

Põhivara aines LOFY.01.091 Füüsikaline maailmapilt

Maailm on keskkond, mis jääb väljapoole inimese *mina*-tunnetuse piire. **Maailmapilt** on teadmiste süsteem, mille abil inimene tunnetab ümbritsevat maailma ja suhestab end sellega.

Loodus on inimest ümbritsev ja inimesest sõltumatult eksisteeriv keskkond. Looduses toimuvaid muutusi nimetatakse loodusnähtusteks. **Loodusteadused** on koondnimetus kõigile teadustele, mis annavad loodusnähtustele teaduslikke kirjeldusi ja seletusi ning pädevalt ennustavad loodusnähtusi.

Looduse tasemeline struktureeritus seisneb selles, et igal kindlal struktuuritasemel toimuvaid nähtusi võib kirjeldada sellel tasemel oluliste loodusseaduste abil ja see ei sõltu teistel tasemetel toimuvast.

Füüsika on loodusteadus, mis uurib matemaatiliste meetoditega looduse kahte põhivormi – **ainet** ja **välja**. Füüsika käsitleb looduse kõige üldisemaid ilminguid ehk füüsikalisi **objekte**. Objekt on see ese, nähtus või kujutlus, millele meie tegevus on parajasti suunatud.

Aine on see, millest koosnevad füüsikalised **kehad**. Makroskoopilise keha tähtsaim tunnus on pealispind, mis eraldab keha ainet muust ainest. **Ainega** toimuvad loodusnähtused millalgi ja kuskil (ajas ja ruumis), **väljaga** toimuvad nähtused alati ja kõikjal (aja ning ruumi mõisted pole rakendatavad).

Väli on aktiivne keskkond, mille vahendusel üks keha mõjutab teist. Väli on jõu tekkimise võimalikkus. Erinevad aineosakesed samas ruumiosas olla ei saa (ei mahu), erinevad väljad aga saavad küll.

Loodusnähtuse füüsikaline mudel esitab kompaktselt füüsikalise objekti kohta olemasoleva info, sidudes objekti abstraktsed (meeltega mittetajutavad) omadused millegi vahetult tajutavaga ning tuues esile aspektid, milles objekt erineb teistest omataolistest. Füüsika tegeleb mudelitega põhjusel, et loodusnähtuse kõigi omaduste samaaegne arvestamine on liiga keerukas ja sageli ka mittevajalik.

Vaatleja on inimene, kes kogub ja töötleb infot maailma kohta. Vaatleja tunnusteks on tahe (valikuvabaduse olemasolu), **aistingute** (maailmast tulevate signaalide) vastuvõtmine, **mälu** (salvestatud aistingute) kasutamine ja **mõistuse** (süllogistika) rakendamine.

Nähtavushorisoniks nimetame piiri, kuni milleni ühel vaatlejal või inimkonnal tervikuna on olemas eksperimenti või sihipärase vaatluse teel kontrollitud teadmised füüsikaliste objektide kohta. Inimkonna kui terviku nähtavushorisoni taha jäävad füüsikalised objektid enamasti põhjusel, et pole veel olemas vahendeid selliste objektide vaatlemiseks. Füüsika määratleb ja nihutab edasi inimkonna kui terviku nähtavushorizonte.

Sisemine nähtavushorizont on vaatleja(te) teadmiste piir liikumisel piki mõõtmete skaalat üha väiksemate objektide poole (järjestikuse vastamisel küsimusele *Mis on selle sees?*).

Väline nähtavushorizont on vaatleja(te) teadmiste piir liikumisel piki mõõtmete skaalat üha suuremate objektide poole (järjestikuse vastamisel küsimusele *Mis on selle taga?*)

Aistingulise info saamine: maailmas leiab aset **sündmus**; vaatleja närviraku ehk **retseptorini** jõuab mingi füüsikalise nähtuse vahendusel **signaal** selle kohta; signaali infot kandev närviimpulss läheb **ajusse**, kus tekib sündmust peegeldav **aisting**. Erinevatest meeleorganitest pärinevate erinevate aistingute põhjal tekib ajus sündmusest terviklik **taju**. Seejärel kasutab aju **mälu** säilitatavaid varasemaid sellelaadseid aistinguid ja tajusid, rakendab **mõistust** (süllogisme) ning lõpptulemusena tekib sündmusest või objektist terviklik **kujutlus** ehk **visioon**. Füüsika koosneb eri vaatlejate poolt tekitatud ja omavahel kooskõlastatud kujutlustest. **Füüsika** on looduse peegeldus vaatleja kujutlustes.

Süllogism on tõese järelduse tegemine maailma kohta vaid mõistuse abil, ilma vastavat aistingut saamata. Näiteks: kui $a = b$ ja $b = c$, siis ka $a = c$.

Füüsikalise maailmapildi aluseks on usk **loodusteaduslikku meetodisse**. See meetod toimib alljärgnevalt. Vaatleja, kel on **primaarseid** ehk otseselt aistingutest tulenevaid visioone tekitatud piisavalt palju, asub mälu ja mõistuse abil konstrueerima **sekundaarseid** visioone, millega seonduvaid aistinguid ta veel pole saanud, kuid mis süllogistlikult tulenevad primaarvisioonidest. Seda tegevust nimetatakse **hüpoteesi** loomiseks. Nüüd asub vaatleja maailma mõjutama eesmärgiga esile kutsuda uuritavale sekundaarvisioonile vastav sündmus. Seda nimetatakse **eksperimentiks**. Kui vaatleja tõepoolest saab piisavalt täpselt sama aistingut, mille tekkimist ta prognoosis, siis teeb vaatleja **järelduse**, et oodatav sündmus maailmas tõepoolest toimus ja hüpotees on saanud eksperimentaalse **kinnituse**. Sageli ei saa vaatleja uuritavat loodusnähtust mõjutada. Ta saab seda vaid **sihipäraselt vaadelda**. Kuid sihipärase vaatluse positiivse tulemuse tõestuslik jõud ei jää alla eksperimenti omale. Võime loodusteadusliku meetodi kirjelduse kokku võtta sõnadega: vaatlus → hüpotees → eksperiment (või sihipärane vaatlus) → andmetöötlus → järeldus → hüpoteesi täpsustamine → uus eksperiment jne.

Makromaaailma moodustavad inimesest mõõtmete poolest mitte väga palju erinevad objektid. Need on objektid tüüpilise mõõtmega l , mis jääb ühe mikromeetri ja ühe megameetri vahele.

Mikromaaailma moodustavad inimesest mõõtmete poolest palju väiksemad objektid. Need on objektid tüüpilise mõõtmega l , mis jääb alla ühe mikromeetri (miljondiku meetri).

Megamaailma moodustavad inimesest mõõtmete poolest palju suuremad objektid. Need on objektid tüüpilise mõõtmega l , mis on üle ühe megameetri (miljoni meetri ehk 1000 kilomeetri).

Induktiivne meetod (induktsioon) on liikumine üksikult üldisele. Uus, laiema kehtivusalaga teadmine saadakse üksikfaktide (kitsama kehtivusalaga teadmiste) üldistamise teel.

Deduktiivne meetod (deduktsioon) on liikumine üldiselt üksikule. Deduktiivse (aksiomaatilise) teooria ülesehitamisel formuleeritakse kõigepealt **aksioomid** (üldeeldused, füüsikas: **printsüübid**) ja neist tuletatakse loogiliselt kõik teised väited. Üksikjäreldesteni jõutakse, rakendades üldist printsüüpi antud erijuhul. Printsüüpide tõesust kinnitab teooria üksikjäreldeste kooskõla katsefaktidega.

Loodusnähtuse kirjeldus annab omavahelises loogilises seoses ning vastavat terminoloogiat (füüsikalisi suursi) kasutades edasi antud nähtuse iseloomulikke jooni (vastab küsimusele *kuidas?*).

Loodusnähtuse seletus annab edasi selle nähtuse tulenevise üldisemast või sügavamal struktuuritasemel kehtivast seaduspärasusest (vastab küsimusele *miks?*, asetab selle nähtuse “oma kohale”). Seletus on enamasti viide põhjuslikule seosele. Vaadeldava nähtuse algpõhjuse otsivat käsitlust nimetatakse **analüütiliseks** (kr *analysis* – liigendamine, osadeks lahutamine)

Loodusnähtuse ennustamine on väide selle nähtuse toimumise kohta tulevikus või mingis teises kohas. Võimes pädevalt ennustada loodusnähtusi avaldub füüsika **prognostiline** (ennustuslik) väärtus. Ennustamise aluseks on põhjuslike seoste tunnetamine.

Ruumiliseks nimetatakse sellist põhjuslikkust, mille korral põhjuslikult seotud sündmused on korraga vaadeldavad. Ruumiline põhjuslikkus avaldub ühe füüsikalise objekti koosnemises teistest objektidest (nt *Liivahunnik koosneb liivateradest. Liivaterade olemasolu on liivahunniku olemasolu põhjus*). Matemaatikas tegelevad reduktiivse põhjuslikkusega geomeetria ja algebra.

Ajaliseks nimetatakse sellist põhjuslikkust, mille korral põhjuslikult seotud sündmused ei ole korraga vaadeldavad. Ajaline põhjuslikkus avaldub ühe sündmuse järgnevuses teisele. Nt: *raamat paikneb laua kohal õhus ja talle mõjub raskusjõud* (sündmus 1, põhjus); *raamat on jõudnud laua pinnale* (sündmus 2, tagajärg). Matemaatikas tegeleb ajalise põhjuslikkusega diferentsiaal- ja integraalarvutus.

Põhjuslikkus on liigitatav võimalike tagajärgede arvu järgi. **Fatalistliku** põhjuslikkuse korral tundub olevat võimalik ainult üks tagajärg. **Juhusliku** põhjuslikkuse korral on võimalikke tagajärgi üle ühe, kuid siiski lõplik arv ning me saame hinnata ühe või teise tagajärje esinemise tõenäosust (nt *täringuviset*).

Kaootilise põhjuslikkuse korral on võimalikke tagajärgi lõpmatu arv (nt “*õnnevalamine*”). **Tahtelise** põhjuslikkuse korral realiseerub kellegi tahte rakendumise tulemusena üks kindel tagajärg. **Näiva** põhjuslikkuse korral on nii põhjuse kui tagajärjena vaadeldav sündmus tegelikult põhjustatud mingist kolmandast, esialgu märkamatuks jäänud sündmusest (nt *astroloogia*).

Seaduspärasus on loodusnähtuse kohta kehtiv **kvalitatiivne** (erijooni rõhutav, mõõdetavust mitte eeldav) üldistus (nt. *mida massiivsem on keha, seda raskem on muuta tema liikumisolekut*). Seaduspärasus ei pea olema esitatav matemaatiliselt rangelt (valemi või võrrandina).

Seadus on loodusnähtuse kohta kehtiv **kvantitatiivne** (mõõdetavust eeldav), matemaatiliselt range valemi või võrrandina esitatav üldistus (vrd.: *keha kiirendus on pöördvõrdeline keha massiga, $a = F/m$*). Füüsikaseaduse formuleerimisel kasutatakse kindlasti **füüsikalisi suursi**.

Füüsikaline suurus on füüsikalise objekti mõõdetav iseloomustaja (karakteristik). Füüsikaline objekt (loodusnähtus) on olemas ka ilma inimeseta. Füüsikaline suurus on inimlik vahend objekti kirjeldamiseks. Suuruse **mõõtmine** on tema väärtuse võrdlemine mõõtühikuga.

Rahvusvaheline mõõtühikute süsteem SI kasutab 7 füüsikalist suurust põhisuurustena. Nende suuruste mõõtühikud on põhiühikud. Kõik teised suurused ja ühikud on määratud vastavalt põhisuuruste ning põhiühikute kaudu. Põhisuurused on: pikkus, aeg, mass, aine hulk, temperatuur, voolutugevus ja valgustugevus. Nende ühikud on vastavalt: meeter, sekund, kilogramm, mool, kelvin, amper ja kandela.

Skalaarne suurus on esitatav vaid ühe mõõtarmuga, millele lisandub mõõtühik. Skalaarsed suurused on ilma suunata (näiteks aeg t , pikkus l , rõhk p , ruumala V , energia E , absoluutne temperatuur T).

Vektoriaalne suurus on kolmemõõtmelises ruumis esitatav kolme arvuga (+ mõõtühik). Need on vektori koordinaadid. Vektoriaalsetel suurustel on suund olemas (näit. kiirus $\mathbf{v}$, kiirendus $\mathbf{a}$, jõud $\mathbf{F}$).

Füüsika keeles tuleb (erinevalt tavakeelest) kasutada korrektselt füüsikaliste suuruste ning mõõtühikute nimetusi ja tähiseid. Suuruste tähised esitatakse kaldkirjas ($l, t, m, \dots$), ühikute omad püstkirjas (cm, s, kg...). Suuruse tähis on reeglina vastava ladinakeelse sõna esitähth (*longitudo, tempus, massa...*)

Valem on lühidalt (tähiste abil) kirja pandud lause. Nt. valem $v = s/t$ tähendab, et kiiruse (*velocitas*) leidmiseks tuleb keha poolt läbitud teepikkus (*spatium*) jagada kulunud ajaga (*tempus*). Järgnevas on kõik füüsikaliste suuruste tähised esitatud kaldkirjas (*italic*), ühikute tähised aga püstkirjas. Kui on oluline rõhutada mingi suuruse vektoriaalsust, siis on selle suuruse tähis valemis toodud rasvases püstkirjas (**bold**).

