacistička Njemačka. Albert Einstein u nekoliko pisama 1939. godine upozorava američkoga predsjednika Franklina Roosevelta na tu opasnost i savjetuje razvijanje američkih, odnosno savezničkih nuklearnih kapaciteta. Ta su pisma u Drugom svjetskom ratu doprinijela pokretanju projekta izrade atomske bombe, poznatoga pod nazivom projekt *Manhattan*, koji je započeo je 1941. godine i bio među najvećim tajnim projektima američke vlade ikada. Tako su u američkom gradu Los Alamosu okupljeni vrsni fizičari i inženjeri, koji su pod vodstvom **Roberta Oppenheimera** (1904. – 1967.) izradili i 16. srpnja 1945. godine uspješno testirali prvu atomsku bombu. Ona je već 6. kolovoza iste godine upotrijebljena u bombardiranju japanskih gradova Hirošime i, 3 dana kasnije, Nagasakija. Tim je bombardiranjima oduzeto 400 000 ljudskih života, a ostavljene su i trajne posljedice radioaktivnoga zračenja.

20. stoljeće - Kvantna teorija polja i fizika elementarnih čestica

*Puno je nagrada podijeljeno da bi se pokazalo
kako svemir nije tako jednostavan kako smo mislili.*

Stephen W. Hawking, *Kratka povijest vremena*



Razvoj je kvantne mehanike dvadesetih godina 20. st. potaknuo nastanak nekoliko novih područja fizike i kemije utemeljenih na kvantnomehaničkim spoznajama. Njemački fizičari **Walter Heinrich Heitler** (1904. – 1981.) i **Fritz Wolfgang London** (1900. – 1954.) 1927. godine izvode kvantnomehanički proračun kovalentnih veza vodikove molekule, čime utemeljuju kvantnu kemiju. Njegovu razvoju kasnije doprinose poznati nobelovac kemičar Linus Pauling i mnogi drugi. Tih godina nastaje i tzv. kvantna teorija polja, odnosno teorijski okvir za konstruiranje kvantnomehaničkih modela sustava koji se klasično opisuju kao sustavi mnoštva čestica. Kvantna se teorija polja koristi u fizici elementarnih čestica i fizici čvrstoga stanja. Pionirima se ovoga područja smatraju vrhunski teoretičari fizike **Paul Adrien Maurice Dirac** (1902. –

1985.), **Wolfgang Ernst Pauli** (1900. – 1958.) i **Victor Frederick Weisskopf** (1908. – 2002.).

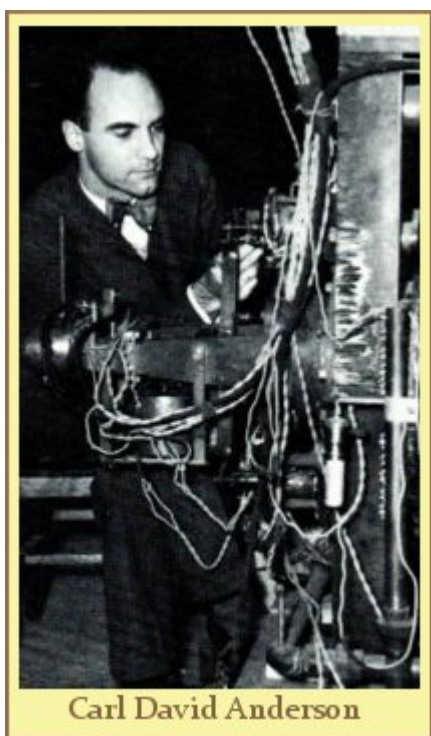
Engleski je fizičar **Paul Adrien Maurice Dirac** jedan od najvećih umova fizike svih vremena. On je 1928. godine sjedinio teoriju relativnosti i kvantnu mehaniku postavivši relativističku valnu jednadžbu elektrona, danas poznatu kao Diracova jednadžba.

