

Izdavač
Školska knjiga, d.d.
Zagreb, Masarykova 28

Za izdavača
Ante Žužul, prof.

Urednica
Jelena Lončarić

Recenzenti
prof. dr. sc. Dubravko Horvat
dr. sc. Zvonimir Jakobović
akademik Stanko Popović

Jezična recenzentica
dr. sc. Milica Mihaljević

Stručna savjetnica
Branimira Valić

Tehnički crtači
Božica Boban
Jelena Lončarić

Dizajn naslovnice
Tena Rebemjak

© ŠKOLSKA KNJIGA, d.d., Zagreb, 2009.
Nijedan dio ove knjige ne smije se umnožavati,
fotokopirati ni na bilo koji način reproducirati
bez nakladničkova pismenog dopuštenja.

je toplina potrebna za zagrijavanje neke tvari razmjerna broju molekula, a ne masi tvari, te stoga povezuje mikroskopsku strukturu s makroskopskim svojstvima tvari.

duljina [length], osnovna veličina Međunarodnoga sustava jedinica SI, kojom se opisuje prostorna udaljenost dviju točaka, pomak ili prijedeni put, jedinica metar (m)

dvoatomni plinovi [diatomic gases], plinovi čije se molekule sastoje od dvaju atoma, primjerice O_2 , N_2 ili CO

dvojna priroda čestica [dual nature of particles], svojstvo čestice da, uz čestičnu, istodobno ima i valnu prirodu. Valna je duljina čestice $\lambda = h/p$, gdje je p količina gibanja (zalet) čestice, a h Planckova konstanta (\rightarrow de Broglieva relacija). Pretpostavku o dvojnoj prirodi čestica u fiziku je 1924. uveo Louis de Broglie. Za svakodnevne predmete valna je duljina ekstremno mala i nezamjetljiva, međutim valnu prirodu elektrona u cijelosti su potvrdili polusni difrakcije elektronskoga snopa u kristalu (\rightarrow Davisson-Germerov eksperiment), nakon čega je uslijedio brzi razvitak \rightarrow valne mehanike i \rightarrow kvantne fizike.

dvojna priroda svjetlosti [dual nature of light], svojstvo svjetlosti da istodobno ima i valnu i čestičnu prirodu. Pretpostavku o čestičnoj prirodi svjetlosti predložio je A. Einstein 1905. u svojem objašnjenju \rightarrow fotoelektričnoga učinka i time je, zajedno s Planckom, de Broglieom i ostalima, otvorio put razvoju \rightarrow kvantne fizike. Elektromagnetsko se zračenje može shvatiti kao snop čestica, fotona – kvantata svjetlosti. Svaki foton nosi energiju $E = h\nu$, pri čemu je h Planckova konstanta, a ν frekvencija elektromagnetskoga zračenja. Poput ostalih čestica, foton ima i količinu gibanja (zalet) $p = E/c$, koja je s valnom duljinom λ elektromagnetskoga zračenja u vakuumu povezana izrazom $p = h/\lambda$. Ta

je pretpostavka u skladu i sa \rightarrow specijalnom teorijom relativnosti, prema kojoj je foton čestica bez mase, dakle i bez \rightarrow energije mirovanja, te ima samo kinetičku energiju. Za razliku od fotona koji se gibaju brzinom svjetlosti c , čestice koje imaju masu m različitu od nule ne mogu se ubrzati do brzine svjetlosti jer bi im za to trebala beskonačna količina energije. Pretpostavku o svjetlosti kao roju čestica zastupao je i I. Newton još u 17. stoljeću, no poslije je prevladala valna teorija svjetlosti za koju je bilo mnogo eksperimentalnih dokaza.

dvolom [double refraction, birefringence], svojstvo nekih kristala da pri lomu svjetlosti u njima umjesto jedne nastaju dvije lomljene zrake. Obje su polarizirane, a njihove ravnine polarizacije međusobno zatvaraju pravi kut. Samo se jedna, redovna zraka lomi pod kutom određenim \rightarrow Snellovim zakonom loma, dok se druga lomi pod drukčijim kutom i naziva se izvanrednom zrakom. Kristali koji imaju to svojstvo, kao što su kalcit i kvarc, nazivaju se dvolomcima ili dikroičnim kristalima.



Dvolom

džul (J) [joule], izvedena jedinica za energiju i rad u Međunarodnom sustavu SI

efektivna vrijednost izmjenične struje [root mean square - rms - value of the AC current], prosječna vrijednost → izmjenične električne struje sinusnoga oblika, povezana s amplitudom struje I_m izrazom $I = I_m / \sqrt{2}$, jedinica amper (A)

efektivna vrijednost izmjeničnoga napona [root mean square - rms - value of the AC voltage], prosječna vrijednost → izmjeničnoga električnoga napona sinusnoga oblika, povezana s amplitudom napona U_m izrazom $U = U_m / \sqrt{2}$. Za gradsku je mrežu $U = 220$ V i $U_m = 311$ V.

egzotermne reakcije [exothermic reactions], reakcije (kemijske, nuklearne i dr.) u kojima se iz nekoga sustava okolini predaje energija

Einstein, Albert (1879 – 1955), prema mišljenju mnogih, najveći fizičar svih vremena. Rođen u Njemačkoj, studirao i radio u Švicarskoj, a kasnije ponovno u Njemačkoj te potom u Americi. Godine 1905. objavio je pet čuvenih radova o fotoelektričnom učinku, Brownovu gibanju, statističkoj fizici, specijalnoj teoriji relativnosti i energiji mirovanja, koji su iz korijena promijenili razvitak znanosti i tijek povijesti. Godine 1916. objavio je opću teoriju relativnosti, a i nakon toga je nastavio objavljivati važne radove s područja



Albert
Einstein

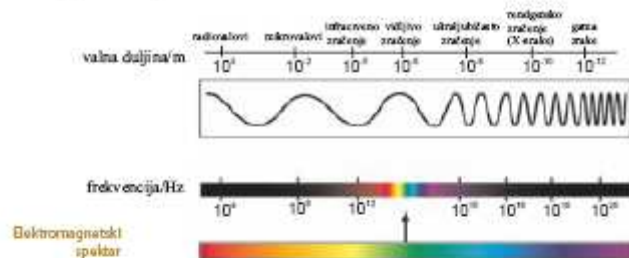
kvantne fizike, statističke fizike i astrofizike. Njegova otkrića čine temelj razvitka kvantne fizike, lasera, teorije kaosa i današnje astrofizike i kozmologije.

ekscentricitet [eccentricity], bezdimenzijska veličina koja opisuje izduženost elipse, $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$, gdje je a velika, a b mala poluos elipse. Kružnica ima ekscentricitet $e = 0$, a što je elipsa izduženija, to je ekscentricitet bliži najvećoj mogućoj vrijednosti $e = 1$. U Sunčevu sustavu staze većine planeta imaju vrlo mali ekscentricitet (→ tablica 7. *Planeti*). Ekscentricitet je staze → Halleyeva kometa $e = 0,96$, a velika je poluos 3,6 puta veća od male. Katkad se uvodi linearni ekscentricitet $e = e/a$ jednak udaljenosti od središta do žarišta elipse.

ekspanzija [expansion], širenje, povećanje volumena neke tvari, posebno plina pri nekom termodinamičkom procesu

eksperiment [experiment], pokus, proces kontroliranoga opažanja i mjerenja pojava, često uz upotrebu posebnih instrumenata. Jedan od glavnih načina kojima se u fizici i ostalim prirodnim znanostima dobivaju kvantitativni podaci o fizikalnim pojavama te testiraju teorijske hipoteze ili zaključci o uzrocima opaženih fenomena i njihovoj povezanosti. Da bi imao znanstvenu vrijednost, eksperiment mora, pod istim uvjetima, biti ponovljiv (reproducibilan) u raznim laboratorijima.

ekvipotencijalna ploha [equipotential surface], u električnom polju, zamišljena ploha na kojoj električni potencijal u svim točkama ima jednaku vrijednost. Ekvipotencijalna je ploha u svakoj svojoj točki okomita na



ke za toplinske pojave. Nakon J. C. Maxwella, H. Lorentz i H. Hertz načinili su važne korake u teorijskom i eksperimentalnom razvoju elektromagnetizma, na kojima se temeljilo i Einsteinovo otkriće → specijalne teorije relativnosti.

elektromagnetska indukcija [electromagnetic induction], pojava u kojoj se na krajevima vodiča u promjenjivom magnetskom polju inducira → elektromotorni napon. Otkrili su je (neovisno jedan o drugome) Michael Faraday i Joseph Henry. Kao jedan od osnovnih četiriju zakona elektromagnetizma izraženih → Maxwellovim jednadžbama, načelo je na kojem se temelji rad rotirajućega elektromagnetskoga polja, električnih generatora, transformatora i motora. Također je uzrok samo-indukcije i nastanka induktivnoga otpora u krugovima izmjenične struje (→ Faradayev zakon elektromagnetske indukcije).

elektromagnetski [electromagnetic], koji se odnosi na polja, sile i druge pojave prouzročene gibanjem električnih naboja i promjenama → električnih i → magnetskih polja, opisane u okviru teorije → elektromagnetizma (→ Maxwellove jednadžbe)

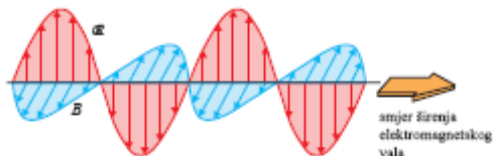
elektromagnetski spektar [electromagnetic spectrum], kontinuirani niz valnih duljina λ odnosno frekvencija $\nu = c/\lambda$ → elektromagnetskih valova, koji se proteže od radijskih frekvencija 10^7 Hz i valnih duljina u vakuumu 10^7 m, do gama-zračenja s frekvencijama 10^{22} Hz i valnim duljinama oko 10^{-14} m.