Liikumiseks võib nimetada igasugust olukorra muutumist. Kui muutub keha asukoht, asend või kuju, siis räägitakse mehaanilisest liikumisest. Liikumise mõiste tuleneb vajadusest kirjeldada kronoloogilist põhjuslikkust. Liikumisest võib rääkida ainult tänu sellele, et vaatlejal on olemas mälu.

Liikumise liikideks on kulgemine (translatsioon), pöörlemine (rotatsioon), kuju muutumine ehk *kujumine* (deformatsioon) ja võnkumine (ostsillatsioon). Kulgliikumisel muutub keha asukoht. Pöördliikumisel muutub keha asend. Deformatsioonil muutub keha kuju. Võnkumisel muutub millegi asend või keha perioodiliselt (korduvalt). Võnkeseisundi kulgemine on laine. Liikumisest on mõtet rääkida vaid vähemasti kahe keha (objekti) korral. Keha, mille suhtes liikumine toimub, nimetatakse **taustkehaks**.

Vastastikmõju on põhjus, mis muudab kehade liikumisolekut (kiirust). Vastastikmõju intensiivsust kirjeldav füüsikaline suurus on **jõud**. Sõnaga *vastastikune* rõhutatakse asjaolu, et kui üks keha mõjutab teist, siis teine mõjutab ka esimest. Mõju võrdub vastumõjuga. Vastastikmõju põhiliike on neli: **gravitatsiooniline, elektromagnetiline, nõrk ja tugev**.

Laeng on füüsikaline suurus, mis kirjeldab keha omadust osaleda mingis vastastikmõjus. Elektromagnetilises mõjus osalevad vaid kehad või osakesed, millel on **elektrilaeng**. Nõrgas mõjus osalevaid, aga tugevas mõjus mitteosalevaid alusosakesi nimetatakse **leptoniteks**. Neil on **leptonlaeng**. Tugevas mõjus osalevaid alusosakesi nimetatakse **kvarkideks**. Neil on tugeva vastastikmõju laeng ehk **värvus**. Kõik kehad osalevad gravitatsioonilises mõjus, mille laengut nimetatakse **raskeks massiks**.

Töö A on füüsikaline suurus, mis kirjeldab protsessi. Töö kirjeldab nii olukorra muutumist kui selleks vajalikku pingutust. Mehaanilise töö korral on tegemist kehade omavahelise asendi muutumisega.

Energia on füüsikaline suurus, mis kirjeldab olukorda. Energia on keha või jõu võime teha tööd. Kui see võime on tingitud keha liikumisest teiste kehade suhtes, siis on tegemist **kineetilise energiaga** E_k . Kui see võime on tingitud keha asendist teiste kehade suhtes, siis räägitakse **potentsiaalsest energiast** E_p . Kuna töö on protsess, mis viib ühest olukorrast teise, siis tööga kaasneb energia muutumine.

Keha seisuenergia E_r (ingl *rest* – paigalseis) on tingitud üksnes keha olemasolust. Aine ja väli on neis sisalduva olemasolu-energia ulatuses teineteiseks muundatavad.

Spinn on alusosakese olemuslik sisemine liikumine, mis kuulub lahutamatu osakese juurde. **Aineosakese** korral on spinn tinglikult tõlgendatav osakese pöörlemisena ümber oma telje (*to spin* – pöörlema). Seda pöörlemist ei saa peatada, võib vaid muuta pöörlemistelje asendit ruumis, mida nimetatakse **spinni suunaks**. Kaks vastassuunaliste spinnidega aineosakest võivad paikneda samas ruumpiirkonnas (teineteise “sees”). **Väljaosakese** spinn on tingitud tema kulgevast liikumisest.

Füüsika üldprintsüübid on meie kõige üldisemad tõdemused looduse kohta. Printsüübid on meie *miks?*-küsimuste ahelate lõpud. Me ei oska enam vastata, miks see või teine printsüüp kehtib. Me nendime, et loodus lihtsalt on selline. Igale looduskäsitlusele on omane kasutatavate printsüüpide kindel valik.

Aistingute primaarsuse printsüüp väidab, et füüsikalise maailmapildi kujundamisel tuleb eelistada selliseid kujutlusi (sh füüsikalisi suurusi), mille tähendus (looduse nähtus või omadus) on meeleeelunditega tajutav. Näiteks **pikkus** või **kiirus** – nägemise abil, **jõud** – lihaspinge vahendusel.

Atomistlik printsüüp väidab, et nii aine kui väli ei ole lõputult osadeks jagatavad. Mõlemal on olemas vähimad portsjonid, mida aine korral nimetatakse **fundamentaali-** või **alusosakesteks**, välja korral aga **kvantideks** (atomistliku printsüübi kitsas tähendus).

Energia miinimumi printsüüp väidab, et kõik iseeneslikud (mitte välismõjust tingitud) protsessid kulgevad kehade süsteemi energia kahanemise suunas. Süsteemil on kalduvus energiat loovutada (töö tagavara ära kulutada), jõuda minimaalse energiaga olekusse. Kui me soovime osakestele anda väga suuri energiasid, siis peame energia loovutamise nende jaoks võimatuks muutma. Energia miinimumi printsüüp avaldub ka süsteemide (aatomite, tuumade, nukleonide jms) moodustumises. Süsteemi tekkimisel **seoseenergia** vabaneb (antakse ära). Süsteemi lõhkumiseks tuleb aga seesama energia süsteemile väljastpoolt juurde anda. See asjaolu tagab süsteemide stabiilsuse looduses.

Tõrjutusprintsiiip (ehk Pauli printsiiip) väidab, et ühe alusosakese mõõtmatega määratud ruumpiirkonnas võib paikneda maksimaalselt kaks vastandlike spinnidega aineosakest. Ülejäänud tõrjutakse välja.

Aineosakesed ehk **fermionid** alluvad tõrjutusprintsiiibile, väljaosakesed ehk **bosonid** aga mitte.

Absoluutkiiruse printsiiip väidab, et puhtalt väljalise ehk nulliga võrduvat seisumassi omava objekti liikumine on absoluutne. See liikumine toimub kõikide aineliste vaatlejate jaoks ühesuguse kiirusega ehk absoluutkiirusega $c = 299\,792\,458$ m/s. Aineliste objektide omavaheline liikumine on suhteline.

Absoluutkiirust c nimetatakse sageli ka *valguse kiiruseks vaakumis*, kuna valgus on kõige tuntum näide puhtväljalise objekti kohta. Absoluutse piirkiiruse olemasolu fakt on aga ise palju tähtsam kui valgus, kuna piirkiirus tekitab meie adekvaatsed kujutlused ajast ja ruumist. Aastal 2017 on saadud esimesed vaatluslikud tõendid selle kohta, et ka gravitatsiooniväli levib absoluutkiirusega.

Dualismiprintsiip väidab, et nii ainel kui väljal on nii laine (pidevuse) kui ka portsjoni (kompaktsuse) omadused. Laineomadused tulevad ilmsiks osakeste liikumisel. Väljaosakeste (kvantide) korral seisneb laine vastava välja võnkumiste levikus. Aineosakestega kaasnev laine on **leiulaine**. Suuruseks, mis muutub selles laines, on tõenäosus osakese leidumiseks vastavas ruumiosas. Kehtib **de Broglie valem** $\lambda = h/p$, mille kohaselt objekti pidevusomadust kirjeldav suurus lainepikkus λ ja kompaktsuse omadust kirjeldav suurus impulss p on omavahel pöördvõrdelised.

Plancki konstant $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ näitab: 1) laineportsjoni energiat (kui sekundis tehakse üks võnge, siis laineportsjoni energia on $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}$); 2) osakese- ja lainemudeli vahet (kui dualismiprintsiibis (valem $\lambda = h/p$, nt. kui osakese impulss on 1 kg m/s , siis on tema leiulaine pikkus $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ m}$); 3) lõtku suurust ettemääratutes (kui objekti x -koordinaat on teada täpsusega 1 m , siis võib objekti impulss saada x -telje suunalise prognoosimatu juurdekasvu, mis ületab $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ kg m/s}$).

Plancki nurkkonstant $\hbar = h/2\pi \approx 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (loe tähist: h -rist, ingl h -bar, *reduced Planck constant*) eeldab nurga ühikuna radiaani, kui tavaline Plancki konstant eeldab nurga ühikuna täispööret. Eesti-keelses füüsikakirjanduses on levinud otsetõlge *taandatud Plancki konstant*. Plancki nurkkonstant määrab liikumise ja energia vähimate võimalike portsjonite suuruse mikromaailmas.

Lõtkuprintsiip (ka: **Heisenbergi määramatuse printsiiip**, *Heisenberg uncertainty principle*) väidab, et mitte ükski sündmus pole täiesti kindel ega ka täiesti võimatu (fatalistlikke protsesse tegelikkuses ei ole). Kõik sündmused toimuvad mingi tõenäosusega, mis võimatuks peetaval sündmusel on aga väga väike. Ettemääratutes on alati **lõtk** (määramatus). Füüsikalise objekti olevik ja tulevik ei saa olla üheaegselt määratud. Kui me teame täpselt, kus objekt asub praegu, siis me ei oska absoluutselt prognoosida tema käitumist tulevikus. Kui objekti tulevane käitumine on täielikult ettearvatav, siis me ei tea mitte midagi objekti praegusest asukohast. Märkus: **lõtk** on vahe masina kahe liikuva detaili vahel.

Mehaanilises maailmapildis, mille tekitasid Galilei ja Newton, peetakse oluliseks vaid kehi, nende liikumist ja vahetul kontaktil ilmnevat vastastikmõju. Vastastikmõju vahendajat ei tähtsustata.

Elektromagnetiline maailmapilt kujunes välja 19. sajandi lõpuks Faraday ja Maxwelli tööde tulemusena. Erinevalt mehaanilisest maailmapildist tähtsustatakse selles ka vastastikmõju vahendajat (välja).

Relativistlik maailmapilt kujunes välja aastail 1905-1919 Einsteini tööde tulemusena. Varasemale lisandus absoluutkiiruse printsiiip. Ilmnes pikkuse ja aja suhtelisus (relatiivsus).

Kvantmehaaniline maailmapilt kujunes välja aastail 1924-1930 Bohri, de Broglie, Schrödingeri, Heisenbergi, Pauli ja Diraci tööde tulemusena. Lisandusid dualismiprintsiip ja lõtkuprintsiip.

Terviklik kaasaegne maailmapilt kujunes välja 20. sajandi teisel poolel tugeva ja nõrga vastastikmõju avastamisega ning alusosakeste **standardmudeli** loomisega.

Standardmudeli kohaselt koosnevad kõik aineosakesed 12 alusfermionist. Need on 6 **leptonit** (elektron, müüon, tauon ja 3 vastavat neutriinot) ning 6 **kvarki** (*down, up, strange, charm, bottom, top*). Võivad eksisteerida ka 12 vastavat antiosakest. Vastastikmõjude vahendajateks on bosonid. Elektromagnetilist mõju vahendavad **footonid** (*photo* – valgus), tugevat mõju **gluonid** (*glue* – liim), nõrka mõju **uikionid** (*weak* – nõrk) ja gravitatsioonilist mõju **gravitonid** (seni katseliselt avastamata).

Kaasaegsele füüsikalisele maailmapildile on omane: 1) fermionide ja bosonite eristamine spinni alusel, 2) atomistliku printsiiibi rakendamine väljale (kvantväljateooria) ja 3) Standardmudeli kasutamine.

Fermionid on poolarvulise spinniga osakesed. Nad on **aine** ehituskivid. Algfermionide spinn on $\frac{1}{2}$. See tähendab, et nende sisemist liikumist kui pöörlemist saab iseloomustada impulsimomendiga, mille arv-väärtus on $\frac{1}{2}$ Plancki nurkkonstanti ($\hbar$). Spinnkvantarvu muutumine väärtuselt $+\frac{1}{2}$ kuni väärtuseni $-\frac{1}{2}$ tähendab pöörlemise suuna (impulsimomendi vektori suuna) muutumist vastupidiselt. Fermionid alluvad tõrjutusprintsiiibile ja seega ka ajalise-ruumilistele piirangutele.

Bosonid on täisarvulise spinniga osakesed. Enamasti on nad **välja** algosakesed. Bosonina võivad aga käituda ka kahest vastandlike spinnidega fermionist koosnevad terviklikud süsteemid. Vastastikmõjusid vahendavaid bosoneid (footon, gluuon, uikon ja graviton) nimetatakse sageli ka **vaheosakesteks**. Footoni, gluuoni ja uikoni spinn on 1. See tähendab, et lainena liikudes kannavad nad edasi impulssi, mis on leitav bosoni lainearvu korrutamisel ühe Plancki nurkkonstandiga. Bosoni tekkimisel või kadumisel muutub mõne protsessis osaleva fermioni impulsimoment esialgsele vastupidiseks. Bosonid ei allu tõrjutusprintsibile ja seega ka vastavatele ajalis-ruumilistele piirangutele.

Kvargid (d , s ja b elektrilaenguga $-1/3 e$ ning u , c ja t elektrilaenguga $+2/3 e$) osalevad kõigis vastastikmõjudes. Elektrilaengut ($-1e$) omavad **leptonid** (elektron, müüon ja tauon) ei osale tugevas mõjus. Elektrilaenguta **leptonid** (elektron-, müü- ja tauneutriino) osalevad vaid nõrgas ja gravitatsioonilises mõjus. Leptonite seisumassid on oluliselt väiksemad kvarkide omadest (*lepton* – kr. väike münt).