/.../ Uspjeh je bio golem. Iako Dirac nije ništa posebno pretpostavio o strukturi elektrona, njegova je teorija automatski pokazivala magnetna svojstva elektrona i finu strukturu spektralnih linija. /.../ Prema tadašnjem je znanju postojala stanovita nejednakost između negativnoga i pozitivnoga elektriciteta. Dok se negativni javlja u obliku lakih elektrona, pozitivni je vezan uz teške protone. Iz Diracove valne jednadžbe izveo se uskoro zaključak da takva nejednakost ne postoji uistinu u prirodi, nego je tek lokalni slučaj u svemiru. Prema Diracu, postoje pored elektrona iste takve čestice pozitivnog naboja. Te čestice koje sliče elektronima kao jaje jajetu, a imaju pozitivan naboj, nazvane su pozitronima. No Dirac nije ostao pri tome da poveća broj elementarnih čestica. Kada je postavio hipotezu o pozitronu, imao je jednu od najsmeļlijih misli koje su se rodile u povijesti fizike.

(Ivan Supek, *Povijest fizike*)

Diracova je teorija osim spina i pozitrona predviđala i tvorbu parova čestica i antičestica. Eksperimentalna se potvrda teorije dogodila 1932. godine kada je američki fizičar **Carl**

David Anderson (1905. – 1991.) magličastom komorom detektirao pozitrone u kozmičkim zrakama, i za to otkriće 1936. godine dobio Nobelovu nagradu za fiziku. Postojanje su antimaterije, tj. pozitrona, a nešto kasnije i tvorbu parova čestica–antičestica, potvrdili **Patrick Maynard Stuart Blackett** (1897. – 1974.) i **Giuseppe Occhialini** (1907. – 1993.).



Carl David Anderson

I jedan je hrvatski fizičar pridonio spoznajama o antimateriji: u Zagrebu je 1934. godine **Stjepan Mohorovičić** (1890. – 1980.), sin geofizičara Andrije Mohorovičića, pretpostavio da postoji vezano stanje elektrona i pozitrona, kasnije nazvano pozitronijem. Njegovo je postojanje 1951. godine eksperimentalno potvrdio **Martin Deutsch** (1917. – 2002.).

Diracova je teorija 1955. godine potvrđena i otkrićem negativnoga protona, tj. antiprotona. Ovo su otkriće objavili i za njega 1959. godine dobili Nobelovu nagradu znanstvenici sa sveučilišta Berkeley **Emilio Gino Segrè** (1905. – 1989.) i **Owen Chamberlain** (1920. – 2006.).

Dirac je među kolegama bio poznat po svojoj pedantnoj i šutljivoj naravi. Kada se u jednoj prilici Bohr žalio kako nije znao dovršiti rečenicu u znanstvenom radu koji je pisao, Dirac je komentirao: „Mene su u školi učili da nikad i ne započinjem rečenice koje ne znam završiti“.

Značaj se Diracove teorije očituje i u novom konceptu prostora. /.../ Dirac odbacuje predodžbu vakuuma kao apsolutnoga ništa. Ta je predodžba dopuštena samo tako dugo dok se ostaje u okvirima nerelativističke kvantne teorije, pa se

ispusti iz vida duboka srodnost svjetlosti i elementarnih čestica. Uistinu, i sam vakuum ima složenu prirodu. I prazan prostor gdje nema čestica i polja još uvijek nije „ništa. /.../ Diracovo shvaćanje vakuuma razrješuje staru suprotnost punoga i praznoga, koja je živo zanimala grčke filozofe. Danas više ne postavljamo metafizički jaz između atoma, koji jedino postoje, i praznoga prostora, koji nije ništa. Čini se da se čitava suvremena teorija razvija prema tom višem jedinstvu, gdje elementarne čestice dobivaju smisao tek u zajednici s čitavim prostorom.

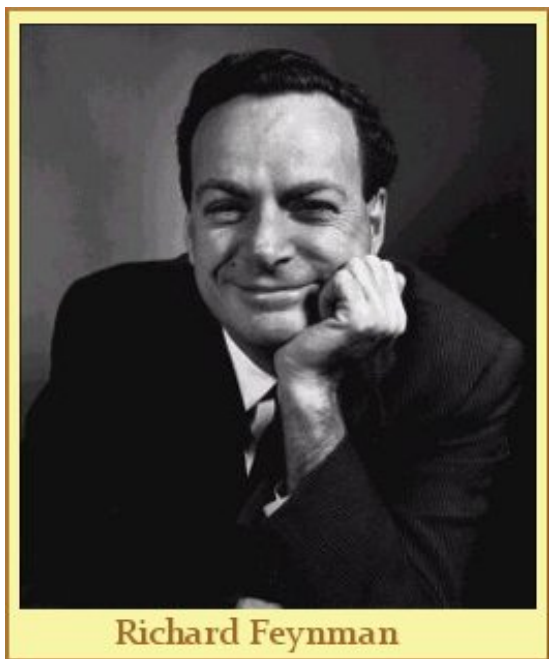
(Ivan Supek, *Povijest fizike*)