Prema tipovima izvora i ponašanju pri međudjelovanju s tvari, dijeli se na područja: → radiovalovi, → mikrovalovi, → infracrveno zračenje, → vidljiva svjetlost, → ultraljubičasto zračenje, → rendgensko zračenje i → gama-zračenje. Područja spektra nemaju otkrte granice te se djelomično prekrivaju.

elektromagnetski titraj, → električni titrajni krug

elektromagnetski val [electromagnetic wave], periodički promjenjivo elektromagnetsko polje koje nastaje kao posljedica periodičnoga titranja električnoga naboja, posebno rješenje → Maxwellovih jednadžbi elektromagnetizma. Elektromagnetski val prenosi energiju u obliku → elektromagnetskoga zračenja (→ elektromagnetski spektar, → Poyntingov vektor). Brzina elektromagnetskoga vala u vakuumu je → brzina svjetlosti $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s, dok je u sredstvu manja i ovisi o relativnoj električnoj permitivnosti ϵ_r i relativnoj magnetskoj permeabilnosti μ_r kao $v = c/\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$. Frekvencija ν i valna duljina λ u vakuumu povezane su izrazom $\lambda = c/\nu$, a u sredstvu $\lambda = v/\nu$ (→ indeks loma). Val se sastoji od električnoga polja \mathcal{E} s amplitudom \mathcal{E}_0 i gustoće magnetskoga toka \mathcal{H} s amplitudom $\mathcal{H}_0 = \mathcal{E}_0/c$. U putujućem valu električno i magnetsko polje titraju u fazi, u međusobno okomitim ravninama, okomito na smjer širenja vala, po zakonu $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin[\omega(t - x/v)]$ i $\mathcal{H} = \mathcal{H}_0 \sin[\omega(t - x/v)]$. U ograničenom prostoru, primjerice u laser-

Električno i magnetsko polje u elektromagnetskom valu



skom rezonatoru, dolazi do interferencije upadnoga i reflektiranoga vala, pri čemu nastaje stojni elektromagnetski val.

elektromagnetsko zračenje [electromagnetic radiation], prijenos energije → elektromagnetskim valovima kroz prostor. Sastoji se od raznih vrsta zračenja, okarakteriziranih frekvencijom ν i valnom duljinom λ , za koje vrijedi $\lambda\nu = c$, pri čemu je c brzina širenja elektromagnetskoga vala u vakuumu (→ brzina svjetlosti). Elektromagnetskim zračenjem obuhvaćeni su → radiovalovi, → mikrovalno zračenje, → infracrveno zračenje, → vidljiva svjetlost, → ultraljubičasto zračenje, → rendgensko zračenje te → gama-zračenje (→ elektromagnetski spektar). Razlike među pojedinih vrstama zračenja postaju vidljive pri djelovanju zračenja na tvar, na čemu se temelje spektroskopske metode za istraživanje svojstava tvari te primjena zračenja u prirodnim znanostima, komunikacijskim tehnologijama, industriji i medicini. Međudjelovanje zračenja i tvari podvrgnuto je zakonitostima kvantne fizike, pri čemu ključnu ulogu imaju kvanti zračenja → fotoni, čestice bez mase, čija je energija jednaka umnošku frekvencije zračenja s Planckovom konstantom: $E = h\nu$.

elektromotor, → električni motor

elektromotorna sila [electromotive force, EMF], elektromotorni napon, jedinica volt (V). Unutarnji napon električnoga izvora, ukupna potencijalna energija koju → galvanški članak ili koji drugi izvor električne energije daje jediničnom naboju. Ako izvorom ne teče struja, elektromotorna je sila \mathcal{E} jednaka naponu U_{AB} između krajeva izvora A i B. Ako je izvor s unutarnjim otporom R_0 dio zatvorenoga strujnoga kruga kojim teče struja I ,

onda je napon između krajeva izvora manji i iznosi $U_{AB} = \mathcal{E} - R_0 I$. Elektromotorna sila definirana je kao linijski integral neelektrostatškoga polja izvora uzduž proizvoljne krivulje između krajeva izvora B i A $\mathcal{E} = \int_B^A \mathbf{E}_{ne} \cdot d\mathbf{l}$.

Iako je riječ o naponu, veličini koja se iskazuje mjernom jedinicom volt (V), naziv sila zadržao se iz povijesnih razloga.

elektromotorni napon [electromotive force, EMF], → električni napon, → elektromotorna sila

elektron [electron], elementarna čestica, → lepton mase $m_e = 9,109\,382\,15 \cdot 10^{-31}$ kg = $0,5110$ MeV/ c^2 i negativnoga elementarnoga električnoga naboja $-e = -1,602\,176\,487 \cdot 10^{-19}$ C. Ima spin $1/2$ te pripada među fermione. Elektron je sastavni dio atoma, a smješten je u vanjskom dijelu atoma, tzv. elektronskom omotaču. Otkrio ga je J. J. Thomson 1897. eksperimentirajući s katodnim zrakama. Elektroni su nosioci električne struje (i topline) u metalnim vodičima. Istraživanje kvantnomehaničkih stanja elektrona ima važnu ulogu u fizici čvrstoga stanja, atomskoj fizici, spektroskopiji i kvantnoj kemiji.

elektronska difrakcija [electron diffraction], eksperiment u kojem se snop elektrona ogiba u kristalu i koji potvrđuje pretpostavku o valnoj prirodi materije. Dobivene difrakcijske (ogibne) slike ovise o vrsti atoma u kristalu i njihovom prostornom rasporedu, a slične su slikama koje se dobivaju difrakcijom elektromagnetskoga rendgenskoga zračenja u kristalima. Difrakcija elektrona u tankom sloju kristala raznih tvari omogućuje otkrivanje njihove molekulske i kristalne strukture, a temelj je → elektronskoga mikroskopa.

zavojnici iznosi $E_m = B^2 V / (2\mu)$, pri čemu je V volumen zavojnice, a μ magnetska permeabilnost feromagnetične jezgre u zavojnici. Gustoća je magnetske energije u zavojnici $w_m = E_m / V = B^2 / (2\mu)$, ali isti izraz općenito opisuje gustoću magnetske energije na nekom mjestu u prostoru za bilo koje stalno ili promjenljivo magnetsko polje gustoće magnetskoga toka B .

energija mirovanja [rest energy], energija $E_0 = mc^2$, pri čemu je m masa, a c brzina svjetlosti u vakuumu. Tu energiju, protumačenu u okviru → specijalne teorije relativnosti, posjeduje svako tijelo samim time što ima masu. Može se osloboditi u procesima raspada ili spajanja dijelova tvari, kao što su kemijske ili nuklearne reakcije, a posebno se velike količine energije mirovanja oslobađaju pri nuklearnoj fisiji i fuziji. Pri klasičnim procesima ostaje nepromijenjena pa se njezino postojanje gotovo ne primjećuje.

energija rotacije [rotational energy], → kinetička energija rotacije

energija satelita i planeta [energy in planetary and satellite motion], ukupna energija satelita ili planeta mase m , koji se oko središnjega tijela mase M (Zemlje, odnosno Sunca) giba po kružnoj ili eliptičnoj stazi (→ Keplerovi zakoni). Jednaka je zbroju kinetičke i gravitacijske potencijalne energije, $E = (1/2)mv^2 - GmM/r$, gdje je v brzina gibanja, r udaljenost središta dvaju tijela, a G gravitacijska konstanta.