Kvarkidest koosnevad osakesed on alati valged. See tähendab, et nende värvilaeng on tasakaalus. Erinevad värvilaengud tõmbuvad (nii nagu ka erimärgilised elektrilaengud). Stabiilne seisund võib tekkida kahel viisil: 1) värvus esineb koos antivärvusega. Nii tekkivaid liitosakesi nimetatakse **mesoniteks**; 2) esineb segu kolmest värvusest või siis kolmest antivärvusest. Nii tekivad vastavalt kas siis **barüonid** või **anti-barüonid**. Ka meie tavalise aine osakesed prooton ja neutron on barüonid.

Osakese ja antiosakese kohtumisel nad lähevad üle vaakumolekusse (lahkuvad reaalmaailmast). Seda protsessi nimetatakse **annihilatsiooniks**. Aineosakeste energia arvel tekivad väljaosakesed (vastava mõju vahebosonid). On võimalik ka vastupidine protsess – suure energiaga vahebosonite muundumine osakese ja antiosakese paariks.

Neutriinod on väga väikese seisumassiga elektriliselt neutraalsed fermionid, mis tagavad leptonlaengu jäävuse nõrga vastastikmõju protsessides ja üldise arvamuse kohaselt moodustavad suure osa Universumi varjatud (teleskoopide abil mittevaadeldavast) massist.

Virtuaalseks nimetatakse osakest, mis tekib vastastikmõju protsessides energia jäävuse seaduse ajutise rikkumise arvel (määramatusseosega lubatud ajavahemiku $\Delta E \approx \hbar / \Delta t$ jooksul). Jõud kahe vastastikmõjus oleva fermioni vahel tekib põhjusel, et virtuaalboson on neile ühine.

Ruum on vaatleja kujutus, mis tekib kehade omavahelisel võrdlemisel. Ruumi ja aega objektiivselt olemas ei ole. Neil mõistetel on mõtet vaid sedavõrd, kui võrd on olemas kehad ja need kehad liiguvad.

Pikkus l (*longitudo*) on füüsikaline suurus, mis iseloomustab kehade mõõtmeid (pikem-lühem, suurem-väiksem). Pikkuse ühikuks valitakse mingi kõigile tuntud keha (**etalonkeha**) pikkus (nt. küünar, jal, vaks). Liikumise korral kasutatakse mõistet **teepikkus** (tähis s – lad *spatium* – ruum, ulatus)

Aeg on vaatleja kujutus, mis tekib liikumiste võrdlemisel. Aeg t kui füüsikaline suurus (lad *tempus*) iseloomustab sündmuste järgnevust (varem-hiljem). Ajast on mõtet kõnelda vaid siis, kui toimuvad sündmused (esineb liikumine). Aja kaudu me võrdleme ühe keha kiirust teise keha (etalonkeha) kiirusega. Kui näiteks keha A, liikudes kiirusega v_A läbib teepikkuse s_A ja keha B, liikudes kiirusega v_B läbib samas teepikkuse s_B , siis suhe $s_A / v_A = s_B / v_B = \dots$ jääb meie kujutlustes kõikide selliste kehade jaoks konstantseks. Seda suhet nimetatakse **ajaks** t . Mõnikord tähistatakse t abil ka **ajahetke**, mil toimub ülilühikese kestusega sündmus. **Ajavahemiku** (protsessi kestuse) tähiseks on siis Δt . Sümboliga Δ (delta) tähistatakse füüsikalise suuruse **muutu** (lõppväärtuse ja algväärtuse vahet).

Aja mõõtmisel kasutatakse enamasti mingit perioodilist liikumist. **Perioodiliseks** nimetatakse liikumist, millele on omane korduvus. Teatud kindla teepikkuse läbimisel (ajavahemiku möödumisel) algab kõik otsast peale. Seda ajavahemikku nimetatakse **perioodiks**. Aja ühikuks valitakse kas periood ise või mingi arv perioode.

Sekund (1 s) on aja põhiühik. Üks sekund on algselt 1/86400 ööpäevast (Maa ööpäevase pöörlemise perioodist). Kaasaegse definitsiooni kohaselt on üks sekund võrdne tseesiumi (^{133}Cs) aatomi elektronide ja tuuma vastastikmõjust tingitud elektromagnetkiirguse 9 192 631 770 perioodiga.

Meeter (1 m) on pikkuse põhiühik, mille korral etalonkehaks on algselt valitud Maa. 1 m on 1/40 000 000 Maa ümbermõõdust (täpsemalt – Pariisi meridiaani pikkusest). Kaasaegse definitsiooni kohaselt on üks meeter pikkus, mille valgus läbib vaakumis 1/299 792 458 sekundi jooksul.

Kiirus v (*velocitas*) näitab, kui pika tee läbib keha ajaühikus. Kiirus = teepikkus : aeg, $v = s / t$. See on kiiruse **kaudne määratlus** (aja mõiste eeldab kiirust). Kiiruse SI-ühik on **meeter sekundis** (1 m/s). Praktikaks kasutatakse sageli ühikut üks kilomeeter tunnis (1 km/h), kusjuures 1 m/s = 3,6 km/h.

Kiiruse otsene määratlus tähendab mingi kindla kiiruse valimist etaloniks. Selleks sobib absoluutkiirus $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ ehk ligikaudu $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Siis näiteks $108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s} = 10^{-7} c$.

- Taustsüsteem** määrab tingimused, milles liikumist vaadeldakse. Taustsüsteem koosneb **taustkehast** (kehast, mille suhtes liikumine toimub), koordinaadistikust ja ajamõõtjast (kellast).
- Klassikaline füüsika** tegeleb kehade, liikumise, vastastikmõju ja väljaga, rakendades atomistlikku printsiipi vaid kehadele, uurib makromaaailma nähtusi, mikro- ja megamaailma kirjeldada ei suuda. Ta uurib tegelikult vaid mudelina eksisteerivaid fatalistlikke protsesse kui kõige lihtsamaid.
- Kaasaegne füüsika** rakendab atomistlikku printsiipi ka väljale, arvestab spinni (sh. selle seost tõrjutusprintsiibiga), absoluutkiiruse printsiipi, dualismiprintsiipi ja tõenäosuslikkuse printsiipi, uurib ka mikromaaailma (kvantmehaanika) ja megamaailma (kosmoloogia). Kaasaegne füüsika uurib põhjuslikkuse mittefatalistlikke esinemisviise.
- Mehaanika** on füüsika osa, mis uurib liikumist.
- Koordinaat** on arv, mis näitab vaadeldava keha asukohta taustkeha suhtes (asendit taustsihi suhtes jne). Ristkoordinaadistiku korral näitab koordinaat, kui mitme pikkusühiku kaugusel taustkehast vaadeldav keha asub. Sõltumatute koordinaatide arv määrab ruumi mõõtmete arvu.
- Ruumi mõõtmete (ehk dimensioonide) arv** näitab, kui mitut koordinaati on üldjuhul vaja keha asukoha määramiseks selles ruumis. Meie ruum on kolmemõõtmeline, sõltumatuid koordinaate on kolm.
- Kujutlused kõrgdimensionaalsetest** ruumidest luuakse induktiivselt, liites kaks madalamamõõtmelist objekti. Ühemõõtmelise (1D) objekti määratlemiseks (lõigu saamiseks) ühendame kaks 0-mõõtmelist objekti (punkti), kahemõõtmelise (2D) objekti (ristküliku) määratlemiseks kaks omavahel ristuvat 1D objekti (lõiku) ja neile ühise 0D objekti (punkti).
- Kinemaatika** on mehaanika osa, mis kirjeldab liikumist, tundmata huvi selle põhjuste vastu. Kinemaatika püüab vastata vaid küsimusele Kuidas keha liigub?
- Liikumisvõrrandiks** $x = x(t)$ nimetatakse avaldist, mis suvalisel ajahetkel määrab vaadeldava keha kauguse taustkehast (koordinaadi x). Mõistet *liikumisvõrrand* kasutatakse sageli ka avaldise kohta, mis seob liikumist ja selle muutust kirjeldavaid suurusi liikumisolekut muutva põhjusega (jõuga). See avaldis on reeglina **diferentsiaalvõrrand** (sisaldab koordinaati ning tema ajalisi tuletisi).
- Punktmass** on keha, mille mõõtmel võib antud ülesande juures arvestamata jätta. Sel juhul võib vaadelda keha massi koondununa ühte punkti. Punktmass on keha mudel (üks füüsika üldmudelitest).
- Trajektoor** on keha kui punktmassi liikumistee. Trajektoori kuju järgi eristatakse sirgjoonelist, ringjoonelist ja kõverjoonelist liikumist. Kõverjooneline liikumine taandub ringjoonelisele. Trajektoori mõistel on mõtet ainult klassikalises füüsis, kus saab rääkida keha järjestikustest asenditest.
- Kulgliikumise** korral liiguvad keha kõik punktid ühtemoodi (läbivad sama aja jooksul sama teepikkuse).
- Pöördliikumise** korral leidub punkte, mis ise ei liigu. Need punktid moodustavad pöörlemistelje. Pöörlemistelje ümber liiguvad keha kõik teised punktid mööda ringjooni.
- Pöördliikumist kirjeldavad vektorsuurused** (nurkkiirus, nurkkiirendus, impulsimoment jne) on kokkuleppeliselt suunatud piki pöörlemistelge. Vektori suuna määrab **parema käe rusika reegel**: Kui rusikasse tõmmatud parema käe neli kõverdatud sõrme näitavad pöörlemise suunda, siis väljasirutatud põial näitab pöörlemist kirjeldava vektori suunda.
- Ühtlaseks** nimetatakse keha niisugust liikumist, mille korral keha läbib mistahes võrdsete ajavahemike jooksul ühesugused teepikkused. Ühtlasel liikumisel on kiirus konstantne.
- Mitteühtlaseks** nimetatakse keha niisugust liikumist, mille korral keha läbib mistahes võrdsete ajavahemike jooksul erinevad teepikkused.
- Kiirendus** kirjeldab kulgevalt liikuva keha liikumisoleku muutumist. Kiirendus näitab, kui palju muutub keha kiirus ajaühiku jooksul. Kiirendus $a = (\text{kiirus lõpul} - \text{kiirus algul}) : \text{aeg}$, mille jooksul see muutus toimus: $a = (v - v_0) / t$. Kiirenduse SI-ühik on üks meeter sekundi ruudu kohta (1 m/s^2).
- Ühtlaselt kiireneval või aeglustuval** liikumisel on kiirendus konstantne. Ühtlaselt kiireneval liikumisel $a > 0$, ühtlaselt aeglustuval liikumisel $a < 0$. Kiirus muutub sel juhul ajas seaduse $v = v_0 + a t$ järgi. Läbitud teepikkus on leitav seosest $s = v_0 t + a t^2 / 2$.
- Kui aeg ei ole teada**, võib algkiiruse v_0 , lõppkiiruse v või teepikkuse s leida seosest $v^2 - v_0^2 = 2 a s$.
- Mehaanika põhiülesandeks** on liikumisvõrrandi $x = x(t)$ määramine. Reeglina liidetakse mehaanika põhiülesande lahendamisel vektoriaalselt kehale mõjuvad jõud ning formuleeritakse Newtoni II seadus kui diferentsiaalvõrrand, arvestades, et kiirendus on koordinaadi teine ajaline tuletis $a = d^2x/dt^2$. Selle diferentsiaalvõrrandi lahendamine annabki meile liikumisvõrrandi $x = x(t)$.
- Operaatoriks** nimetatakse eeskirja toiminguteks, mis tuleb teostada operaatori järel tuleva avaldisega (seda nimetatakse operaatori **rakendamiseks**).

Ajalise tuletise operaator d/dt on nende toimingute loetelu, mida tuleb teostada koordinaadi rollis esineva suurusega, selleks et saada uuritava suuruse muutumise kiirust. Näiteks $dx/dt = \lim (\Delta x / \Delta t)$ tähendab, et tuleb leida koordinaadi lõpp- ja algväärtuse vahe $x - x_0 = \Delta x$ ning samasugune aja väärtuste vahe $t - t_0 = \Delta t$. Seejärel tuleb need vahed omavahel jagada ning leida tekkinud suhte piirväärtus vaadeldava ajavahemiku lähenemisel nullile ($t \rightarrow t_0$ või $\Delta t \rightarrow 0$). Lühidalt: **Diferentseerimine** (ehk **tuletise leidmine**) = **lahutamine** + **jagamine**. Koordinaadi tuletis on hetkkiirus $dx/dt = v(t)$.

Ajalise integraali operaator $\int v(t) dt$ on nende toimingute loetelu, mida tuleb teostada kiiruse rollis esineva suurusega v , selleks et saada suurust, mille muutumise kiirusest on jutt. **Integreerimine** on vajalik juhul, kui meil tuleb kahte füüsikalist suurust omavahel korrutada, aga vähemasti üks suurustest muutub uuritava protsessi käigus ja me ei tea, millist tema väärtust kasutada. Ajalisel integreerimisel võtame vaatluse alla niivõrd lühikese ajavahemiku, et kiirus v selle aja jooksul oluliselt muutuda ei jõua. Me leiame ülilühikeste ajavahemike Δt jooksul läbitavad teepikkused $v \Delta t$ ja liidame nad kokku.

Piirväärtust sellisest summast ajavahemiku pikkuse lähenemisel nullile ($\Delta t \rightarrow 0$) nimetatakse ajaliseks **integraaliks**. Lühidalt: **integreerimine** = **korrutamine** + **liitmine**. Hetkkiiruse integraal üle aja on lõpp- ja algkoordinaadi vahe ehk liikumisel läbitud teepikkus $\int v(t) dt = x - x_0$.