Dirac je ovako kritizirao Oppenheimerovo zanimanje za poeziju: „Znanosti je cilj da teško razumljive stvari učini razumljivima, a poeziji je cilj da jednostavne stvari predstavi u nerazumljivu obliku. Zato su znanost i poezija nekompatibilne“.

20. stoljeće - Kvantna teorija polja i fizika elementarnih čestica

Sredinom se 20. st. rađa kvantna elektrodinamika (engl. akronim *QED*, od *quantum electrodynamics*) – relativistička kvantna teorija polja koja se odnosi na elektrodinamiku, odnosno fizikalna teorija koja relativistički kvantnomehanički opisuje elektromagnetizam. *QED* matematički opisuje sve pojave koje uključuju interakcije električnih naboja u vidu izmjene fotona. Teorija se ponekad naziva i „draguljem fizike“ zbog mnogih, iznimno točnih, predviđanja. *QED* utemeljuju **Richard Phillips Feynman** (1918. – 1988.), **Freeman John Dyson** (r. 1923.), **Julian Seymour Schwinger** (1918. – 1994.) i **Sin-Itiro Tomonaga** (1906. – 1979.).

Nobelovac E.P. Wigner je rekao o Feynmanu: „On je drugi Dirac. Samo ovaj put - u ljudskom obličju“.



Richard Feynman pripada legendarnim fizičarima 20. stoljeća. Duhovit, osebujan, iznimno inteligentan, poznat kao jedan od najvećih popularizatora znanosti među vrhunskim znanstvenicima; bio je vrstan predavač, autor udžbenika i knjiga koje se već smatraju „klasicima“ poput *The Feynman Lectures on Physics* i *Surely You're Joking, Mr. Feynman*. Sudjelovao je u projektu *Mantahan*, dao velik doprinos ranom razvoju računarstva i bio vizionar nanotehnologije. Feynman je svoj matematički pristup kvantnoj elektrodinamici temeljio na tzv. Feynmanovim dijagramima (konceptualnim grafičkim prikazima interakcija subatomske čestice). Taj se koncept u početku činio različitim u odnosu na matematički pristup Schwingera i Tomonage, no **Freeman Dyson** je kasnije pokazao da su oni u biti ekvivalentni. Feynman, Schwinger i Tomonaga su 1965. godine podijelili Nobelovu nagradu za fiziku za

doprinos kvantnoj elektrodinamici.

Fizika je kao seks. Naravno, može dati neke praktične rezultate, ali to nije glavni razlog zašto se njome bavimo.

Richard Feynman

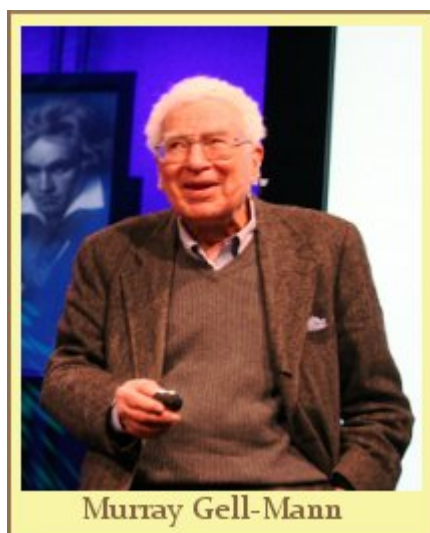
Kvantna je elektrodinamika poslužila kao model za ostale kvantne teorije polja, kao što su npr. kvantna kromodinamika, koja se počinje razvijati šezdesetih godina 20. st., a današnji oblik dobiva sredinom sedamdesetih u radovima **Hugea Davida Politzera** (r. 1949.), **Sidneya Richarda Colemana** (1937. – 2007.), **Davida Johnatana Grossa** (r. 1941.) i **Franka Anthony Wilczeka** (r. 1951.). Metode kvantne elektrodinamike (npr. račun smetnje) ipak ne daju rezultate u kvantnoj kromodinamici. Razvijajući teoriju na temeljima pionirskih doprinosa **Juliana Seymoura Schwingera** (1918. – 1994.), **Petera Higgsa** (r. 1929.), **Jeffreya Goldstonea** (r. 1933.) i drugih, **Sheldon Lee Glashow** (r. 1932.), **Steven Weinberg** (r. 1933.) i **Abdus Salam** (1926. – 1996.) neovisno su pokazali da se slaba nuklearna i elektromagnetna interakcija mogu ujediniti te su za taj izniman doprinos fizici 1979. godine podijelili Nobelovu nagradu.