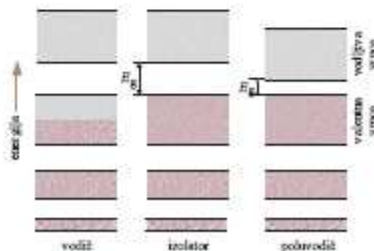
energija vezanja [binding energy], → nuklearna energija vezanja

energjske ljuske [energy shells], u atomskoj i nuklearnoj fizici, skupine bliskih atomskih ili nuklearnih energjskih razina (podljusaka) koje su od sličnih susjednih skupina razdvojene znatnim energjskim procjepom. Takve se energjske razine mogu objasniti pretpostavkom da su pojedinačne čestice (elektroni u atomu ili nukleoni u jezgri) međusobno neovisne ili da slabo uzajamno djeluju. U oba slučaja riječ je o fermionima, česticama koje

se pokoravaju → Paulijevu načelu isključenja. Svaka energjska razina može primiti ograničen broj čestica. Kad je ljuska popunjena, javlja se skok u prosječnoj energiji vezanja po čestici, pa tako nastaju zatvorene stabilne cjeline s brojevima čestica koji se nazivaju magični brojevi. Za atome su elektronski magični brojevi 2, 8, 18, 36, 54 i 86, što odgovara zatvorenim ljuskama plemenitih plinova, a magični brojevi nukleona (zasebno protona ili neutrona) za jezgre su 2, 8, 20, 28, 50, 82 i 126. Posebno su stabilne tzv. dvostruko magične jezgre, primjerice ^{16}O , ^{48}Ca ili ^{208}Pb . U pravilu su ljuske obilježene glavnim kvantnim brojem n , dok struktura podljusaka određuju drugi kvantni brojevi (primjerice orbitalni kvantni broj l).

energjske razine atoma [atomic energy levels], → Bohrov model vodikova atoma, → Frank-Hertzov eksperiment, → kvantna fizika, → Schrödingerova jednačica

energjske vrpce [energy bands], u vodičima, poluvodičima i izolatorima, skupine sastavljene od kontinuiranoga niza kvantnomehaničkih elektronskih energjskih stanja, koja elektroni postupno popunjavaju. Stupanj te popunjenosti i razmak između dviju susjednih vrpca bitno utječu na električna svojstva i električnu vodljivost materijala. Najviše popunjena vrpca naziva se valentnom vrpcom, dok je iznad nje vodljiva vrpca. Kod poluvodiča, na najnižim temperaturama valentna je



Energjske vrpce u vodiču, izolatoru i poluvodiču

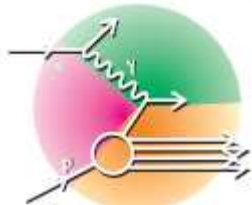
polja. Sve se više upotrebljavaju i bipolarni tranzistori poznati kao MOSFET (kratica za Metal Oxid Semiconductor FET). Za razliku od unipolarnoga FET-a, koji radi samo s jednom vrstom nosilaca naboja, kod bipolarnih tranzistora nosioci su i elektroni i šupljine. Za MOSFET je karakteristično da je ulazna ili upravljačka elektroda (gate) izolirana, što daje visoke ulazne otpore, a ovisnost o temperaturi je mala.

Feynman, Richard Phillips (1918 – 1988), američki teorijski fizičar, zaslužan za važna otkrića u području kvantne elektrodinamike, poznat po zornom grafičkom prikazivanju procesa među subatomske čestice (→ Feynmanov dijagram). Sjajan predavač i popularizator, u širokoj je znanstvenoj javnosti prihvaćen kao jedna od kulturnih osoba 20. stoljeća.



Richard Phillips Feynman

Feynmanov dijagram [Feynman diagram], grafički prikaz procesa koji doprinose pojedinih članovima u → računu smetnje u



Feynmanov dijagram

kvantnoj elektrodinamici i srodnim teorijama. Ravnim, valovitim ili isprekidanim crtama prikazuju se čestice i njihova međudjelovanja.

fiberska optika [fibre optics], grana optike koja se bavi istraživanjem i primjenom → optičkih vlakana

Fickov zakon difuzije [Fick's law of diffusion], zakon kojim se podvrgavaju procesi → difuzije u plinovima i otopinama. Tvrdi da je difuzni tok tvari J_z u smjeru s razmjerni gradijentu koncentracije c u tom smjeru: $J_z = -D(dc/dz)$, pri čemu je D koeficijent difuzije.

fiktivna sila, → inercijska sila

fizijska uranija-235, → nuklearna fisija

fizičar [physicist], osoba koja se profesionalno bavi znanstvenim istraživanjem, primjenom, razvojem ili nastavnim radom u području → fizike. Formalno školovanje fizičara znanstvenika u Europi se odvija putem višegodišnjih diplomskih studija na sveučilišnim prirodoslovnim fakultetima te na posljediplomskim studijima, na kojima se stječe stupanj doktora znanosti iz fizike. Prema sredstvima i metodama znanstvenoga istraživanja uobičajena je podjela fizičara na eksperimentalne i teorijske, iako je i u starijoj i u novijoj povijesti fizike bilo iznimnih znanstvenika s vrhunskim dometima u oba područja (primjer je E. Fermi). Sveučilišni studiji, uz znanstvenike, školuju i profesore (učitelje) fizike. Njihova je uloga iznimno važna, ne samo za nastavu, već i za promicanje znanstvenih spoznaja i znanstvenoga načina razmišljanja u širem društvenom kontekstu.

fizičko njihalo, → fizikalno njihalo

fizika [physics], egzaktna prirodna znanost koja se bavi istraživanjem materije i njezinih dijelova te njihovim gibanjima i međudjelovanjima. Oslanja se na eksperimente i empirijska otkrića, a povijesno je utemeljena još u starom vijeku pokusima Pitagore i Arhimeda. U današnjem se smislu razvija tek od 16. stoljeća, zahvaljujući djelima Williama Gilber-

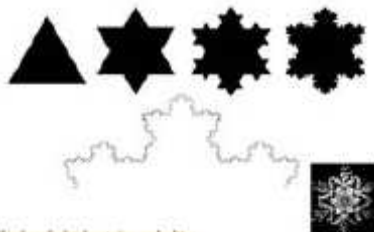
polu ravniha njihanja napravila puni okret za 24 sata, dok je na geografskoj širini ϕ za puni okret potrebno vrijeme $T = 24 \text{ h}/\sin \phi$. Foucault je svoj povijesni pokus izveo u Panthéonu u Parizu s kuglom mase približno 28 kg obješenom na tanku čeličnu nit duljine 67 metara. Danas se razne inačice Foucaultova njihala mogu vidjeti u brojnim muzejima znanosti i tehnike širom svijeta, kao i u predvorjima mnogih sveučilišnih zgrada.

Fourier, Joseph (1768 – 1830), francuski matematičar, poznat po istraživanju toplinske vodljivosti i matematičkoj metodi analize kojom se složena periodična titranja rastavljaju na sinusne komponente

Fourierov zakon toplinske vodljivosti [Fourier law of thermal conductivity], pri vođenju topline uzduž nekoga tijela, primjerice štapa, ovisnost prenesene topline Q o vremenu t , temperaturnoj razlici ΔT i debljini sloja tvari Δx , koja glasi $Q = -\lambda S t (\Delta T / \Delta x)$. Prenesena se toplina može izraziti i s pomoću \rightarrow toplinskoga otpora $R = \Delta x / (\lambda S)$. Pritom je S dodirna površina, a λ toplinska vodljivost (koeficijent toplinske vodljivosti), veličina karakteristična za pojedinu tvar, a tvari s velikim λ dobri su toplinski vodiči. Karakteristično je da su metali istodobno dobri vodiči i topline i elektriciteta jer u njima energiju prenose slobodni elektroni.

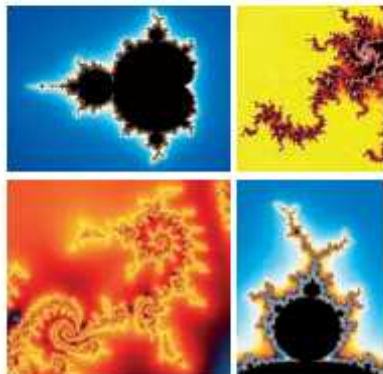
Fourierova analiza [Fourier analysis], matematička metoda kojom se bilo koje periodično titranje može protumačiti kao zbroj (superpozicija) regularnih harmonijskih (sinusnih) titranja različitih frekvencija. Primjer je titranje žice glazbenoga instrumenta koje, osim osnovnoga tona, u sebi sadrži i \rightarrow više harmonike. Svaki viši harmonik može biti drukčijega intenziteta, što određuje boju tona i omogućuje prepoznavanje karakterističnoga zvuka glazbenoga instrumenta.

fraktal [fractal], geometrijski objekt s necjelobrojnom dimenzijom. Sastoji se od skupa točaka koje samo djelomično ispunjavaju pravac, ravninu ili prostor. Matematički fraktali najčešće nastaju ponavljanjem (ite-



Kochov fraktal sa žutna pahuljica

racijom) nekoga zadanoga postupka u nedogled. Neki su primjeri takvih fraktala i njihovih dimenzija Cantorov skup ($d = 0,631$), Kochova krivulja ($d = 1,262$), Mengerova spužva ($d = 2,727$) i \rightarrow Mandelbrotov skup. Važno svojstvo fraktala je samosličnost: slike i oblici karakteristični za fraktal pojavljuju se ponovno nakon svakoga daljnjega povećanja. Fraktali se pojavljuju i u prirodi, pa se fraktalna struktura uočava u oblicima i građi lišća, drveća, oblaka, strukturi morske obalne crte, krvnih žila i koštane srži. Pojava fraktala povezuje se s \rightarrow teorijom kaosa jer kaotični \rightarrow atraktori često imaju fraktalnu strukturu.