Ringliikumises olevat keha (punktmassi) ja ringjoone keskpunkti ühendav lõik r (trajektoori raadius) pöörduv aja t jooksul mingi nurga φ võrra. Seda nurka nimetatakse pöördenurgaks. Pöördenurga SI ühikuks on radiaan (1 rad).

Üks radiaan on nurk, mille korral ringjoone kaare pikkus s võrdub raadiusega r . Sellest $\varphi = s/r$ ja $s = \varphi r$. Nurga mõõtmisel radiaanides on võrdeteguriks kaare pikkuse ja pöördenurga vahel raadius.

Nurkkiirus ω kirjeldab pöörlevalt liikuva keha liikumisolekut. Nurkkiirus näitab, kui suur pöördenurk läbitakse ajaühikus. $\omega = \varphi / t$. Nurkkiiruse SI-ühik on üks radiaan sekundis ($1 \text{ rad} / \text{s} = 1 \text{ s}^{-1}$).

Perioodiks T nimetatakse aega, mille jooksul piki ringjoont liikuv keha teeb ühe ringi (jõuab tagasi lähtepunkti). Pöördliikumisel nimetatakse perioodiks aega, mille jooksul pöörlev keha teeb ühe täispöörde (läbib pöördenurga 2π rad). Seega nurkkiirus $\omega = 2\pi / T$.

Joonkkiirus ringliikumisel = ringjoone pikkus : periood. $v = 2\pi r / T$. Seega $v = \omega r$. Joonkkiirus on suunatud piki ringjoone puutujat.

Kesktrajektiirendus (normaalkiirendus) väljendab ringliikumisel kiiruse suuna muutumist ajas.

Kesktrajektiirendus on kiirusega alati risti ning vektorina suunatud ringjoone keskpunkti.

Kesktrajektiirendus avaldub kujul $a_k = v^2 / r$ ehk $a_k = \omega^2 r$.

Nurkkiirendus α (vektorina α) kirjeldab pöörleval liikumisel keha liikumisoleku muutumist. Nurkkiirendus näitab, kui palju muutub nurkkiirus ajaühiku jooksul. $\alpha = (\omega - \omega_0) / t$. Nurkkiirenduse SI-ühik on üks radiaan sekundi ruudu kohta ($1 \text{ rad} / \text{s}^2$ ehk 1 s^{-2}).

Ühtlaselt kiireneval või aeglustuval ringliikumisel või pöördliikumisel on nurkkiirendus konstantne.

Ühtlaselt kiireneval ring- või pöördliikumisel $\alpha > 0$, ühtlaselt aeglustuval $\alpha < 0$. Nurkkiirus muutub sel juhul ajas seaduse $\omega = \omega_0 + \alpha t$ järgi. Läbitud pöördenurk: $\varphi = \omega_0 t + \alpha t^2 / 2$.

Dünaamika on mehaanika osa, mis uurib liikumise põhjusi. Dünaamika püüab vastata küsimusele Miks keha liigub? Dünaamika tegeleb jõududega. **Jõud** F (vektorina $\mathbf{F}$) on füüsikaline suurus, mis kirjeldab kehadevahelise vastastikmõju tugevust. Dünaamika aluseks on 3 Newtoni seadust:

Newtoni I seadus (inertsiseadus) väidab, et iga keha liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt seni, kuni vastastikmõju teiste kehadega tema sellist olekut ei muuda. Keha inertsuse mõõduks on suurus, mida nimetatakse **massiks** m . Massi SI-ühikuks on **kilogramm** (1 kg). Ruumalaühiku kohta tulevat massi nimetatakse **tiheduseks** $\rho = m/V$. Mass iseloomustab keha, tihedus aga ainet, millest see keha koosneb.

Newtoni II seadus väidab, et keha kiirendus on võrdeline jõuga, $a = F / m$ (või $F = m a$). *Jõud on see põhjus, mis muudab keha liikumisolekut*. Ehk kasutades impulsi mõistet: Keha impulsi muutumise kiirus on võrdne kehale mõjuva jõuga. $\mathbf{F} = d\mathbf{p} / dt$ (N II s. üldkuju). Jõu SI-ühikuks on üks **njuuton** (1 N). See on jõud, mis annab kehale massiga 1 kg kiirenduse 1 m/s^2 . $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$.

Newtoni III seadus väidab, et kaks keha mõjutavad alati teineteist suuruselt võrdsete kuid vastandlikult suunatud jõududega, $F_{12} = -F_{21}$. *Mõju ja vastumõju on võrdsed*.

Keha impulsiks nimetatakse keha massi ja kiiruse korrutist $\mathbf{p} = m \mathbf{v}$. Impulss näitab kulgevast liikuva keha suutlikkust teisi kehi liikuma panna. Suletud süsteemis on kehade summaarne impulss jääv (impulsi jäävuse seadus). **Impulsi jäävuse seadus** on samaväärne Newtoni seadustega. Impulsi ühikuks SI-süsteemis on üks kilogramm korda meeter sekundis ($1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$).

Kepleri seadused kirjeldavad planeetide liikumist, gravitatsiooniseadus seletab seda (näitab ära põhjuse).

I seadus: Planeedid liiguvad mööda ellipseid, mille ühes fookuses asub Päike.

II seadus: Päikese ja planeedi ühenduslõik katab liikudes ühesuguste ajavahemike jooksul võrdsed pindalad.

III seadus: Planeedi tiirlemisperioodi (planeedi aasta) ruut on võrdeline orbiidi pikema pooltelje kuubiga.

Gravitatsiooniseadus väidab, et mistahes kaks keha mõjutavad teineteist gravitatsioonijõuga, mis on võrdeline kummagi keha gravitatsioonilaengu ehk **raske massiga** ja pöördvõrdeline kehadevahelise kauguse ruuduga. $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$. Võrdetegurit $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ nimetatakse **gravitatsioonikonstandiks**. Inertset ja rasket massi loetakse ühikusüsteemide konstrueerimisel võrdseteks.

Raskusjõud on kehale (massiga m) Maa poolt mõjuv gravitatsioonijõud: $F_r = m g = G \frac{M m}{R^2}$, kus M on Maa mass ja R – Maa raadius. Seega raskuskiirendus $g = G \frac{M}{R^2}$. Arvuliselt $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Keha potentsiaalne energia raskusväljas avaldub kujul $E_p = m g h$, kus g on raskuskiirendus ja h – keha kaugus energia nulltasemest (kõrgus maast).

Kaal on jõud, millega keha mõjub oma alusele või pingutab riputusvahendit (nööri, trossi vms.)

Rõhk p (ingl *pressure*) on pinnale mõjuva jõu ja selle pinna pindala suhe: $p = F/S$. Rõhu SI ühikuks on paskal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$). Sageli mõõdetakse rõhku vedelikusamba kõrguse h kaudu, kasutades valemit $p = \rho g h$, kus ρ on vedeliku tihedus ja $g = 9,8 \text{ N/kg}$ on raskusjõu tegur (raskuskiirendus).

Normaalne õhurõhk on 760 mm Hg (ehk Torr) $= 101,3 \text{ kPa} \approx 10^5 \text{ Pa}$. Vihmase ilmaga on õhurõhk sellest madalam, ilusa ilmaga kõrgem. Kasutatakse ka ühikuid $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ja $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$.

Üleslükkejõud $F_{\text{ü}}$ mõjub vertikaalselt üles vedelas või gaasilises aines paiknevatele kehadele ja võrdub keha poolt välja tõrjutud aine raskusjõuga: $F_{\text{ü}} = \rho g V_a$, kus V_a on uuritava keha vedeliku pinnast allapoole jääva osa ruumala. Mida sügavamal ujuv keha paikneb, seda suurem on üleslükkejõud.

Toereaktsioon T (või F_n) on jõud, millega alus või riputusvahend mõjutab keha. Toereaktsioon mõjub alati risti aluspinnaga või siis piki riputusvahendit. Toereaktsioon ja kaal on Newtoni III seaduse kohaselt võrdsed. Kaal mõjub kehalt alusele (või riputusvahendile), toereaktsioon mõjub aluselt kehale.

Hõõrdejõud F_h on jõud, mis takistab ühe keha libisemist piki teise keha pinda. Hõõrdejõud on enamasti põhjustatud pindade ebatasasusest. Pindade määrimine ehk nende katmine vedeliku kihiga vähendab hõõrdejõude, sest pindade konarused ei puutu enam kokku. Et mingi vedelik toimiks hea määrdena, peab ta olema parajal määral voolav. Liiga hästi voolav vedelik valgub ära ning jätab pinna paljaks. Halvasti voolava vedeliku korral segab libisemist vedeliku molekulide vahel mõjuv tõmbejõud.

Hõõrdetegur μ näitab, kui suure osa moodustab pindade vahel toimiv hõõrdejõud F_h pindu omavahel kokku suruvast (normaalisuunalisest) jõust F_n . Seega $\mu = F_h / F_n$. Hõõrdetegur on ühikuta suurus (kahe jõu suhe) ja ta sõltub mõlemast kontakteeruvast pinnast. Õpetust asjaoludest, mis määravad igal konkreetsel juhul hõõrdeteguri, nimetatakse **triboloogiaks**.

Mehaaniliseks tööks A nimetatakse jõu F ja tema mõjumise sihis sooritatud nihke s (keha poolt läbitud teepikkuse) korrutist. Üldjuhul $A = F s \cos \alpha$, kus α on nurk jõu mõjumise suuna ja nihke suuna vahel. Töö ja energia ühikuks SI-süsteemis on džaul (1 J). $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$. Üks džaul on töö, mida teeb jõud üks njuuton, nihutades mingit keha oma mõjumise suunas ühe meetri võrra.

Võimsus (N või P) näitab ajaühikus tehtud tööd. **Võimsus on töö tegemise kiirus**. $P = A / t$. Võimsuse SI-ühikuks on vatt (1 W). Võimsus on üks vatt, kui 1 sekundis tehakse üks džaul tööd. $1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}$. Kui kiirus muutub, siis muutub ka liikumiseks vajalik võimsus. **Hetkvõimsus** $P(t) = F \cdot v(t)$.

Hetkvõimsus on esitatav selle energia ajalise tuletisena, mille arvel tööd tehakse: $P(t) = dE/dt$.

Lihtmehhanismide (kang, plokk, kaldpind) töö aluseks on **mehaanika kuldreegel**: samapalju, kui me võidame jõus, kaotame teepikkuses. Kasutades väiksemat jõudu, peame läbima vastavalt pikema tee.

Kineetiline energia on tingitud keha liikumisest. See avaldub massi ja kiiruse kaudu kujul $E_k = m v^2 / 2$. Kineetiline energia on võrdne keha kiirendamisel (liikumalükkamisel) tehtud tööga. Pidurdudes teeb keha ise tööd oma kineetilise energia arvel.

Mehaanilise energia jäävuse seadus väidab, et keha kineetilise ja potentsiaalse energia summa on jääv.

Konservatiivseteks (mehaanilist energiat säilitavateks) nimetatakse jõude, mille mõjumisel mehaanilise energia jäävuse seadus kehtib. **Dissipatiivseteks** (energiat hajutavateks) nimetatakse jõude, mille mõjumisel mehaanilise energia jäävus ei kehti. Dissipatiivsed jõud on näiteks hõõrdejõud ja keskkonna takistusjõud.

Üldine energia jäävuse seadus väidab, et isoleeritud süsteemi **koguenergia** kui kõikide energialiikide (sh soojusenergia) summa – on jääv. Energia ei teki ega kao.

Keskkonna takistusjõud F_t on jõud, millega keskkonna osakesed mõjuvad selles keskkonnas liikuvale kehale. Liikuv keha peab keskkonna osakesed enda ees liikuma panema – andma neile sama suure lisakiiruse v , kui on liikaval kehal endal. Selleks peab liikuv keha Newtoni II seaduse kohaselt muutma keskkonna osakeste impulssi (ajavahemiku dt jooksul dp võrra), mõjutades iga osakest liikumise suunalise jõuga $F_1 = dp/dt$. Osakesed mõjutavad keha sama suure ja liikumisele vastassuunalise jõuga (Newtoni III seadus). Neist jõududest summeerubki keskkonna takistusjõud. Takistusjõu moodul sõltub keha kiirusest v üldjuhul astmefunktsiooni järgi: $F_t = bv + cv^2 + \dots$, kus keha kujust sõltuvad kordajad $b, c, d..$ rahuldavad samas ühikusüsteemis võrratust $b \gg c \gg d..$ jne. Seetõttu loetakse takistusjõudu väikesel kiirusel ($v < 1$ m/s) enamasti kiirusega võrdeliseks ($F_t = bv$), jättes astmerea kõrgemad liikmed arvestamata. Kui soovime rõhutada takistusjõu ja kiiruse vastassuunalisust, siis kasutame valemis vektorkuju ning miinusemärki: $F_t = -b v$.

Inertsjõud on näiv jõud, mis mõjub kiirendusega liikuvale kehale, kui me vaatleme seda keha paigalseisvana. Inertsjõu näivus seisneb selles, et me ei oska näidata seda teist keha, mille poolt inertsjõud uuritavale kehale mõjub. Tuntuim inertsjõud on tsentrifugaaljõud.

Tsentrifugaaljõud mõjub ringjooneliselt liikuvale kehale, mida me parajasti vaatleme paigalseisvana. Vahend (nöör, tross vms), mis hoiab keha ringjoonelisel trajektoiril, mõjutab keha kesktõmbejõuga (tsentripetaaljõuga). Kesktõmbejõud annab kehale kesktõmbekiirenduse $a_k = v^2/r$. Vaadeldava kehaga seotud taustsüsteemis tasakaalustavad tsentrifugaaljõud ja kesktõmbejõud teineteist.