Teorijski model ujedinjenja elektromagnetne i slabe nuklearne interakcije poznat pod nazivom elektroslaba teorija ujedinjenja predložio je Stephen Weinberg još 1967. godine. Model je predviđao postojanje čestica koje posreduju u interakciji među leptonima tzv. W i Z bozona. Eksperimentalno otkriće ovih bozona dogodilo se 1983. godine, potvrdilo predviđanja Weinberga, Salama i Glashowa te su za nj **Carlo Rubbia** (r. 1934.) i **Simon Van der Meer** (r. 1925.) nagrađeni Nobelovom nagradom za fiziku 1984. godine.

Nakon šezdesetih godina 20. st. prinosima se brojnih timova fizičara razvija tzv. standardni model teorije elementarnih čestica. Jedan je od fundamentalnih aspekata standardnoga modela pretpostavka postojanja tzv. Higgsova bozona.

Sidney Coleman bio je osebujna osoba i legendarni predavač na Sveučilištu Harvard. Jednom je svojim studentima iz kolegija kvantna teorija polja dao otisnuti majice sa svojim likom i uzrečicama koje je često koristio, kao npr. „Ne samo da Bog zna, ja znam, a do kraja semestra znat ćete i vi“.

Standardni model fizike elementarnih čestica predviđa postojanje dviju vrsta temeljnih građevnih struktura materije, odnosno subatomske čestice: kvarkova i leptonova. Model kvarkova su 1964. godine neovisno postavili **Murray Gell-Mann** (r. 1929) i **George Zweig** (r. 1937.), u vremenu kada se je „zoološki vrt“ čestica sastojao od nekoliko leptonova i mnoštva hadrona. Oni su pretpostavili da hadroni nisu elementarne čestice, nego da su složene od različitih kombinacija kvarkova i antikvarkova. Postulirali su tri „okusa“ kvarka i nazvali ih „up“, „down“ i „strange“, te im pridružili svojstva spina i električnoga naboja.

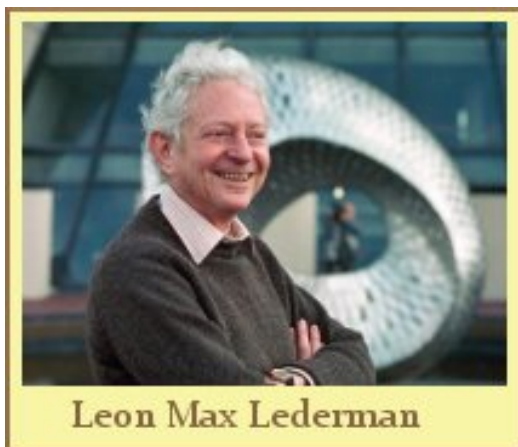


Mnogi su znanstvenici ideju prihvatili s rezervom; jedni su kvarkove shvatili kao apstraktni koncept koji će privremeno poslužiti za objašnjenje drugih koncepata, a drugi su bili uvjereni da su kvarkovi fizički entitet. Ubrzo, **Sheldon Lee Glashow** (r. 1932.) i **James Daniel Bjorken** (r. 1934.) predlažu proširenje Gell-Mann –

Zweigova modela kvarkom četvrtoga „okusa“ nazvanoga „*charm*“. Time dodatno podupiru teoriju, omogućuju bolji opis slabe interakcije (mehanizma kojim se kvarkovi raspadaju), izjednačuju broj kvarkova s brojem poznatih leptona i impliciraju relaciju za masu tako da se korektno reproduciraju mase poznatih mezona (hadroni cjelobrojnoga spina).