Samosličnost Mandelbrotova fraktala

Zbroj vektora ima ishodište u zajedničkoj ishodišnoj točki paralelograma i podudara se s dijagonalom paralelograma. U drugoj metodi vektori se nadovezuju jedan na drugi, a zbroj je vektor koji spaja početnu točku prvoga vektora s vrhom zadnjega vektora. Oba načina daju jednak rezultat. Oduzimanje vektora identično je zbrajanju s vektorom istoga iznosa, ali suprotnoga smjera.

granica elastičnosti [elastic limit], najveće → naprezanje pri kojem još uvijek vrijedi linearni → Hookeov zakon elastičnosti

granična brzina tijela u slobodnom padu [terminal speed of falling body], stalna brzina koju, nakon prijelaznoga razdoblja, postiže tijelo mase m koje slobodno pada kroz sredstvo s otporom. Iznosi $v_g = mg/b$, a dobiva se izjednačavanjem iznosa sile otpora sredstva $F_{ot} = -bv$ proporcionalne brzini gibanja v , i težine tijela mg (→ Stokesov zakon).

granična frekvencija [threshold frequency, cutoff frequency], kod → fotoelektričnoga učinka, frekvencija ν_g karakteristična za određeni metal, ispod koje je nemoguće postići emisiju fotoelektrona, bez obzira na intenzitet upadnoga zračenja

granični kut totalne refleksije, → totalna refleksija

granularni materijal [granular material], zrnata tvar, nakupina odvojenih čvrstih makroskopskih čestica, veličine 1 μm ili većih. Ovisno o veličini zrnaca, ti se materijali mogu ponašati poput čvrstih tvari, tekućina ili plinova. Primjeri su zrnatih materijala razni prašci, brašno, riža, umjetno gnojivo, ugljen, žitarice, pa sve do ledenih gromada pri otapanju rijeka. Glavna im je značajka veliko uzajamno trenje, koje je proučavao još C. de Coulomb krajem 18. stoljeća. Ponašanja i svojstva zrnatih materijala važna su za industrijske primjene u kemijskoj, farmaceutskoj, prehrambenoj i građevinskoj industriji.

gravitacija [gravitation], jedno od četiriju temeljnih međudjelovanja u prirodi. Prema općem Newtonovu zakonu gravitacije, bi-

lo koje dvije čestice masa m_1 i m_2 uzajamno se privlače silom koja je razmjerna masama, a obrnuto razmjerna kvadratu njihove uzajamne udaljenosti r . Ta sila ima iznos $F = Gm_1m_2/r^2$, a usmjerena je od jednoga tijela prema drugome. Takav oblik sile vrijedi i za dva kuglasto simetrična tijela, pri čemu je r udaljenost njihovih središta, bez obzira na njihove polunijere r_1 i r_2 , pa čak i ako se dodiruju ($r_1 + r_2 = r$). Gravitacijska je sila znatna samo za objekte velikih masa. Odgovorna je za slobodni pad tijela na površini Zemlje, za orbitalna gibanja Mjeseca, satelita i planeta, kao i za gibanje i oblik galaktika i drugih svemirskih objekata. Gravitacijsku konstantu $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ prvi je izmjerio Lord Cavendish 1798. godine s pomoću osjetljive torzijske vage. Time je ujedno prvi put određena i masa Zemlje (govorilo se da je Cavendish „izvagaio Zemlju“). Gravitacijska sila, iako daleko najslabija od svih temeljnih sila, dolazi do izražaja u svemiru, gdje tijela (zvijezde, planeti, kometi, asteroidi) imaju znatnu masu, a nemaju električni naboj. U → općoj teoriji relativnosti postojanje gravitacijske sile objašnjava se geometrijom prostora, čija se zakrivljenost mijenja u blizini tijela s velikom masom. Na taj se način inercijske sile u ubrzanim sustavima izjednačuju s djelovanjem gravitacije. U klasičnoj mehanici to se očituje kao jednakost težke i tromе → mase.

gravitacijska konstanta [gravitational constant], konstanta G u općem zakonu → gravitacije. Prvi ju je izmjerio H. Cavendish 1798. uz pomoć precizne torzijske vage. I suvremena se mjerenja gravitacijske konstante temelje na istoj metodi, pa iako znatno preciznija, još uvijek ne omogućuju točnost sličnu onoj kojom je, primjerice, izmjerena brzina svjetlosti. Današnja izmjerena vrijednost točno je poznata tek na pet decimalnih mjesta te iznosi $G = 6,674 \cdot 28 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.

gravitacijska potencijalna energija [gravitational potential energy], → potencijalna energija koju ima tijelo mase m zbog djelovanja gravitacijske sile. U blizini Zemljine površine, gdje se gravitacijska akceleraci-

Idealni fluid [ideal fluid], tekućina u kojoj su viskoznost, površinska napetost, kapilarnost i ostale posljedice međumolekulskih sila zanemarive

Idealni plin [ideal gas], idealizirano stanje u kojem je plin predložen kao mnoštvo identičnih čestica (atoma ili molekula) koje se nesredeno gibaju u svim mogućim smjerovima, a smjer gibanja mijenjaju elastičnim sudarima s drugim molekulama ili sa stijenkama posude. Osim za vrijeme kratkotrajnih sudara, među molekulama nema uzajamnoga djelovanja, tako da se njihova potencijalna energija može zanemariti. Iz tih mikroskopskih pretpostavki, kojima se bavi → kinetička teorija plinova, mogu se izvesti zakoni za idealni plin (→jednadžba stanja idealnoga plina, →plinski zakoni), koji u dobrom približenju opisuju i ponašanje →realnih plinova male gustoće.

Idealno crno tijelo [blackbody], crno tijelo, zamišljeno tijelo koje potpuno apsorbira sveukupno elektromagnetsko zračenje koje na njega pada, bez obzira na valnu duljinu. Najboljom aproksimacijom idealnoga crnoga tijela smatra se mali otvor na izotermnoj šupljini čiji su zidovi na temperaturi T , dok većina stvarnih predmeta više ili manje odstupa od tih idealnih svojstava. →Faktor apsorpcije za takvo je tijelo jednak jedinici za sve valne duljine λ i temperature T : $\alpha(\lambda, T) = 1$, a prema →Kirchhoffovu zakonu zračenja, u usporedbi sa svim drugim tijelima iste temperature, takvo tijelo u okolinu i emitira najviše zračenja. Izmjereni intenzitet toplinskoga zračenja idealnoga crnoga tijela ima karakterističnu ovisnost o valnoj duljini i temperaturi, koju je 1900. objasnio M. Planck



Otvor šupljine kao idealno crno tijelo

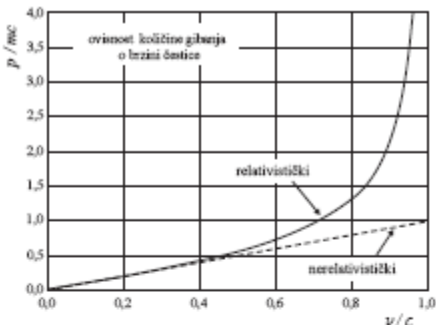
pretpostavkom da se energija ne prenosi kontinuirano, već skokovito, kvantima energije (→Planckov zakon zračenja).

fluminancija, →osvjetljenje

Impedancija [impedance], općenito, konstantna veličina karakteristična za neki trajni sustav, omjer dviju veličina (od kojih je jedna uzrok, a druga posljedica) koje se mijenjaju sinusno s istom frekvencijom ω (→ električna impedancija)

Implozija [implosion], deformacijsko uvlačenje stijenki posude s plinom prema unutra, nastalo najčešće kao posljedica nastanka vakuuma ili nagloga pada tlaka plina u posudi

Impuls [impulse], a) za stalnu silu, umnožak sile i vremena tijekom kojega je djelovala sila: $I = F\Delta t$; jedinica N s. Naziva se još i impuls sile. Prema →drugom Newtonovu zakonu, impuls je uzrok, a promjena količine gibanja (zaleta) posljedica (→pouchak o impulsu i količini gibanja). Dakle, impuls prouzrokuje promjenu →količine gibanja (zaleta) tijela: $I = \Delta p$. Za promjenjivu silu $F(t)$ i konačan vremenski interval između t_1 i t_2 , impuls je dan integralom: $I = \int_{t_1}^{t_2} F dt$. Neki autori koli-



Relativistička
količina gibanja

promatranjem dviju zraka koje su nastale od istoga izvora nakon što su prešle različite optičke putove (\rightarrow klin, \rightarrow boje tankih listića, \rightarrow Newtonovi kolobari, Fresnelova dvostruka prizma). Posebno visok stupanj koherentnosti pokazuju laserski izvori svjetlosti (\rightarrow laser). Svjetlost iz koherentnih izvora proužročuje pojavu interferencije, pri čemu nastali svjetlosni stojni val na zastoru stvara interferentne pruge i druge uzorke koji se ne mijenjaju tijekom vremena.