Jõumoment M on jõu ja tema öla korrutis. **Jõu ölak** nimetatakse jõu mõjumise sihi kaugust pöörlemisteljest. Jõumoment kirjeldab kehade vastastikmõju pöördliikumisel. Ta iseloomustab jõu mõju keha pöörlemisele. Jõumomendi ühikuks SI-süsteemis on üks njuuton korda meeter ($1 \text{ N} \cdot \text{m}$). Jõumoment on esitatav jõu rakenduspunkti kohavektori r (pöörlemistelje suhtes) ja jõuvektori F vektorkorrutisena $M = r \times F$ ning on suunatud parema käe rusikareegli kohaselt piki pöörlemistelge.

Inertsimoment I näitab keha omadust säilitada oma pöörlemisolekut. Samas näitab ta ka pöörleva keha osade massi jaotust pöörlemistelje suhtes. Keha element (pisike osa) massiga m , asudes kaugusel r pöörlemisteljest, omab inertsimomenti $I = m r^2$. Inertsimomendi ühikuks SI-süsteemis on üks kilogramm korda meeter ruudus ($1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$). Mass kulgliikumisel = inertsimoment pöördliikumisel.

Impulsimoment (ehk pöörlemishulk) L näitab pöörleva keha suutlikkust teisi kehi liikuma panna (või siis pöörleva keha osade impulsside mõju pöörlemisele). Kui pöörleva keha osa massiga m liigub joonkiirusega v piki ringjoont kaugusel r pöörlemisteljest, siis tema impulsimoment on kauguse r ja impulsi $p = m v$ korrutis: $L = m v r$. Impulss kulgliikumisel = impulsimoment pöördliikumisel. Impulsimoment kui vektor: $L = r \times p$, kus p on keha (või selle mingi osa) impulss ja r - keha (või selle osa) kohavektor pöörlemistelje suhtes.

Impulsimomendi jäävuse seadus väidab, et suletud süsteemi impulsimoment on jääv suurus.

Impulsimoment on inertsimomendi ja nurkkiiruse korrutis. $L = m v r = (m r^2) \cdot (v/r)$ ja seega $L = I \cdot \omega$. See kehtib ka pöörleva keha kui terviku kohta. Impulsimomendi SI-ühikuks on üks kilogramm korda meeter ruudus sekundi kohta ($1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$).

NB! Millegi *moment* füüsikas = see suurus ise $\times$ mingi pikkus.

Pöördliikumise dünaamika põhivõrrand on Newtoni II seadus pöördliikumise kohta. Ta väidab, et impulsimomendi tuletis aja järgi võrdub jõumomendiga: $dL/dt = M$. Ehk teisiti - *jõumoment on see põhjus, mis muudab keha impulsimomenti*.

Mehaaniline töö pöördliikumisel on esitatav jõumomendi ja pöördnurja korrutisena $A = M \cdot \varphi$.

Nurkkiirusega ω pöörleval ja inertsimomenti I omaval kehal on pöördliikumise kineetiline energia, mis avaldub kujul $E_k = I \omega^2/2$

Keha massikeskmeks nimetatakse punkti, mille suhtes keha osade raskusjõudude momentide summa on alati null (jõumomendid on tasakaalus, keha raskusjõudude mõjul ei pöördu). Keha käsitlemisel punktina vaadeldakse keha massi paiknevana keha massikeskmes.

Deformatsiooniks nimetatakse keha kuju muutumist jõu mõjul. Kui jõu mõju lakkamisel deformatsioon kaob, siis nimetatakse deformatsiooni (ja ka vastavat keha) **elastseks**. Kui jõu mõju lakkamisel deformatsioon (vähemalt osaliselt) jääb alles, siis nimetatakse deformatsiooni (ja ka vastavat keha) **mitteelastseks** ehk **plastseks**.

Elastse deformatsiooni liigid on venitus (või surve), kõverdus, nihe ja vääne. Kehas tekkivat jõudu, mis püüab taastada keha esialgset kuju, nimetatakse elastsusjõuks. Kõverdus taandub survele või venitusele, vääne taandub nihkele.

- Hooke'i seadus** väidab, et kehas tekkiv elastsusjõud F_e on võrdeline keha pikkuse muutusega (pikene-misega) x : $F_e = -k x$. Miinusmärk Hooke'i seaduses näitab, et elastsusjõud on deformeeriva jõu suhtes vastassuunaline. Võrdetegurit k nimetatakse jäikusteguriks. Jäikustegur iseloomustab keha. Ta näitab, kui suur elastsusjõud tekib keha pikkuse ühikulisel muutmisel. Ühikuks on 1 N/m.
- Elastusjõu** (deformeeritud keha) **potentsiaalne energia** avaldub kujul $E_p = k x^2 / 2$.
- Võnkumine** on perioodiline (korduv) liikumine, mille korral impulsi (liikumishulga) ja energia levikut ei toimu. Võnkuvale kehale mõjub alati tasakaaluasendi poole suunatud (nn. taastav) jõud, mis tasakaaluasendile lähenemisel liikumist kiirendab, sellest asendist kaugenemisel aga pidurdab. Tähtsaim võnkumist iseloomustav füüsikaline suurus on **sagedus** – võngete (perioodide) arv ajaühikus. Sageduse SI-ühikuks on **herts** (1 Hz) ehk üks võnge sekundis.
- Laine** on perioodiline (korduv) liikumine, mille korral toimub impulsi (liikumishulga) ja energia levik suurte vahemaade taha. Laine on aineosakeste või välja liikuv konfiguratsioon (paigutus). Laines osalevad osakesed liiguvad vähe, laine ise liigub palju. Võnkumine on vaadeldav laine erijuhuna (seisulaine).
- Harmoonilise võnkumise** korral muutub keha hälve (kõrvalekalle) tasakaaluasendist x ajas siinus- või koosinusseaduse kohaselt: $x = A \sin \omega t$ või $x = A \cos \omega t$. Siinusega on tegemist juhul, kui aja arvestus algab tasakaaluasendist. Koosinus esineb juhul, kui aja arvestus algab maksimaalse hälbe asendist. Suurus A on maksimaalne hälve, mida nimetatakse **amplituudiks**. Suurust ωt nimetatakse **faasiks**. Faasi SI-ühikuks on radiaan.
- Faas** näitab, millises seisundis võnkuv keha parajasti on. Faasi mõõtmine nurga kaudu põhineb sarnasusel võnkumise ja ringliikumise (pöörlemise) vahel. Faas muutub ajas lineaarselt, niisamuti nagu pöördenurk ühtlasel ringliikumisel. Faasi muutumise kiirust ω nimetatakse **ring-** või **nurksageduseks**. Nurksagedus on identne nurkkiirusega ringliikumisel, mille periood ühtib võnkumiste perioodiga. Suurust φ liikumisseaduses $x = A \cos(\omega t + \varphi)$ nimetatakse **algfaasiks** (faasiks hetkel $t = 0$).
- Perioodiks** T nimetatakse võnkumiste kirjeldamisel aega, mille jooksul tehakse üks võnge. Ringsagedus ja periood on omavahel seotud niisamuti nagu ringliikumisel: $\omega = 2\pi / T$.
- Sagedus** f näitab võngete arvu ajaühikus. Sageduse SI-ühikuks on herts (1 Hz). Üks herts on üks võnge sekundis. Sagedus ja periood on teineteise pöördväärtused: $f = 1 / T$. Kui sagedus on võngete arv sekundis, siis nurksagedus on võngete arv 2π sekundis (radianide arv sekundis). Järelikult on nurksagedus arvuliselt 2π korda suurem: $\omega = 2\pi f$.
- Harmooniliste võnkumiste energia** on võrdeline amplituudi ruuduga: $E = 0,5 m \omega^2 A^2$. Kui harmooniliselt võnkuva süsteemi **hälve** muutub ajas seaduse $x = A \cos \omega t$ järgi, siis **kiirus** muutub seaduse $v = -\omega A \sin \omega t$ järgi ja **kiirendus** seaduse $a = -\omega^2 A \cos \omega t$ järgi.
- Oma-võnkesagedus** ω_0 on määratud võnkuva süsteemi omadustega. Näiteks vedrupendli korral $\omega_0^2 = k / m$, kus k on vedru jäikustegur ja m koormise mass. Matemaatilise pendli korral $\omega_0^2 = g / l$, kus g on raskuskiirendus ja l pendli pikkus. Oma-võnkeperioodid: $T = 2\pi (m / k)^{1/2}$ ja $T = 2\pi (l / g)^{1/2}$.
- Eksponentsiaalne sõltuvus** kahe füüsikalise suuruse vahel (nt. $A(t) = A_0 e^{-\beta t} = A_0 e^{-t/\tau}$) tekib siis, kui tagajärje rollis esineva suuruse (funktsiooni) muutus on võrdeline põhjuse (argumendi) muutusega ja võrdetegur sisaldab funktsiooni algväärtust A . Lühidalt: eksponentsiaalne sõltuvus tekib siis, kui muutus on võrdeline algkogusega. Sumbetegur β on ajateguri τ pöördväärtus: $\beta = 1/\tau$.
- Ajategur** τ on aeg, mille jooksul ajas eksponentsiaalselt kahanev suurus muutub arv $e = 2,7183..$ korda või siis aeg, mille jooksul protsess lõpeks, kui esialgne lineaarne muutus jätkuks.
- Sundvõnkumiste** korral mõjub võnkuvale süsteemile perioodiline välisjõud. Amplituud sõltub selle jõu ringsagedusest ω . Välisjõu mingil kindlal sagedusel muutub amplituud väga suureks, sest välisjõud lükkab süsteemi igal võnkel takka. Sellist olukorda nimetatakse **resonantsiks**. Resonants tekib välisjõu ringsagedusel $\omega_r = (\omega_0^2 - 2\beta^2)^{1/2}$, mida nimetatakse **resonantssageduseks**.
- Laineteks** nimetatakse võnkumiste levimist ruumis. **Pikilaine** korral toimuvad võnkumised laine levimise sihis, **ristlaine** korral aga laine levimise suunaga ristuvast sihis. **Lainepikkus** λ on kahe lähima laineharja vahekaugus. Lainete levimiskiirus $v = \lambda / T = \lambda f$.
- Seisulaine** on laine, mille korral võnkumiste energia levikut ei toimu. Seisulaine tekib juhul, kui keha otsale lähenev laine ning otsalt tagasi peegeldunud laine tugevdavad teineteist interferentsil. Seisulaine iga punkt võngub kindla amplituudiga. Punkte, kus amplituud on maksimaalne, nimetatakse seisulaine **paisudeks**. Punkte, mis ei võngu, nimetatakse seisulaine **sõlmedeks**.

Seisulaine tekkimisel pillikeeles paikneb pillikeele otstel alati sõlm. Seetõttu peab pillikeele pikkusele L mahtuma täisarv n poollainepikkusi: $L = (\lambda/2) n$, millest $\lambda_n = 2L/n$ ja $f_n = (v/2L) n$ (v on lainete kiirus). Kui $n = 1$, on tegemist põhitooniga, kui $n > 1$, siis vastava ülemtooniga. Võnkumine esineb lainefüüsikas kui seisulaine.

Põhitooniks nimetatakse omavõnkesagedusega (siin ω_1) toimuvat võnkumist, **ülemtooniks** (kõrgemaks harmooniliseks) aga võnkumist põhitooni sagedusest täisarv n korda suurema sagedusega ω_n .

Võnkumiste (või lainete) sageduste **spekter** näitab, kui tugevasti on liitvõnkumises esindatud üks või teine ülemtoon. Spekter on amplituudi sõltuvus ülemtooni numbrist n või selle sagedusest ω_n (f_n).

Lainefront on niisuguste ruumi punktide hulk, milleni võnkumine on antud hetkeks jõudnud. Lainefroni kuju järgi eristatakse eelkõige tasalaineid ja keralaineid.

Lainete levimiskiirus on määratud levimiskeskonna omadustega. Pikilainetel tahkises (pinguletõmmatud nööris või traadis) $v = (F/\rho S)^{1/2}$ (F - pingutusjõud, ρ - tihedus, S - ristlõikepindala).

Lainefunktsioon määrab lainetusel levivate võnkumiste hälbe u sõltuvalt koordinaatidest ja ajast. Piki x - telge leviva tasalaine korral lainefunktsioon $y(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$, kus suurust k nimetatakse lainearvuks. **Lainearv** $k = 2\pi/\lambda$ näitab, kui mitu lainepikkust mahub 2π meetrisse.

Huygens'i printsiip: Lainefroni iga punkti võib vaadelda uute lainete allikana.

Lainete interferents on lainete liitumine. Interferents tekib tavaliselt siis, kui ühe ja sellesama laine kaks osa läbivad uuritavasse punkti jõudmisel erineva teepikkuse. Osalainete poolt läbitud teepikkuste vahet nimetatakse käiguvaheks Δ . Käiguvahele Δ vastab faasivahe $\varphi = k\Delta$, kus k on lainearv.

Liitlaine amplituud on maksimaalne, kui $\varphi = 2\pi n$ ja $\Delta = n\lambda$, kus n on täisarv (interferentsi maksimumi tingimus). Liitlaine amplituud on minimaalne, kui $\varphi = 2\pi(n + 1/2)$ ja $\Delta = (n + 1/2)\lambda$.