Godine 1968. izvedeno je na Stanfordu neelastično sudarno raspršenje koje je pokazalo da proton nije elementarna čestica, već je složen od manjih točkastih objekata. Iako je time dokazana podstruktura hadrona, koju je predviđao model kvarkova, nije još bilo jasno jesu li građevni dijelovi hadrona kvarkovi, pa su nađeni objekti, prema Feynmanovu prijedlogu, nazvani partonima. Kasnije se ustanovilo da partoni odgovaraju kvarkovima „*up*“ i „*down*“. Teorija je poduprta i kasnijim otkrićem kvarka „*strange*“.

Još 1970. godine **Sheldon Glashow**, **John Iliopoulos** (r. 1940.) i **Luciano Maiani** (r. 1941.) iznose uvjerljivije teorijske argumente za do tada još neotkriveni kvark „*charm*“. Prijedlogom je **Makoto Kobayashija** (r. 1944.) i **Toshihide Maskawe** (r. 1940.) broj okusa kvarkova 1973. godine povećan na šest; dva su nova kvarka nazvani „*truth*“ i „*beauty*“, ali su se za njih više uvriježili nazivi „*top*“ i „*bottom*“.



Godine 1974. je otkriće kvarka „*charm*“ doprinijelo je uvjerenju u ispravnost modela kvarkova. Dva su ga tima američkih fizičara otkrili simultano i neovisno u studenome 1974. godine (tzv. „novembarska revolucija“): **Burton Richter** (r. 1931.) i njegovi suradnici u akceleratorskom centru Stanford te **Samuel Chao Chung Ting** (r. 1936.) sa suradnicima u nacionalnom laboratoriju Brookhaven.

Tri godine kasnije, 1977., **Leon Max Lederman** (r. 1922.) i njegov tim u Fermilabuopažaju česticu „*upsilon*“, koja potvrđuje pretpostavku postojanja kvarka „*bottom*“ Kobayashija i Maskawe, a 1995. godine je, također u Fermilabu, otkriven i kvark „*top*“. To je otkriće bilo vrlo važno jer se ovaj kvark pokazao puno masivnijim od očekivanoga. Razlozi njegove velike mase još nisu otkriveni.

Gell-Mann je nazvao kvark po glasanju patke. Dok je razmišljao kako će se pisati riječ, pronašao je riječ „quark“ u knjizi Finneganovo bdijenje Jamesa Joycea:

*Three quarks for Muster Mark!
Sure he has not got much of a bark
And sure any he has it's all beside the mark.*

(James Joyce, Finnegans Wake)

LITERATURA

Dadić, Žarko, ***Povijest ideja i metoda u matematici i fizici***, Školska knjiga, Zagreb, 1992.

Einstein, Albert, ***Moja teorija***, Polaris, Beograd, 1985.

Faj, Zdravko, ***Pregled povijesti fizike***, Sveučilište u Osijeku, Osijek, 1999.

Kalin, Boris, ***Povijest filozofije***, Školska knjiga, Zagreb, 2001.

Russell, Bertrand, ***Mudrost zapada***, Marjan tisak, Split, 2005.

Sagan, Carl, ***Kozmos***, Otokar Keršovani – Rijeka, Opatija, 1983.

Supek, Ivan, ***Teorijska fizika i struktura materije***, Školska knjiga, Zagreb, 1974.

Supek, Ivan, ***Povijest fizike***, Školska knjiga, Zagreb, 1980.

Tauber, Gerald E., ***Einsteinova opća teorija relativnosti***, Globus, Zagreb, 1984.

Vujnović, Vladis, ***Astronomija 1***, Školska knjiga, Zagreb, 1989.

Linkovi

Općenito

Bagdadske baterije

http://en.wikipedia.org/wiki/Baghdad_Battery; 20.02.2009.