kohezija [cohesion], privlačna sila između molekula u nekoj tvari koja drži čestice te tvari na okupu. Sila je elektromagnetskoga podrijetla, a primjer je površinska napetost u tekućini.

kolapsar [collapsing star], u astronomiji, zvijezda koja potroši svoje nuklearno gorivo i počne se urušavati. Pritom joj se polumjer drastično smanji, a zbog zakona očuvanja kutne količine gibanja (zamaha) kutna joj se brzina poveća za faktor reda veličine 10^6 . To se zbiva stoga što se moment tromosti naglo smanji. Konačna je kutna brzina $\omega_2 = \omega_1(r_1/r_2)^2$, gdje su r_1 i r_2 početni i konačni polumjer zvijezde, a ω_1 početna kutna brzina vrtnje.

kollektivni modeli [collective model], \rightarrow nuklearni modeli (primjerice \rightarrow model kapljice), u kojima se atomska jezgra promatra kao cjelina te se ne vodi računa o pojedinačnim nukleonima u jezgri ni o njihovim zasebnim

stanjima i energijama. Suprotnost kolektivnom modelu je \rightarrow model ljusaka. Pokazuje se, međutim, da se u nekim jezgrama javljaju i kolektivna i pojedinačna čestična pobuđenja te da uzajamno utječu jedna na druge i daju vrlo složene oblike nuklearnoga ponašanja.

količina gibanja [momentum], zalet, umnožak mase i brzine čestice $p = mv$, jedinica kg m s^{-1} . Za sustav sastavljen od više čestica ukupna je količina gibanja vektorski zbroj \rightarrow količina gibanja (zaleta) pojedinih čestica. U zatvorenom (izoliranom) sustavu ukupna je količina gibanja očuvana: $p = \Sigma p_i = \text{konst}$. Prema \rightarrow drugom Newtonovu zakonu, omjer promjene količine gibanja i vremena jednak je ukupnoj sili koja djeluje na česticu: $F = dp/dt$. Taj oblik drugoga Newtonova zakona vrijedi i u \rightarrow relativističkoj fizici, gdje su brzine bliže brzini svjetlosti, a količina gibanja iznosi $p = mv / \sqrt{1 - (v/c)^2}$. Povijesno, naziv količina gibanja potječe od latinskog *quantitas motus* i engleskog *quantity of motion*, izraza kojima se služio Isaac Newton u 17. stoljeću. Nešto kasnije u engleskim je tekstovima zamijenjen izrazom *momentum*, što dolazi od iskrivljene latinske riječi za gibanje *movimentum*. U francuskom jeziku također se naziva *quantité de mouvement*. Neki autori *momentum* prevode kao impuls, što se ne preporučuje, jer se tako naziva druga fizikalna veličina (\rightarrow impuls, \rightarrow impuls sile).

gibanjem električnih naboja koje im je uzrok (→elektromagnetizam)

magneta igla [magnetic needle], magnetska igla, mali izduženi permanentni magnet oblika plosnatoga romba, s označenim polovima, učvršćen u težištu. U magnetskom polju usmjerava se uzduž silnica te pokazuje smjer polja. Primjer je →magnetskoga dipola i važan dio →kompasa.

magnetni [magnetic], koji se odnosi na →permanentni magnet, feromagnetični predmet u obliku štapa, potkove, igle, pločice ili slično, koji privlači predmete načinjene od željeza i drugih feromagnetičnih tvari (→magnetski)

magneton [magneton], veličina s pomoću koje se iskazuju atomski, molekularni ili nuklearni →magnetski momenti, jedinica $A m^2$ ili $J T^{-1}$. →Bohrov magneton jednak je magnetskom momentu elektrona u atomu i iznosi $\mu_B = e\hbar/(2m_e) = 9,274 \cdot 10^{-24} A m^2$, a nuklearni magneton određen je sličnim izrazom u kojem je masa elektrona zamijenjena masom protona: $\mu_N = e\hbar/(2m_p) = 5,05 \cdot 10^{-27} A m^2$.

magnetootpor [magnetoresistance], svojstvo materijala da mu se mijenja električni otpor kad se stavi u vanjsko magnetsko polje. Materijali s vrlo velikim („divovskim“) magnetootporom, otkriveni u novije vrijeme, omogućili su spremanje velikih količina podataka na memorijske kartice i slične elektroničke elemente.

magnetosfera [magnetosphere], omeđeno područje vretenastoga oblika koje okružuje Zemlju, a u kojem je gibanje električno nabijenih čestica (→Sunčev vjetar) podvrgnuto djelovanju Zemljina magnetskoga polja. Granica Zemljine magnetosfere udaljena je od Zemlje oko 60 000 km u smjeru prema Suncu, dok je mnogo udaljenija na suprotnoj strani. Dio Zemljine magnetosfere su →Van Allenovi pojasevi. Magnetosferu imaju i mnogi drugi planeti.

magnetska boca [magnetic bottle], posebno oblikovana konfiguracija magnetskoga polja,

koja na načelu →magnetskoga zrcala zadržava nabijene čestice unutar zatvorenoga prostora. Upotrebljava se za skladištenje plazme u fuzijskim reaktorima.

magnetska deklinacija, →Zemljin magnetizam

magnetska igla [magnetic needle], →magneta igla

magnetska indukcija [magnetic flux density], →gustoća magnetskoga toka

magnetska inklinacija, →Zemljin magnetizam

magnetska levitacija [magnetic levitation], →levitacija

magnetska permeabilnost [magnetic permeability], veličina koja karakterizira magnetska svojstva neke tvari, omjer gustoće magnetskoga toka (magnetske indukcije) i magnetskoga polja u tvari $\mu = B/H$. Iskazuje se kao umnožak $\mu = \mu_0 \mu_r$, magnetske permeabilnosti vakuuma $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$ i relativne permeabilnosti tvari μ_r . Za paramagnetične i dijamagnetične tvari relativna permeabilnost malo odstupa od jedinice, za prve je veća, a za druge manja od jedan. Za feromagnetične tvari ima vrijednosti mnogo veće od 1 i nije konstantna, već se mijenja s jakošću magnetskoga polja. (→krivulja magnetske histereze, →magnetska susceptibilnost)

magnetska rezonancija [magnetic resonance, MR], spektroskopska metoda kojom se ispituje postojanje i raspored određenih atoma u organskom uzorku tvari, a posebno protona (vodikovih iona) u živom organizmu. Metoda se temelji na svojstvu jezgara nekih elemenata da posjeduju →magnetske momente, koji u običnoj situaciji poprimaju sve moguće orijentacije, dok se u jakom vanjskom magnetskom polju svi orijentiraju jednako. Protoni mogu imati samo dvije orijentacije magnetskih momenata s različitim energijama. U metodi magnetske rezonancije najprije se proizvedu kratki pulsevi elektromagnetskih valova radijskih frekvencija (oko 300 kHz) te se apsorpcijom toga zračenja protoni pobude

Magnetske su silnice zatvorene linije, što je posljedica empirijske činjenice da ne postoje → magnetski monopoli. Kod permanentnoga magneta, silnice izlaze iz sjevernoga magnetskoga pola a ulaze u južni, no nastavljaju se unutar magneta, gdje idu od južnoga prema sjevernom magnetskom polu. Silnice magnetskoga polja oko ravnoga vodiča kojim teče struja koncentrične su kružnice.

magnetski [magnetic], koji se odnosi na pojave, polja i sile prouzročene gibanjem → električnih naboja i promjenama → električnih polja, opisane u okviru teorije → elektromagnetizma (→ Maxwellove jednadžbe). Svojstva → permanentnih magneta opisana su pridjevom → magnetni. (→ elektromagnetski)

magnetski dipol [magnetic dipole], permanentni magnet ili elektromagnet, obično malih dimenzija, koji se u vanjskom magnetskom polju orijentira u smjeru polja i pokazuje njegov smjer. Najčešći su oblici magnetskoga dipola magnetna igla ili tanka magnetna pločica te vodljiva petlja kojom teče električna struja. Ponašanje dipola u magnetskom polju određeno je njegovim → magnetskim dipolnim momentom p_m . Elektron koji se giba oko jezgre uzrok je dipolnoga momenta atoma (→ magnetski moment, → potencijalna energija magnetskoga dipola).

magnetski dipolni moment [magnetic dipole moment], → magnetski moment

magnetski kvantni broj [magnetic quantum number], kvantni broj m u spektru jednoelektronskoga atoma u kvantnoj mehanici. Iskazuje vrijednost m komponente orbitalne kutne količine gibanja L (zamaha) u smjeru osi vrtnje i može poprimiti vrijednosti $L_z = m\hbar$, gdje je $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$, a l je orbitalni kvantni broj. Ta su stanja degenerirana (imaju istu energiju) sve dok se atom ne stavi u magnetsko polje, kad se rascijepi na $2l + 1$ stanja različitih energija (→ magnetski moment atoma).