Lainete difraktsioon on lainete kõrvalekalle sirgjoonelisest levimisest (levik varju piirkonda). Difraktsioon on hästi jälgitav, kui tõkke või ava mõõtmed on lainepikkusega samas suurusjärgus.

Heli on elastsulaine (gaasis või vedelikus - pikilaine, tahkises - ka ristlaine). Heli **kõrguse** määrab põhitooni sagedus, **tämbri** määrab sageduste spekter ning **valjuse** lainete intensiivsus.

Lainete intensiivsus näitab, kui palju energiat kannab laine ajaühikus läbi levimissuunaga ristuva ühikulise pinna. Intensiivsuse SI-ühikuks on 1 W/m^2 . Heli intensiivsuse nulltasemeks (kuuldeläveks) loetakse $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Heli valjus detsibellides (dB) on määratud valemiga $10 \log(I/I_0)$, kus I on vaadeldava helilaine intensiivsus.

Relativistlik füüsika on selline aja ja ruumi käsitus, mis lähtub absoluutkiiruse printsiibist. Relativistliku füüsika põhiidee: olemas on vaid see, mille mõju on kohale jõudnud. Kui teade sündmusest on alles teel, siis see sündmus on antud vaatleja jaoks veel toimumata. Ruum on olemas vaid sedavõrd, kui temas on kehi. Aeg on olemas vaid sedavõrd, kui temas toimuvad sündmused.

Absoluutkiiruse printsiipi on õpikutes kombeks esitada kahes osas:

1. Kõik vaatlusandmed on suhtelised (relatiivsuspriintsiip). Füüsikaliste suuruste väärtused on üksteise suhtes liikuvate vaatlejate jaoks erinevad ning ükski vaatleja pole eelistatud.
2. On olemas suurim võimalik kiirus – kiirus, millega levib väli ainelise objekti suhtes (valguse kiirus vaakumis $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$). See kiirus on kõigi vaatlejate jaoks üks ja sama (absoluutse kiiruse konstantsuse printsiip). Aine ei saa järele jõuda väljale.

Kui tegevuspaik vaatleja suhtes liigub, siis selle vaatleja jaoks:

Ajavahemikud pikenevad: $\Delta t = \Delta t_0 \gamma$, kus Δt_0 on omaaeg (aeg paigaloleva kella järgi).

Pikkused lühenevad: $l = l_0 / \gamma$, kus l_0 on omapikkus (pikkus eseme enda taustsüsteemis).

Mass suureneb: $m = m_0 \gamma$, kus m_0 on seisumass (keha mass keha endaga seotud taustsüsteemis).

Nende muutuste ulatust näitav **Lorentzi tegur** $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$ suureneb kiiruse suurenemisel.

Erirelatiivsusteooria (ERT) vaatleb vaid ühtlaselt liikuvaid (ehk inertsiaalseid) taustsüsteeme.

Üldrelatiivsusteooria (ÜRT) vaatleb lisaks ka mitteühtlaselt (kiirendusega) liikuvaid taustsüsteeme. Üldrelatiivsusteoorias kasutatakse **ekvivalentsuspriintsiipi**: gravitatsioon ja inerts on samaväärsed (ekvivalentsed). Vaatleja, kes tajub jõu olemasolu, ei saa ainult jõuaistingu põhjal kindlaks teha, kas jõud on põhjustatud kiirendusega liikumisest (inertsist) või gravitatsioonist. On vaja teisi aistinguid.

Relatiivsusteooria tähtsaim järeldus: mass ja energia kui kaks peamist füüsikalise objekti olemasolu väljendavat suurust – on samaväärsed (ekvivalentsed): $E = mc^2$. Aine olemasolu avaldub vaatlejale eelkõige läbi massi, välja olemasolu aga eelkõige läbi energia.

Elektrilaeng (q või Q) näitab, kui tugevasti keha osaleb elektromagnetilises vastastikmõjus. Looduses leidub kahte liiki elektrilaenguid, mida kokkuleppeliselt nimetatakse **positiivseteks** ja **negatiivseteks**. Samamargiliselt laetud kehade vahel mõjub tõukejõud, erimargiliselt laetud kehade korral aga tõmbejõud. Elektrilaengu SI-ühikuks on **üks kulon** (1 C).

Elementaarlaenguks e nimetatakse vähimat laengu väärtust. $1 e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Prootonil on laeng $+e$, elektronil $-e$, neutronil laeng puudub. d - ja b -kvarkidel on elektrilaeng $-1/3 e$; u -, c - ja t -kvarkidel aga $+2/3 e$. Aatomeid hoiab koos prootonite ja elektronide vahel mõjuv elektriline tõmbejõud.

Elektrilaengu jäävuse seadus väidab, et elektriliselt isoleeritud süsteemi kogulaeng on jääv suurus. Laeng võib tekkida ja kaduda vaid paarikaupa ($+q$ ja $-q$ üheskoos).

Vabad laengukandjad on laetud osakesed, mis saavad liikuda kogu vaadeldava keha või ainekoguse piires.

Elektrivool on laengukandjate suunatud liikumine. **Voolu** (kokkuleppeliseks) **suunaks** on positiivsete laengukandjate liikumise suund (vooluringis plussilt miinusele).

Voolutugevus näitab, kui suur laeng läbib ajahüki juhi ristlõiget, $I = q/t$ ja $q = I t$. Voolutugevuse ühikuks on üks **amper** (1 A). **Üks kulon** on laeng, mis läbib ühe sekundi jooksul sellise juhi ristlõiget, milles kulgeb vool tugevusega üks amper. Kuna $q = I t$, siis $1 C = 1 A \cdot 1 s$.

Punktlaenguteks nimetatakse laetud kehi, mille mõõtmed on tühiselt väikesed võrreldes nende vahekaugusega. Punktlaeng on keha, mille elektrilaengut võib vaadelda koondununa ühte punkti.

Coulomb'i seadus: Kaks punktlaengut mõjutavad teineteist jõuga, mis on võrdeline nende laengute korrutisega ja pöördvõrdeline laengutevahelise kauguse ruuduga $F = k q_1 q_2 / r^2$. Jõud on suunatud piki laetud kehi ühendavat sirget ja sõltub ainest, milles nad asuvad. Vaakumis võrdetegur $k = 1/(4\pi \epsilon_0)$, kus suurust ϵ_0 nimetatakse **elektrikonstandiks**. $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. See tähendab, et kahe punktlaengu 1 C vahel mõjub vaakumis vahekaugusel 1 m jõud $9 \cdot 10^9 \text{ N}$.

Elektrivälja tugevus E näitab, kui suur jõud mõjub selles väljas ühikulise positiivse laenguga kehale. Elektrivälja tugevust võib lühidalt nimetada **E -vektori**. E -vektor on alati suunatud positiivselt laetud kehast eemale ja negatiivselt laetud keha poole (plussilt miinusele). Punktlaeng Q tekitab endast kaugusel r väljatugevuse $E = k Q / r^2$ (k - võrdetegur Coulomb'i seaduses).

Superpositsiooni printsiip (liitumise põhimõte): kehade süsteemi väljatugevuse leidmiseks tuleb üksikute kehade väljatugevuse vektoreid liita. Superpositsiooni printsiip tuleneb välja omadusest mitte segada teist välja (väljaosakesel ei ole vajadust personaalse ruumi järele).

Välja jõujoon on mõtteline joon, mille igas punktis on väljavektor selle joone puutuja sihiline. Jõujoone suund ühtib väljavektori suunaga. Seal, kus väli on tugevam, paiknevad jõujooned tihedamalt.

Aine dielektriline läbitavus ϵ näitab, kui mitu korda on elektrijõud vaakumis (F_0) suurem elektrijõust antud aines (F). $\epsilon = F_0 / F$, seega $F = F_0 / \epsilon$.

Elektrinihe D iseloomustab keskkonnast sõltumatult keha võimet tekitada elektrivälja (nihutada teisi laetud kehi). Kui laetud keha tekitab aines välja tugevusega E , siis elektrinihe D näitab, millise väljatugevuse (ϵE) tekitab seesama keha vaakumis. Üldiselt $D = \epsilon_0 \epsilon E$ (ühik $1 \text{ C} / \text{m}^2$).

Voog Φ on füüsikaline suurus, mis näitab, kuivõrd välja jõujooned läbivad mingit pinda. Voo arvutamisel tuleb välja kirjeldav suurus (D , E vms.) korrutada selle pinna pindalaga S ning koosinusega nurgast β pinna normaali ja välja suuna vahel. Näiteks elektrinihke voog $\Phi_D = D S \cos \beta$.

Gaussi seadus: Elektrinihke voog läbi kinnise pinna võrdub selle pinna poolt piiratud laengute algebralise summaga. Kui on vaja leida elektrinihke väärtust mingil pinnal, siis tuleb jagada just seda elektrinihet põhjustav laeng pinna pindalaga (elektrinihe = laeng/pindala). Gaussi seadus elektrinihke kohta ei sisalda korrutist $\epsilon_0 \epsilon$, seadus väljatugevuse kohta aga sisaldab. Näiteks homogeense elektrivälja elektrinihe kahe erinimeliselt laetud tasase metallplaadi vahel: $D = q / S$, aga elektrivälja tugevus $E = q / \epsilon_0 \epsilon S$, kus q on ühe plaadi laeng ja S - selle pindala.

Homogeenseks nimetatakse välja, mille tugevuse vektor on kõigis ruumi punktides ühesugune nii pikkuselt kui suunalt. Homogeense elektrivälja tugevus kahe erinimeliselt laetud tasase metallplaadi vahel avaldub kujul $E = q / \epsilon_0 \epsilon S$, kus q on ühe plaadi laeng ja S - selle pindala.

Väljatugevus kirjeldab välja jõu kaudu, **potentsiaal** ja **pinge** aga töö kaudu, mida vastav jõud võib ära teha, seejuures sõltumatult töö tegemise viisist (trajektoori kujust). Välja, milles tehtud töö ei sõltu trajektoori (liikumistee) kujust, nimetatakse **potentsiaalseks väljaks**. Gravitatsiooniväli ja elektrostaatiline (paigalseisvatest laetud kehade põhjustatud) väli on potentsiaalsed.

Punktlaengu q potentsiaalne energia homogeenises elektriväljas tugevusega E on esitatav kujul $E_p = q E d$, kus d on punktlaengu kaugus energia nulltasemest. Homogeenises gravitatsiooniväljas (raskusväljas) vastab sellele punktmassi m potentsiaalse energia valem $E_p = m g h$.

Ühe punktlaengu q potentsiaalne energia teise punktlaengu Q (mittehomogeenises) elektriväljas tugevusega E on esitatav kujul $E_p = q E r = k q Q / r$, kus r on laengute vahekaugus.

Välja potentsiaal φ näitab, kui suur on vaadeldavas punktis ühikulise positiivse laenguga keha potentsiaalne energia $\varphi = E_p / q$. Punktlaeng Q tekitab endast kaugusel r elektrivälja, mille potentsiaal $\varphi = k Q / r$ (k - Coulomb'i võrdetegur).

Ekvipotentsiaalpinnaks nimetatakse ühesugust potentsiaali omavate väljapunktide hulka. Ekvipotentsiaal-pinnad ja jõujooned on omavahel alati risti.

Pinge U on kahe väljapunkti potentsiaalide vahe, potentsiaal aga on pinge mingi kokkuleppelise nulltaseme suhtes. Pinge kirjeldab olukorda, milles välja jõud tööd teevad. Pinge on suur seal, kus töö on pinge-line (seda tööd on raske teha).

Kahe punkti vaheline pinge näitab, kui suure töö teeb väli positiivset ühikulist laengut omava keha viimisel ühest punktist teise: $U = A / q$. Potentsiaali ja pinge ühikuks on üks volt.

Üks volt (1 V) on pinge elektrivälja kahe punkti vahel siis, kui laengu 1 C viimisel ühest punktist teise teeb elektriväli töö 1 J: $1 \text{ V} = 1 \text{ J} / 1 \text{ C}$.

Pinge ja väljatugevuse seos: väljatugevus kahe ekvipotentsiaalpinna vahel on leitav nende pindade vahelise pinge jagamisel pindade vahekaugusega: $E = U / d$.

Üks volt meetri kohta (1 V/m) on sellise elektrivälja tugevus, milles potentsiaal muutub piki jõujoont igal meetril ühe voldi võrra: $1 \text{ V/m} = 1 \text{ N/C}$. Kuju 1 V/m kasutatakse rohkem.

Üks elektronvolt (1 eV) on töö, mida teeb elektriväli ühe elementaarlaenguga osakese (elektroni) viimisel ühest punktist teise, kui nende punktide vaheline pinge on üks volt: $1 \text{ eV} = 1 e \cdot 1 \text{ V}$.

Energeetiline seosekonstant mikro- ja makromaailma vahel: $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} / e$ ehk J / eV .

Magnetvälja tekitab elektrivool (laengukandjate liikumisega kaasnev elektrivälja muutumine). Magnetvälja tekitavad aga ka aineosakesed, millel on olemas spinn. See on osakeste **omamagnetväli**.

Püsimagnet on magnetiliselt aktiivne keha. Püsimagneti magnetväli on tema osakeste omamagnetväljade summa. Tinglikult eristatakse püsimagneti **põhja- ja lõunapoolust** (N ja S). Kahe püsimagneti erinev nimelised poolused tõmbuvad, samanimelised aga tõukuvad. Magnetvälja kokkuleppelist suunda näitab selles väljas orienteerunud magnetnõela põhjapoolus.