Charles Thomson Rees Wilson

http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Thomson_Rees_Wilson; 20.02.2009.

Daniel Bernoulli

http://hr.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli; 20.02.2009.

Einstein

<http://en.wikipedia.org/wiki/Einstein>; 20.02.2009.

Ernst Mach

http://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mach; 20.02.2009.

Erwin Schrodinger

http://hr.wikipedia.org/wiki/Erwin_Schr%C3%B6dinger; 20.02.2009.

Heinrich Hertz

http://hr.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz; 20.02.2009.

Hermann Minkowski

http://en.wikipedia.org/wiki/Hermann_Minkowski; 20.02.2009.

Lobachevsky

<http://en.wikipedia.org/wiki/Lobachevsky>; 20.02.2009.

Machov princip

http://en.wikipedia.org/wiki/Mach%27s_principle; 20.02.2009.

Max Planck

http://hr.wikipedia.org/wiki/Max_Planck; 20.02.2009.

Maxwellove jednadžbe

http://hr.wikipedia.org/wiki/Maxwellove_jednad%C5%BEbe; 20.02.2009.

Niels Bohr

http://hr.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr; 20.02.2009.

Otkrice antimaterije

http://eskola.hfd.hr/fizika_svemira/antimaterija/otkrice.html; 20.02.2009.

Peter Salcher

http://pl.wikipedia.org/wiki/Peter_Salcher; 20.02.2009.

Povijest fizike

http://hr.wikipedia.org/wiki/Povijest_fizike; 20.02.2009.

Riemann

<http://en.wikipedia.org/wiki/Riemann>; 20.02.2009.

Riemannova geometrija

http://en.wikipedia.org/wiki/Riemannian_geometry; 20.02.2009.

Srednjovjekovna Islamska znanost

http://en.wikipedia.org/wiki/Islamic_science; 20.02.2009.

Werner Heisenberg

http://hr.wikipedia.org/wiki/Werner_Heisenberg; 20.02.2009.

Sadržaj

1. Uvod

2. Stari vijek

2.1. Uvod

2.2. Filozofija prirode

2.3. Mehanika i astronomija

2.4. Optika i valovi

2.5. Elektricitet i magnetizam

2.6. Toplina

2.7. Struktura tvari

3. Srednji vijek

3.1. Uvod

3.2. Mehanika i astronomija

3.3. Optika i valovi

3.4. Elektricitet i magnetizam

4. Renesansa

4.1. Uvod

4.2. Filozofija prirode

4.3. Mehanika i astronomija

4.4. Optika i valovi

4.5. Elektricitet i magnetizam

5. Novi vijek

5.1. Uvod

5.2. Filozofija prirode

- 5.3. Mehanika i astronomija
- 5.4. Optika i valovi
- 5.5. Elektricitet i magnetizam
- 5.6. Toplina
- 5.7. Struktura tvari

6. 19. stoljeće

- 6.1. Uvod
- 6.2. Mehanika i opća fizika
- 6.3. Optika
- 6.4. Elektricitet i magnetizam
- 6.5. Toplina i statistička fizika

7. 20./21. stoljeće

- 7.1. Uvod
- 7.2. Teorija relativnosti
- 7.3. Kvantna fizika
- 7.4. Atomska i nuklearna fizika
- 7.5. Kvantna teorija polja i fizika elementarnih čestica

8. Literatura i linkovi

Predstavljanje:

Courseware Povijest fizike predstavljen je na:

IX. Hrvatskom simpoziju o nastavi fizike

Primošten, 16.-18. travnja 2009.



U okviru Erasmus programa mobilnosti
Fakultet matematike i fizike, Sveučilište u Ljubljani, 5-8. svibnja 2009.

Društvo matematičara i fizičara Rijeka

Rijeka, 4. lipnja 2009.

Multimedia in Physics Teaching and Learning

Udine, 23.-25. rujna 2009

http://ahyco.ffri.hr/povijestfizike/stari_filozofija.htm



Umreženost

Poveznica na Courseware Povijest fizike uvrštena je na mrežne stranice:

[e-škole fizike HFD](#)

[Carnetov portal za škole](#)

[Wikipedia na hrvatskom jeziku - Povijest fizike](#) (u izradi)