magnetski moment [magnetic moment], karakteristično obilježje → magnetskoga dipola,

jedinica $A \cdot m^2$. Magnetski je dipolni moment vektor, čiji je smjer za strujnu petlju okomit na ravninu petlje, a iznos jednak umnošku struje i površine petlje $p_m = IS$. Na magnetski dipol u magnetskom polju gustoće toka B djeluje moment sile $M = p_m \times B$, koji zakreće dipol i usmjerava ga paralelno smjeru magnetskoga polja (→ potencijalna energija magnetskoga dipola). Dipolni magnetski momenti u atomskoj se fizici iskazuju s pomoću Bohrova, a u nuklearnoj s pomoću nuklearnoga → magnetona (→ magnetski moment atoma).

magnetski moment atoma [atomic magnetic moment], → magnetski moment koji dobiva atom zbog orbitalnoga gibanja elektrona u atomu: $p_m = -(e/2m_e) L$, gdje je L kutna količina gibanja (zamah) kružnoga gibanja elektrona, e elementarni naboj, a m_e masa elektrona. Potencijalna energija takvoga atoma u magnetskom polju gustoće toka B je $E_p = -p_m \cdot B$ (→ potencijalna energija magnetskoga dipola). U kvantnoj mehanici, kvantno stanje jednoelektronskoga atoma s glavnim kvantnim brojem n i orbitalnim kvantnim brojem l u magnetskom se polju rascijepi na $2l + 1$ stanja. Pomak je energije svakoga stanja $\Delta E = m\mu_B B$, pri čemu je μ_B → Bohrov magneton, a m magnetski kvantni broj, koji poprima cjelobrojne vrijednosti $-l, -l + 1, \dots, l - 1, l$. Osim orbitalnoga, atom posjeduje i spinski magnetski moment p_s , koji nema analogije u klasičnom gibanju, a posljedica je atomskoga → spina (→ međudjelovanje spina i staze).

magnetski monopol [magnetic monopole], odvojeni magnetski pol, magnetski ekvivalent električnom naboju. Svi dosadašnji eksperimenti pokazuju da u prirodi nema magnetskih monopola. Primjerice, kad se → permanentni magnet u obliku štapa poprečno prereže, dobivaju se dva štapa magneta, oba sa sjevernim i južnim polovima. Na toj empirijskoj činjenici počiva asimetrija između električnih i magnetskih pojava u → Maxwellovim jednadžbama.

magnetski tok [magnetic flux], tok vektora magnetske indukcije (gustoće magnetskoga

maksimalna dopuštena doza [maximal permissible dose], preporučena gornja granica apsorbirane doze → ionizirajućega zračenja koju neka osoba ili organ smije primiti u određenom vremenskom intervalu

Malus, Étienne Louis (1775 – 1812), francuski matematičar, fizičar i inženjer, poznat po analitičkim istraživanjima valne optike

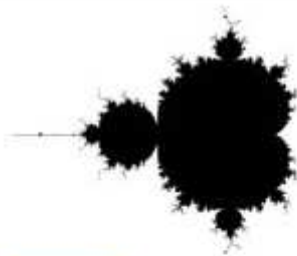
Malusov zakon [Malus's law], zakon koji povezuje intenzitet I_0 upadne polarizirane svjetlosti (dobivene s pomoću → polarizatora) s intenzitetom I svjetlosti propuštene kroz → analizator. Ako smjer polarizacije upadne svjetlosti (os polarizacije polarizatora) i os polarizacije analizatora zatvaraju kut θ , taj zakon glasi $I = I_0 \cos^2 \theta$ i objašnjava zašto se zakretanjem analizatora za 90° intenzitet propuštene svjetlosti smanjuje od maksimalne vrijednosti na nulu.

Mandelbrot, Benoit (1924), francusko-američki matematičar rođen u Poljskoj, autor fraktalne geometrije i tvorac naziva fraktal. Otkrio je najpoznatiji složeni fraktal, koji se prema njemu naziva Mandelbrotov skup. Od 1948., kad je počeo raditi za američku tvrtku IBM, istraživao je zakonitosti kojima se podvrgavaju slučajni procesi u fizici, meteorologiji, ekonomiji i brojnim drugim disciplinama.



Benoit
Mandelbrot

Mandelbrotov skup [Mandelbrot set], fraktalni objekt složene i bogate strukture, definiran iteracijom jednačbe $z_{n+1} = z_n^2 + c$, gdje je n cijeli broj, a z_n i c su kompleksni brojevi. Točka c u kompleksnoj ravnini pripada Mandelbrotovu skupu ako i nakon niza iteracija dobivene vrijednosti z ostaju u konačnosti.



mandelbrotov skup

Mandelbrotov skup sastavljen je od velikoga broja jednostavnijih, tzv. Julijinih skupova, a njegovo izrazito svojstvo samosličnosti mnogo je kompleksnije od onoga kod jednostavnijih matematičkih → fraktala.

Manhattanski projekt [Manhattan project], tajni projekt američke vlade započet 1941. godine koji je imao za cilj izradbu fisijske nuklearne bombe („atomske bombe“), nakon što su znanstvenici upozorili američku vladu na mogućnost da na takvom oružju već radi nacistička Njemačka. Projekt je okupio najbolje američke fizičare koji su, pod vodstvom Roberta Oppenheimera, u posebno uređenom istraživačkom kompleksu u američkom gradiću Los Alamos, praktički izolirani od svijeta, postupno rješavali niz teorijskih i praktičnih problema. Nuklearna je bomba uspješno izrađena i testirana 16. srpnja 1945. Nekoliko tjedana nakon toga dvije nuklearne bombe bačene su na japanske gradove Hirošimu i Nagasaki, uz velika razaranja, ljudske žrtve i dugotrajne posljedice zračenja. Time je konačno bio završen Drugi svjetski rat, ali su se nakon toga političari i znanstvenici podijelili oko potrebe daljnega razvoja → nuklearnoga oružja i težnje da se ono potpuno zabrani (→ hidrogenska bomba).

manometar [manometer, pressure gauge], uređaj koji mjeri tlak ili razliku tlakova (nadtlak) u fluidu

Mariotte, Edmé (1620 – 1684), francuski fizičar, bavio se istraživanjem zakona širenja

lovanjima. U relativističkoj se fizici pokazuje da se energija i masa mogu pretvarati jedna u drugu, dok kvantna fizika ukazuje na činjenicu da i tijela i zračenja imaju dvoju prirodu, te se mogu protumačiti ili kao čestice ili kao valovi. U teoriji osnovnih čestica sva je materija sastavljena od čestica, a svaka čestica ima i svoju antičesticu (\rightarrow antimaterija).

materijalna točka [point particle], idealizirani objekt čija je ukupna masa koncentrirana u jednoj točki. Stvarno tijelo koje se proteže u prostoru i ima volumen može se smatrati materijalnom točkom ako su njegove dimenzije mnogo manje od dimenzija staze po kojoj se giba, ili ako se sve točke tijela gibaju na identičan način. Tako se, primjerice, Zemlja može smatrati materijalnom točkom kad se promatra njezino gibanje oko Sunca, ali ne može ako se promatra gibanje točke na ekvatoru pri vrtnji Zemlje oko vlastite osi.

Maxwell, James Clerk (1831 – 1879), škotski matematičar i teorijski fizičar. Bavio se istraživanjem Saturnovih prstenova, a do epohalno važnih otkrića došao je u području kinetičke teorije plinova i statističke fizike. Godine 1864. objavio je zaokružena teoriju elektromagnetizma, kojom je detaljno objasnio povezanost električnih i magnetskih pojava i predvidio postojanje elektromagnetskih valova raznih valnih duljina, koji se gibaju brzinom svjetlosti. Ispravnost njegovih teorija dokazana je 1888., kad je H. Hertz otkrio radiovalove. Uz Newtona i Einsteina,



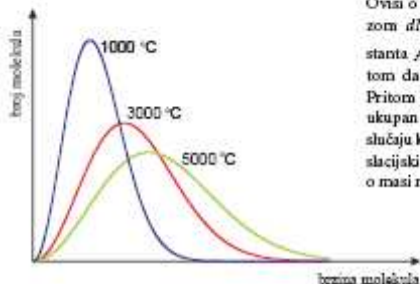
James Clerk Maxwell

Maxwell je jedan od trojice najvećih mislilaca u povijesti fizike.

Maxwell-Boltzmannova razdioba brzina [Maxwell-Boltzmann velocity distribution], statistička funkcija vjerojatnosti koja prikazuje broj molekula dN u plinu s brzinama unutar maloga intervala ($v, v + dv$). Ovisi o ukupnom broju molekula N , termodinamičkoj temperaturi T plina, molnoj masi M plina i brzini molekula v , a dana je izrazom $dN/dv = A v^2 \exp[-Mv^2/(2RT)]$. Pritom je R opća plinska konstanta, a $A = (4N/\sqrt{\pi}) [M/(2RT)]^{3/2}$ konstanta određena uvjetom da ukupna vjerojatnost mora biti 1. Suvremenim eksperimentalnim metodama s velikom je točnošću provjereno da navedena razdioba opisuje stvarni raspored brzina u plinovima.