Vooluga juhtme magnetväljas pöördub magnetnõel juhtmega ristuvasse asendisse (Oerstedi katse). Kui ühisel paralleelsetes juhtmetes kulgevad samasuunalised voolud, siis mõjub juhtmete vahel tõmbejõud. Vastassuunaliste voolude korral mõjub tõukejõud. Ristuvate juhtmete vahel jõudu ei mõju.

Ampère'i seadus: Vooluga juhtmelõigule mõjuv jõud F on võrdeline juheta läbiva voolu tugevusega I , juhtmelõigu pikkusega l ja siinusega nurgast α voolu suuna ja magnetvälja suuna vahel: $F = B I l \sin \alpha$.

Vasaku käe reegel: Kui vasaku käe 4 väljasirutatud sõrme osutavad voolu suunda ja magnetväli on suunatud peopessa, siis väljasirutatud põial näitab juhtmelõigule mõjuva magnetjõu suunda. Magnetjõud on alati risti nii voolu kui ka magnetvälja suunaga.

Kahe ühepikkuse ja paralleelse juhtmelõigu vahel mõjuv jõud on võrdeline juhtmelõikude pikkusega l ning voolutugevustega juhtmetes (I_1 ja I_2). See jõud on ka pöördvõrdeline juhtmelõikude vahekaugusega r . Ühtekokku: $F = K I_1 I_2 l / r$. Vaakumi korral võrdetegur $K = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$. SI-süsteemis esitatakse ta kujul $K = \mu_0 / 2\pi$, kus suurust $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ nimetatakse **magnetkonstandiks**.

Ühik 1 A: Kui kahe paralleelse, lõpmata pika ja lõpmata peenikese sirgjuhtme korral, milles voolab ühesuguse tugevusega vool ja mille vahekaugus on 1 m, mõjutab üks juhe teise juhtme mistahes ühe meetri pikkust lõiku jõuga $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$, siis on voolutugevus juhtmetes **üks amper**.

Magnetinduktsioon B näitab jõudu, mis mõjub ühikulise vooluga ja ühikulise pikkusega juhtmelõigule selle juhtmega ristuv magnetväljas: $B = F / (I l)$. Magnetinduktsioon on vektoriaalne suurus ja teda võib nimetada ka **B -vektoriks**. B -vektori kokkuleppelist suunda näitab magnetväljas orienteerunud magnetnõela põhjapoolus. Magnetinduktsiooni SI ühikuks on **tesla**.

Üks tesla (1 T) on sellise magnetvälja induktsioon, milles välja suunaga ristuvale juhtmele pikkusega 1 m ja vooluga 1 A mõjub välja poolt jõud 1 N: $1 \text{ T} = 1 \text{ N} / (1 \text{ A} \cdot 1 \text{ m})$.

Magnetvälja jõujoon on mõtteline joon, mille igas punktis on B -vektor suunatud piki selle joone puutujat. Väljaspool püsimagnetit kulgevad jõujooned põhjapooluselt lõunapoolusele (N→S). Magnetvälja jõujooned on kinnised jooned ehk pöörised. Magnetväli on **solenoidaalne väli** ehk **pöörisväli**.

“Parema käe rusika” reegel: Kui rusikasse tõmmatud parema käe väljasirutatud põial näitab voolu suunda, siis neli kõverdatud sõrme näitavad selle voolu magnetvälja suunda.

Aine magnetiline läbitavus μ näitab, kui mitu korda on magnetjõud selles aines (F) suurem jõust vaakumis (F_0). $\mu = F / F_0$, seega $F = \mu F_0$. Kuna magnetinduksioon on määratud jõu kaudu, siis ka $\mu = B / B_0$, ning $B = \mu B_0$, $B_0 = B / \mu$.

Magnetvälja tugevus H iseloomustab keskkonnast sõltumatult voolu võimet tekitada magnetvälja. Kui vool tekitab aines magnetinduksiooni B , siis magnetvälja tugevus H näitab, millise magnetinduksiooni ($B_0 = B / \mu$) tekitaks seesama vool vaakumis. Üldiselt $H = B / (\mu_0 \mu)$ ja $B = \mu_0 \mu H$. Magnetvälja tugevuse ühikuks on amper meetri kohta (1 A/m).

Sirgujuhe, milles kulgeb vool I , tekitab endast kaugusel r magnetinduksiooni $B = K I / r$. SI-süsteemis $B = (\mu_0 \mu / 2\pi) I / r$, kus μ on ümbritseva keskkonna magnetiline läbitavus.

Ringjuhe läbimõõduga d ja vooluga I , tekitab oma tsentris magnetinduksiooni $B = \mu_0 \mu I / d$ ja seega magnetvälja tugevuse $H = I / d$.

Üks amper meetri kohta on sellise magnetvälja tugevus, mida tekitab oma tsentris ringjuhe läbimõõduga 1 m, kui temas kulgeb vool 1 A.

Solenoid (pikk ja kitsas juhtmepool), milles kulgeb vool tugevusega I , tekitab oma teljel magnetinduksiooni $B = (\mu_0 \mu N / l) I$. Siin N - solenoidi keerdude arv ja l - solenoidi pikkus. Magnetinduksioon on alati võrdeline teda tekitava vooluga.

Lorentzi jõud F_L , mis mõjub laengut q omavale ja kiirusega v liikuvale osakesele magnetväljas induksiooniga B , avaldub kujul $F_L = q v B \sin \alpha$, kus α on nurk osakese liikumissuuna ja magnetvälja suuna vahel. Juhtmelõigule mõjuv magnetjõud, mis on määratud Ampère'i seadusega $F = B I l \sin \alpha$, summeerub liikuvatele laengukandjatele mõjuvatest Lorentzi magnetjõududest.

Elektromotoorjõud $\mathcal{E}$ näitab kõrvaljõudude tööd positiivse ühiklaengu ühekordsel läbiviimisel kogu vooluringist. Elektromotoorjõud on suurim pinge, mida antud vooluallikas on üldse suuteline tekitama (allikapinge) ehk siis kõigi vooluringis esinevate pingete summa.

Elektromagnetilise induksiooni nähtuseks nimetatakse elektrivälja tekkimist magnetvälja muutumisel.

Seda elektrivälja nimetatakse **pööriselektriväljaks**, kuna tema jõujooned on kinnised jooned ehk pöörised (väli on solenoidaalne). Kui juhe lõikab liikumisel magnetvälja jõujooni, siis toimib juhtmes **induksiooni elektromotoorjõud**. Kui juhe on vooluringi osa, siis tekib selles induksioonivool.

Induksioonivoolu tekitamiseks juhtmes teeb tööd jõud, mis liigutab juhet magnetväljas. See jõud ongi induksiooni elektromotoorjõudu määravaks kõrvaljõuks. Magnetväljas liikuva juhtmelõigu kineetiline energia muundub pööriselektrivälja energiaks (see põhjustab täiendava pidurduse).

“Tavalise” magnetjõu tekkimine: magnetväli + elektrivool $\rightarrow$ magnetjõud $\rightarrow$ juhtme liikumine.

Elektromagnetiline induksioon: magnetväli + juhtme liikumine $\rightarrow$ magnetjõud $\rightarrow$ elektrivool.

Magnetväljas liikuva juhtmelõigu otstel tekkiv pinge U (induksiooni elektromotoorjõud $\mathcal{E}_i$) avaldub kujul $U = v l B \sin \alpha$, kus v on liikumise kiirus, B – magnetinduksioon, l – juhtmelõigu pikkus ja α – nurk liikumise suuna ning magnetvälja suuna vahel (sama nurk α , mis Lorentzi jõu valemis).

Magnetvoog näitab, millisel määral läbivad magnetvälja jõujooned vaadeldavat pinda. Magnetvoog avaldub kujul $\Phi = B S \cos \beta$, kus B on magnetinduksioon pinnal, S - pinna pindala ning β - nurk pinna normaali ja magnetvälja suuna vahel. Magnetvoo ühikuks on üks veeber.

Üks veeber (1 Wb) on magnetvoog, mis läbib pinda pindalaga 1 m^2 selle pinnaga ristuvast magnetväljas, kui välja magnetinduksioon on 1 T. $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$.

Faraday induksiooniseadus: Kontuuris tekkiv induksiooni elektromotoorjõud on võrdeline magnetvoo muutumise kiirusega kontuuris. SI-süsteemi korral on võrdetegur valitud võrdseks ühega ja järelikult $\mathcal{E}_i = - \Delta \Phi / \Delta t$. Miinusmärk väljendab Lenzi reeglit.

Lenzi reegel: Induksioonivoolu suund on selline, et tema magnetväli takistaks voolu põhjustavat magnetvoo muutumist. Induksioonivool toimib alati vastupidiselt voolu esile kutsuvale põhjusele. Algse magnetvälja muutus ΔB ja induksioonivoolu magnetväli B_i on alati vastassuunalised.

Elektromagnetväli on elektromagnetilist vastastikmõju vahendav ühtne väli, mis võib avalduda kas elektri- või magnetväljana. Elektromagnetväli levib ruumis **elektromagnetlainena**, milles elektri- ja magnetväli muutuvad perioodiliselt teineteiseks (muutuv elektriväli tekitab muutuva magnetvälja, see aga jälle muutuva elektrivälja).

Alalisvooluks nimetatakse elektrivoolu, mille tugevus ja suund ajas ei muutu.

Laengukandjate kontsentratsiooniks n nimetatakse vabade laengukandjate arvu aine ruumalaühiku kohta: $n = N/V$. Sellest $N = nV$, laengukandjate arv on kontsentratsiooni ja ruumala korrutis.

Voolutugevus I on esitatav ühe laengukandja laengu q , laengukandjate kontsentratsiooni n , suunatud liikumise kiiruse v ja juhtme ristlõikepindala S korrutisena $I = qnvs$.

Ohmi seadus: Voolutugevus juhisis on võrdeline juhi otstele rakendatud pingega: $I = GU = U/R$.

Võrdetegurit G nimetatakse juhtivuseks, tema pöördväärtust R aga juhi takistuseks.

Juhi takistus näitab, kui suure pingega rakendamisel juhi otstele tekib selles juhisis ühikulise tugevusega vool: $R = U/I$. Takistuse mõõtühikuks on üks oom ($1\ \Omega$). Juhi takistus on võrdeline tema pikkusega ja pöördvõrdeline ristlõikepindalaga. Võrdeteguriks on aine eritakistus ρ : $R = \rho l/S$. Metallide takistust põhjustab laengukandjate vastastikmõju võnkuvate aatomjääkidega.

Üks oom on sellise juhi takistus, mille otstele rakendatud pingega 1 V tekitab juhisis voolu 1 A.

Aine eritakistus ρ näitab, kui suur on sellest ainest valmistatud ühikulise pikkuse ja ühikulise ristlõikepindalaga keha takistus. $\rho = RS/l$. Aine eritakistuse ühikuks on üks **oom korda meeter**. $1\ \Omega\cdot\text{m}$ on sellise aine eritakistus, mille tükk pikkusega 1 m ja ristlõikepindalaga $1\ \text{m}^2$ omab takistust $1\ \Omega$.

Takistiteks nimetatakse kindlat takistust omavaid juhte. Takisti takistus on reeglina palju suurem ühendusjuhtmete takistusest. Takistite **jadaühenduse** kogutakistuse leidmisel takistusi liidetakse.

Rööpuhenduse kogutakistuse pöördväärtuse leidmiseks liidetakse takistuste pöördväärtusi.

Takistuse (eritakistuse) **temperatuuritegur** α näitab, kui suur on antud aine eritakistuse suhteline muutus 0°C juures temperatuuri tõusmisel ühe kraadi võrra. $\alpha = (\rho - \rho_0)/\rho_0 t$. Sellest $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$. Takistuse temperatuuriteguri ühikuks on pöördkraad ($^\circ\text{C}$)⁻¹.

Ülijuhtivas olekus aine eritakistus on praktiliselt null. Ülijuhtivus on võimalik vaid allpool kriitilist temperatuuri T_k .

Joule'i-Lenzi seadus: Elektrivoolu toimet juhisis eralduv soojushulk Q on võrdeline voolutugevuse I ruuduga, juhi takistusega R ja voolu kestusega t : $Q = I^2 R t$.

Elektriseadme võimsuse saab esitada voolutugevuse ja pingega korrutisena $N = IU$. Kütteseadme või lambi **takistus tööolukorras** on leitav nimivõimsuse N ja nimipinge U kaudu valemist $R = U^2/N$.

Üks kilovatt-tund ($1\ \text{kW}\cdot\text{h}$) on energia, mis ühe tunni jooksul eraldub seadmes võimsusega üks kilovatt. $1\ \text{kW}\cdot\text{h} = 1000\ \text{W}\cdot 3600\ \text{s} = 3,6\ \text{megadžauli (MJ)}$.

Vooluallikaks nimetatakse seadet, mis muundab mitteelektrilist energiat elektrienergiaks. Vooluallikas rakenduvad mitteelektrilised jõud ehk kõrvaljõud.

Ohmi seadus kogu vooluringi kohta: $I = \mathcal{E}/(R + r)$ või $\mathcal{E} = IR + Ir$, voolutugevus ahelas on võrdeline elektromotoorjõuga ja pöördvõrdeline kogutakistusega (r on vooluallika **sisetakistus**).

Sisetakistus iseloomustab vooluallika sees laengukandjate suunatud liikumist pidurdavate jõudude toimet. Pingega sisetakistusel $U_s = Ir$ on mitte elektrijõu vaid just kõrvaljõu (mitteelektrilise jõu) poolt ja liikumist takistava jõu vastu tehtud töö ühikulise laengu läbiviimiseks vooluallikast.