Maxwell-Boltzmannova razdioba energija [Maxwell-Boltzmann energy distribution], statistička funkcija vjerojatnosti koja prikazuje broj molekula dN u plinu s kinetičkom energijom unutar maloga intervala ($E, E + dE$). Ovisi o temperaturi T plina, a dana je izrazom $dN/dE = A \sqrt{E} \exp[-E/(k_B T)]$. Konstanta $A = 2N/\sqrt{(k_B T)^3 \pi}$ određena je uvjetom da ukupna vjerojatnost mora biti 1. Pritom je k_B Boltzmannova konstanta, a N ukupan broj molekula. Točno vrijedi samo u slučaju kad se molekule gibaju isključivo translacijskim gibanjem. Ne ovisi o vrsti plina ni o masi molekula.

Maxwell-Boltzmannova razdioba molekula po brzinama



kojoj je temperaturi tijelo: $e(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T)$. Budući da \rightarrow idealno crno tijelo najviše apsorбира, ono i zrači više energije od svih drugih tijela iste temperature.

Kirchhoffova pravila [Kirchhoff's rules], dva pravila koja se temelje na zakonima očuvanja električnoga naboja i energije, a omogućuju proračun struje i snage u električnim strujnim krugovima (\rightarrow prvo Kirchhoffovo pravilo, \rightarrow drugo Kirchhoffovo pravilo)

kiri (Ci) [curie], zastarjela jedinica za aktivnost radioaktivnoga uzorka: $1 \text{ Ci} = 3,70 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$. Nazvana je u čast Marie Skłodowske Curie, koja je otkrila radioaktivnost.

kišna kap [raindrop], kapljica kiše, mala vodena kuglica u gibanju, koja često služi za ilustraciju slobodnoga pada uz otpor zraka. Otpor zraka sprečava trajno ubrzavanje kapljice, tako da ona postupno postiže graničnu brzinu i nakon toga pada jednoliko (\rightarrow Stokesov zakon). Stvarna kišna kap može znatno odstupati od kuglastoga oblika.

klasična fizika [classical physics], zajednički naziv za sva područja fizike razvijena prije 1900. godine, u prvom redu ona koja se temelje na Newtonovim zakonima mehanike i Maxwellovim jednadžbama, uključujući mehaniku, termodinamiku, kinetičko-molekulska teoriju topline, elektromagnetizam, statističku fiziku i optiku

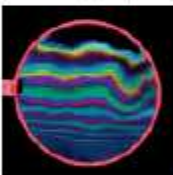
klasična mehanika [classical mechanics], dijelovi klasične fizike koji obuhvaćaju klasičnu mehaniku čestice, utemeljenu na Newtonovim zakonima gibanja i Galileijevu načelu relativnosti, gravitaciju, mehaniku krutoga tijela, mehaniku fluida, mehaniku titranja te valove u elastičnom sredstvu

klasični determinizam [classical determinism], temeljno uzročno-posljedično načelo u klasičnoj fizici, prema kojem se, na temelju poznavanja jednadžbi gibanja i početnih uvjeta za neki sustav, uvijek može točno predvidjeti ponašanje toga sustava u budućnosti. Nelinearna fizika, koju je utemeljio Henri Poincaré krajem 19. stoljeća, a koja se snažno

razvila nakon 1970. pod nazivom \rightarrow teorija kaosa, pokazala je da je, čak i u poznavanje determinističkih jednadžbi gibanja, za veliku većinu fizikalnih procesa točno predviđanje nemoguće.

klima [climate], podneblje, skup meteoroloških i atmosferskih uvjeta karakterističnih za neko područje na Zemlji

klin [wedge], a) oštrica, dio tvrdoga materijala omeđen dvjema ravninama koje zatvaraju mali kut α . Temelj mehaničkih uređaja kao što su sjekira, nož ili čavao, koji uz pomoć male sile na duljem putu proizvode veću silu na kraćem putu. \rightarrow Mehanički je učinak klina $e = 1/\sin(\alpha/2)$; b) optički klin, dio optičkoga sredstva indeksa loma n omeđen dvjema ravninama koje se sijeku pod malim kutom α . Najčešće je riječ o dvjema staklenim pločicama između kojih je zrak. Interferencijom svjetlosti valne duljine λ na takvom klinu nastaju ekvidistantne interferentne pruge širine $\Delta x = \lambda/(2\alpha n)$.



Črna sapunika kao optički klin

klop [piston], pomični čep u šupljem valjku ispunjenom plinom koji dobro prijanja uz stijenke, omogućujući promjenu volumena bez istjecanja čestica plina u okolinu

Koch, Niels Fabian Helge von (1870 – 1924), švedski matematičar. Prema njemu je nazvana fraktalna krivulja snježne pahuljice.



Helge von Koch

linijska gustoća naboja [linear charge density], omjer električnoga naboja raspoređenoga na izduženom vodiču i njegove duljine $\lambda = Q/l$, jedinica C/m

linijski integral [line integral], → krivuljni integral

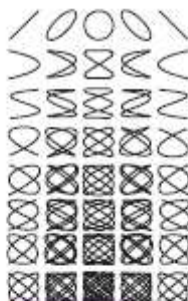
linijski koeficijent toplinskoga rastezanja [coefficient of linear expansion], pri toplinskom rastezanju čvrstoga tijela, omjer relativnoga linearnoga produljenja izduženoga uzorka i temperaturne razlike koja je proizročila toplinsko rastezanje: $\alpha = (1/\Delta T)(\Delta l/l)$, jedinica K⁻¹.

linijski spektri [line spectra], spektri elektromagnetskoga zračenja atoma uzarenih plinova, sastavljeni od niza odvojenih monokromatskih spektralnih linija, za razliku od vrpčastih spektara koji se, primjerice, opažaju pri zračenjima molekula. Osim emisijskih atomskih spektara, postoje i apsorpcijski spektri, tamne linije koje se opažaju kad se užareni plin obasja bijelom svjetlošću. Javljaju se na istim mjestima gdje su bile svijetle linije, kao posljedica apsorpcije karakterističnih valnih duljina koje zrači pojedini atom.



Lissajous, Jules Antoine (1822– 1880), francuski matematičar. Otkrio krivulje koje su prema njemu dobile ime i konstruirao uređaj kojim ih je mogao proizvesti uz pomoć svjetlosnih zraka.

Lissajousove krivulje [Lissajous figure], zatvorene dvodimenzijske krivulje, staze čestice koja je istodobno podvrgnuta dvama harmonijskim titranjima pod pravim kutom, pri



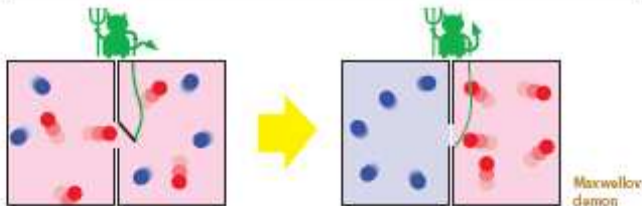
Lissajousove krivulje

čemu omjeri frekvencija ω_x i ω_y moraju biti racionalni brojevi. Kad su frekvencije jednake, ovisno o razlici faza među dvama titranjima, dobivaju se kružnica, elipsa ili dio pravca. Za omjer $\omega_x/\omega_y = 2$ dobiva se lemniskata („osmica“) ili dio parabole, a za druge omjere malih cijelih brojeva dobivaju se razni komplicirani, estetski privlačni uzorci.

logistička jednadžba [logistic equation], → logističko preslikavanje

logističko preslikavanje [logistic map], postupak kojim se počevši od zadanoga elementa x_0 dobiva niz brojeva x_n , pri čemu je n cijeli broj, a svaki sljedeći član niza računa se iz prethodnoga x pomoću jednadžbe $x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$. Za različite vrijednosti parametra r između 0 do 4 izmjenjuju se periodički i kaotični nizovi brojeva, prema redoslijedu i pravilima koja tumači teorija → determinističkoga kaosa. Logističko preslikavanje objašnjava naizgled nepredvidljive oscilacije u uzastopnim godišnjim populacijama životinjskih vrsta pa se navedena jednadžba često naziva i populacijska jednadžba.

lom svjetlosti [refraction of light], promjena smjera svjetlosne zrake prelaskom iz jednog optičkoga sredstva u drugo. Pritom jednoga zraka, lomljena zraka i okomnica na granicu sredstava leže u istoj ravnini, a kut upada α i kut loma β povezani su → Snellovim zakono-



Maxwellov demon [Maxwell's demon], izmišljeni stvor koji u posudi s pregradom otvara vrata brzim molekulama plina, kako bi mogle prijeći iz jednoga dijela u drugi, a s pomoću kojega je J. C. Maxwell pokušao zorno predložiti mehanizam djelovanja → drugoga zakona termodinamike

Maxwellove dvoploče [Maxwell's plates], dvije male metalne pločice površine ΔS s drškama od izolatora. Kad se priključene stave u električno polje, a potom rastave, na njima ostaju odvojeni pozitivni i negativni naboji ΔQ i $-\Delta Q$, koji mjere influencijsko djelovanje električnoga polja. Njihova plošna gustoća $\Delta Q/\Delta S$ daje podatke o vektoru električnoga pomaka D . (→električna influencija)

Maxwellove jednadžbe [Maxwell's equations], četiri temeljne jednadžbe elektromagnetizma, koje povezuju električna i magnetska polja sa strujama i električnim nabojima koji stvaraju ta polja. Zajedno s izrazom za → Lorentzovu silu, daju potpunu klasičnu teoriju elektromagnetizma. Prva je Maxwellova jednadžba →Gaussov zakon za električno polje, a može se izraziti tvrdnjom da električne silnice izlaze iz pozitivnih, a ulaze u negativne naboje. Druga Maxwellova jednadžba tvrdi da su magnetske silnice zatvorene linije i izražava činjenicu da nema → magnetskih monopola. Treća Maxwellova jednadžba ujedno je i → Faradayev zakon elektromagnetske indukcije, koji kaže da promjena magnetskoga toka stvara električno polje. Četvrta je Maxwellova jednadžba prošireni → Ampèreov zakon i tvrdi da električna struja i promjenjivi električni tok prouzrokuju nastanak magnetsko-

ga polja. Maxwellove se jednadžbe, uz pomoć gustoće električnoga naboja ρ , gustoće struje j , električnoga polja \mathcal{E} , vektora električnoga pomaka D , magnetskoga polja H i gustoće magnetskoga toka B matematički mogu prikazati u integralnom ili diferencijalnom obliku, kako pokazuje tablica 8. Maxwellove jednadžbe. Objavljene 1864., zaokružile su klasičnu fiziku i utrle put razvitku moderne fizike te se po svojoj važnosti za povijest fizike mogu usporediti s Newtonovim otkrićem zakona gibanja i zakona gravitacije, Einsteinsvim otkrićem teorije relativnosti i formulacijom kvantne fizike. Temelj su velikom broju tehničkih disciplina, posebno elektrotehnici, elektronicima te informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji.

Mayer, Julius Robert von (1814 – 1878), njemački liječnik i fizičar, otkrio zakon očuvanja energije i izmjerio mehanički ekvivalent topline neovisno o J, Jouleu. Prvi je ukazao na činjenicu da zakon očuvanja energije vrijedi i za biološke procese.

Mayerova relacija [Mayer's formula], izraz $C_p - C_v = R$, koji za idealni jednoatomni plin povezuje →molarne toplinske kapacitete pri stalnom tlaku i stalnom volumenu s općom plinskom konstantom

međudjelovanje [interaction], uzajamno djelovanje dvaju tijela, interakcija. Može se matematički iskazati kao →sila ili s pomoću →potencijalne energije, a posljedica je četiriju osnovnih međudjelovanja u prirodi (→osnovne sile).

međudjelovanje spina i staze [spin-orbit interaction], u kvantnoj fizici atoma, dopri-

neutronski broj [neutron number], broj neutrona N u atomskoj jezgri (→ nukleonski broj, → redni broj)

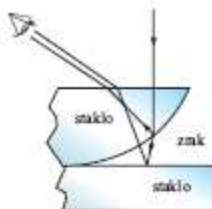
Newton, Sir Isaac (1642 – 1727), engleski fizičar, matematičar i astronom zaslužan za prvu veliku sintezu teorijskih i eksperimentalnih znanja u povijesti fizike. Otkrio je i formuliirao tri temeljna zakona gibanja, uveo u fiziku pojam količine gibanja (zajeta), otkrio opći zakon gravitacije te ga primijenio na gibanja planeta i drugih nebeskih tijela. Jedan je od tvoraca diferencijalnoga i integralnoga računa. Bavio se optikom i konstruirao reflektorski dalekozor. Smatrao je da je svjetlost čestične prirode i odbacivao valnu teoriju svjetlosti koju je zagovarao Huygens. Jedinica za silu njuton (N) prema njemu je dobila ime.



Isaac
Newton

Newtonov zakon gravitacije [Newton's law of universal gravitation], zakon koji tvrdi da se bilo koja dva tijela ili čestice uzajamno privlače silom razmjernom masama, a obrnuto razmjernom kvadratu udaljenosti r . Promatrana na pravcu koji spaja dva tijela, gravitacijska je sila $F = -Gm_1m_2/r^2$, pri čemu negativan predznak označava da je sila usmjerena od jednoga tijela prema drugome. Navedeni izraz za silu vrijedi za dvije materijalne točke, ali i za tijela koja imaju sfernu simetriju, pri čemu je r udaljenost njihovih središta, pa čak i ako su toliko blizu da se dodiruju. → Gravitacijsku konstantu $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ prvi je 1798. izmjerio Lord Cavendish s pomoću torzijske vage. Time je ujedno prvi put određena i masa Zemlje.

Newtonova cijev [free fall tube], → otpor sredstva, → slobodni pad



Nastanak Newtonovih kolobara u reflektiranoj svjetlosti

Newtonovi kolobari [Newton's rings, circular interference fringes], Newtonovi prstenovi, interferentne slike u obliku koncentričnih kružnica, koje nastaju na optičkom uređaju sastavljenom od staklene ploče i tanke plankonveksne leće velikoga polumjera. Ako se monokromatski izvor promatra u propuljenoj svjetlosti, središnji krug je svijetao, dok je promatran u reflektiranoj svjetlosti središnji krug taman.



Newtonovi kolobari u reflektiranoj svjetlosti

Newtonovi zakoni gibanja [Newton laws of motion], u klasičnoj mehanici, tri temeljna zakona gibanja (→ prvi Newtonov zakon, → drugi Newtonov zakon, → treći Newtonov zakon)

Newtonovi zakoni mehanike, → Newtonovi zakoni gibanja

nikal-kadmijev akumulator, → akumulator
NIST, kratica za Američki institut za norme i tehniku (*National Institute of Standards and Technology*), organizaciju koja se bavi usavršavanjem postupaka normiranja i mjernih tehnika u znanosti i tehnici te redovito objavljuje najnovije vrijednosti prihvaćenih i izmjerenih fizikalnih konstanta (tablica 9. *Neke temeljne fizikalne konstante*)

NMR [NMR], → magnetska rezonancija

Nobel, Alfred Bernhard (1833 – 1896), švedski kemičar, pacifist, industrijalac i izumitelj dinamita. Oporukom je ostavio sredstva za nagrade znanstvenicima koji su svojim djelima zadužili čovječanstvo i time utemeljio Nobelovu nagradu, najveće svjetsko priznanje koje se dodjeljuje za znanstveni rad u fizici, kemiji i medicini (fiziologiji) te za književnost, ekonomiju i mir.



Alfred
Bernhard
Nobel

Nobelova nagrada [Nobel prize], nagrada koju je svojom oporukom utemeljio A. Nobel, švedski kemičar, pacifist, industrijalac i izumitelj dinamita, i namijenio je „onima koji su svojim djelom u protekloj godini donijeli dobrobit čovječanstvu“. Dodjeljuje se jednom godišnje za fiziku, kemiju, medicinu (fiziologiju) i književnost, za zasluge u očuvanju mira u svijetu te u novije vrijeme za ekonomiju. Prvu Nobelovu nagradu za fiziku dobio je 1901. W. C. Röntgen za otkriće rendgenskoga zračenja. Ostali su dobitnici navedeni u tablici 12. *Dobitnici Nobelove nagrade za fiziku.*

Noether, Amalie Emmy (1882 – 1935), njemačka matematičarka. Otkrila je najvažniji opći poučak teorijske fizike koji zakone očuvanja povezuje sa simetrijama fizikalnih sustava i međudjelovanja.



Amalie Emmy
Noether

Noetherov teorem [Noether's theorem], → poučak Emmy Noether

normalna razdioba [normal distribution], statistička funkcija

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

koja prikazuje razdiobu gustoće vjerojatnosti kontinuirane varijable x , a često se naziva i Gaussovom razdiobom. Prikazana grafički, to je zvonolika krivulja s maksimumom na vrijednosti $x = \mu$, i to je očekivana (srednja) vrijednost, dok je σ standardna devijacija. Mnogi prirodni nizovi frekvencija, primjerice mjerne pogreške, ponašaju se u skladu s normalnom razdiobom.

normalna sila [normal force], → reakcija podloge

normalni uvjeti [standard pressure and temperature, SPT], uobičajeni naziv za normirane (standardne) vrijednosti tlaka i temperature $p = 101\,325$ Pa i $T = 273,15$ K, koje približno odgovaraju srednjem tlaku zraka na razini morske površine i temperaturi leđišta vode. Neki autori predlažu kao normirani tlak vrijednost $p = 10^5$ Pa (1 bar), a za standardnu sobnu temperaturu vrijednost $T = 298,15$ K.

normiranost valne funkcije [normalization of the wave function], u kvantnoj mehanici,