Kahe keha omavaheline mahtuvus C näitab, kui suure laengu viimisel ühelt kehalt teisele tekib kehade vahel ühikuline pingega: $C = q/U$.

Keha mahtuvus näitab, kui suure laengu andmisel kehale tekib potentsiaali ühikuline muutus: $C = q/\Delta\phi$.

Ühe keha mahtuvusest räägitakse siis, kui teine asjaosaline keha on väga kaugel.

Üks farad ($1\ \text{F}$) on sellise keha mahtuvus, millele tuleb anda laeng üks kulon, selleks et muuta tema potentsiaali ühe voldi võrra: $1\ \text{F} = 1\ \text{C}/1\ \text{V}$.

Kondensaatoriks nimetatakse kehade süsteemi, mis on loodud mingi kindla mahtuvuse saamiseks. Kondensaator koosneb kahest juhtivast plaadist ehk kattedest, mille vahel paikneb dielektriku kiht. Kondensaatori mahtuvus C on tema katete omavaheline mahtuvus.

Plaatkondensaatori mahtuvus on võrdeline katete pindalaga S , katetevahelise aine dielektrilise läbitavusega ε ja pöördvõrdeline katete vahekaugusega l : $C = \varepsilon_0 \varepsilon S/l$.

Elektrivälja energia kondensaatoris avaldub kujul $E_e = CU^2/2$, kus C on kondensaatori mahtuvus ja U tema pingega. Kuna $U = El$, siis on elektrivälja energia võrdeline väljatugevuse ruuduga. See on analoogiline deformeeritud keha potentsiaalse energiaga $E_p = kx^2/2$.

Endainduktsiooni nähtus esineb juhul, kui juhisis induktsiooni elektromotoorjõudu põhjustav magnetvoo muutus on tingitud voolu muutumisest juhisis endas.

Juhi induktiivsus L näitab, kui suur endainduktsiooni elektromotoorjõud tekib selles juhis voolu ühikulisel

muutumisel ajaühiku jooksul, $L = -\mathcal{E}_e / (\Delta i / \Delta t)$ või $L = -\mathcal{E}_e / (di/dt)$. Sellest $\mathcal{E}_e = -L (di/dt)$.

Ühe juhtmekeeru korral näitab induktiivsus magnetvoo muutust $\Delta\Phi$, mille tekitab selles keerus ühikuline voolu muutus Δi : $L = \Delta\Phi / \Delta i$. Induktiivsuse ühikuks on üks henri (1 H). Induktiivsus kirjeldab laengukandjate liikumisel esinevat inertsust vaadeldavas juhis (nagu seda teeb mass mehaanikas).

Üks henri (1 H) on sellise juhi induktiivsus, milles voolu muutumine kiirusega üks amper ühes sekundis kutsub esile endainduktsiooni elektromotoorjõu üks volt: $1 \text{ H} = 1 \text{ V} / (1 \text{ A/s}) = 1 \text{ Wb} / 1 \text{ A}$.

Magnetvälja energia juhtme poolis induktiivsusega L ja vooluga I avaldub kujul $E_m = LI^2/2$. See on analoogiline kineetilise energiaga $E_k = mv^2/2$, mida omab liikuv keha massiga m ja kiirusega v .

Elektromagnetväli on elektromagnetilist vastastikmõju vahendav ühtne väli. Elektri- ja magnetväli on ühtse elektromagnetvälja kaks piirjuhtu olukorras, kus välja tekitav keha on vaatleja suhtes paigal.

Elektromagnetlaine on elektromagnetvälja levik ruumis. Elektriväli levib edasi magnetvälja vahendusel, magnetväli aga elektrivälja vahendusel. Elektromagnetlained levivad aines kiirusega $v = 1/(\mu_0\mu\epsilon_0\epsilon)^{1/2}$, vaakumis aga absoluutkiirusega $c = 1/(\mu_0\epsilon_0)^{1/2}$.

Elektromagnetlainete skaalal paiknevad sageduse suurenemise (lainepikkuse kahanemise) järjekorras raadiolained, infravalgus, nähtav valgus, ultravalgus, röntgenikiirgus ja gammakiirgus. Optika uurib seda osa elektromagnetlainete skaalast, mille korral tuleb arvestada nii laine- kui ka osakese-omadusi (infra-, nähtav ja ultravalgus ning röntgenikiirgus).

Valguse spektraalparameetrid on lainepikkus λ , sagedus $f = c/\lambda$ [nt f (THz) = 300 Mm/s / λ (μm)], spektroskoopiline lainearv k' ($k' = 1/\lambda$, levinuim ühik 1 cm^{-1}) ja kvandi energia hf (ühik 1 eV). Laine- pikkus vaakumis ja kvandi energia on omavahel seotud valemiga $\lambda \text{ (nm)} = 1240 \text{ nm} \cdot \text{eV} / hf \text{ (eV)}$.

Aatomi planetaarmudeli kohaselt sarnaneb aatom Päikesesüsteemiga. Päikese rollis on aatomi **tuum**, planeetide osa täidavad tuuma ümber tiirlevad **elektronid** (laenguga $-e$). Aatomi mõõtmed on suurusjärgus $10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ Å}$ (1 ongström), tuuma omad aga suurusjärgus $10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ f}$ (1 fermi). Tegelikult on planetaarmudel ebaadekvaatne, mitte mingit elektroni tiirlemist pole olemas, elektronide liikumine tuuma ümber ei ole kulgliikumine, see on tegelikult võnkumine (seisulaine). Planetaarmudel on heaks näiteks makromaailmast pärineva mudeli mitterakendatavuse kohta mikromaailmas.

Tuuma moodustavad **prootonid** ja **neutronid**. Prootoni laeng on $+e$ ja neutronil laeng puudub. Prootoni mass ületab ca 1836,1 korda ja neutroni mass 1838,7 korda elektroni massi ($9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$). Aatomi mass koosneb peaaegu täielikult vaid tuuma massist.

Bohri aatomimudel eeldab, et planetaarne aatom omab kindla energiaga **statsionaarseid** ehk ajas muutumatu olekuid. Statsionaarses olekus aatom elektromagnetlaineid ei kiirga (Bohri I postulaat). Aatom kiirgab või neelab elektromagnetlaineid siirdel ühest statsionaarsest olekust teise (Bohri II postulaat). Bohri aatomimudeli katseline alus on aatomi kiirgusspektri joonte paiknemine seeriatena.

Kvantarvudeks nimetatakse arve, mis määravad mikroobjekti (aatomit, elektroni vms) kirjeldavate füüsikaliste suuruste väärtusi.

Balmer-Rydbergi valem määrab vesiniku aatomi kiirgusjoonte lainepikkused λ või kvandi energiad hf kujul $1/\lambda = R' \{(1/n_l^2) - (1/n_a^2)\}$ või $hf = R \{(1/n_l^2) - (1/n_a^2)\}$, kus suurust $R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ nimetatakse **Rydbergi konstandiks** ja sellele vastavat energiat $R = 13,6 \text{ eV}$ **Rydbergi energiaks**. n_l ja n_a on täisarvud. Arv n_l (lõppoleku kvantarv) määrab konkreetse seeria (näiteks Lymani seerial $n_l = 1$, Balmeri seerial $n_l = 2$ jne). Arv n_a (algoleku kvantarv) määrab antud joone seeria piires, kusjuures alati $n_a > n_l$. Seeria lühilainelisele piirile vastab $n_a = \infty$.

Elektroni impulsimoment $L_n = m v_n r_n$ on Bohri mudelis Plancki nurkkonstandi $\hbar = h/(2\pi) = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ täisarv-kordne: $L_n = n \hbar$.

Aatomi energia on pöördvõrdeline kvantarvu n ruuduga $E_n = -R/n^2$, kus R on Rydbergi energia.

Elektroni orbiidi raadius on võrdeline kvantarvu n ruuduga: $r_n = r_1 n^2$, kus r_1 on vesiniku aatomi põhiolekku orbiidi raadius ehk **Bohri raadius**, $r_1 = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Elektronorbiitidel on kindlad raadiused, sest elektronidel on **laineomadused**. Impulsiga p liikuv elektronil on lainepikkus $\lambda = h/p$ (de Broglie valem). Elektronilaine peab olema iseendaga kooskõlas, s.t. orbiidi pikkus $2\pi r_n$ peab olema täisarv n lainepikkusi λ_n .

Elektroni kiirus orbiidil on pöördvõrdeline kvantarvuga n : $v_n = v_1/n$, kus v_1 on elektroni kiirus põhiolekus, $v_1 = 2,188 \cdot 10^6 \text{ m/s} = 2188 \text{ km/s}$.

Elektroni kujuteldava tiirlemise sagedus on pöördvõrdeline kvantarvu n kuubiga: $f_n = f_1 / n^3$, kus f_1 on elektroni tiirlemissagedus põhiolekus, $f_1 = 6,58 \cdot 10^{15} \text{ Hz} = 6580 \text{ THz}$.

Siirdel ühest aatomi kvantolekust teise kiirgub või neeldub elektromagnetvälja kvant energiaga $E_{em} = h f$ või $E_{em} = \hbar \omega$. Kvandi võnkesagedus omab kahe siirdes osaleva oleku sageduste vahele jäävat väärtust.

Mitmeelektronilise aatomi korral iseloomustatakse elektroni kvantarvudega n , l , m_l ja s .

Peakvantarv n määrab elektroni keskmise kauguse tuumast ja enamasti ka elektroni energia.

Orbitaalkvantarvu (ehk kõrvalkvantarvu) l poolest erinevad elektroni leiulained kui seisulained, mis on kindlaviisiliselt sulustatud tuuma läbivale teljele (leiulaine kujud on sümmeetrilised selle telje suhtes).

Kvantarv l määrab elektroni orbitaalse impulsimomendi vektori pikkuse: $|l| = \hbar [l(l+1)]^{1/2}$

Orbitaali nimetatakse elektroni leiulaine kindlat kuju aatomis. Kvantarvu l suurenemise järjekorras tähistatakse orbitaale väikeste tähtedega s ($l = 0$), p ($l = 1$), d ($l = 2$), f ($l = 3$) jne. Orbitaali tüübi järgi räägitakse s -, p -, d - jne elektronidest (tähe ees paikneb kvantarv n , näiteks $2p$ - või $3d$ - elektron).

Magnetkvantarv m_l määrab orbitaali telje (elektroni impulsimomendi vektori) asendi ruumis antud laine-tüübi jaoks. Magnetkvantarv näitab, kui suur on elektroni orbitaalse impulsimomendi vektori l projektsioon l_z aatomile mõjuva magnetvälja suunale z . Selle projektsiooni pikkus (z -teljele) $l_z = m_l \hbar$.

Kvantarvude võimalikud väärtused on järgmised: $n = 1, 2, 3, \dots$; $l = 0, 1, \dots, n-1$ (täisarvud 0 ja $n-1$ vahel); $m_l = -l, \dots, +l$ (täisarvud $-l$ ja $+l$ vahel).

Spinnkvantarvu s võimalikud väärtused on $-1/2$ ja $+1/2$. Need väljendavad elektroni spinni kahte võimalikku asendit magnetväljas (vastassuunaline ning samasuunaline).

Elektroni energia aatomis määrab eelkõige tema peakvantarv (keskmine kaugus tuumast). Orbitaalkvantarvu mõju on nõrgem ning magnet- ja spinnkvantarvu oma veelgi nõrgem.

Elektroni oleku (seisundi) määrab kvantarvude n , l , m_l ja s kindel kombinatsioon.

Olekute kidumiseks nimetatakse olukorda, mil erinevates olekutes elektronidel on sama energia. Aatomile mõjuv elektri- või magnetväli kaotab kidumise.

Tõrjutusprintsiip väidab aatomi kohta, et ühes ja samas aatomis ei saa olla kaht elektroni, mille kõik neli kvantarvu (n , l , m_l ja s) langeksid kokku. Iga kindla arvukombinatsiooniga määratud "korterisse" (personaalsesse ruumi) mahub ainult üks elektron. Kolme esimese kvantarvuga (n , l , m_l) määratud ruumi (teineteise sisse) mahub kaks elektroni, mille spinnid seejuures on vastandlike suundadega.

Kihiline elektronkate kujuneb elektronide lisandumisel aatomisse nii, et nende energia oleks minimaalne ja tõrjutusprintsii nõue oleks täidetud. Kihi numbriks (tuuma poolt lugedes) on peakvantarv n , alakihi (orbitaali kuju) määrab kõrvalkvantarv l . Ühte elektronikihti saab kuuluda maksimaalselt $2n^2$ elektroni.

Orbitaalidest täitub enne see, millel summa $n + l$ on väiksem. Kui $n + l$ on võrdne, siis täitub enne see orbitaal, millel n on väiksem (täitumise järjekord: $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, \dots$)

Valikureeglid määravad aatomi kvantarvude muutumise siirdel. Nad väljendavad impulsi jäävuse seadust. Valikureeglid on: $\Delta L = \pm 1$, $\Delta J = \pm 1, 0$ v.a. $0 \rightarrow 0$, $\Delta S = 0$ (vähem range).

Molekul on süsteem, mis koosneb ühist välimist elektronikihti omavatest aatomitest. Aatomeid seob reeglina omavahel kovalentne keemiline side, mis realiseerub ühiste elektronipaaride vahendusel. Molekul võib koosneda nii ühesugustest (molekulid O_2 , N_2), kui ka erinevatest aatomitest (molekulid H_2O , CO_2).

Röntgenkiirgus on kas 1) pidurdus-, e. pärsskiirgus või 2) karakteristlik kiirgus. Pärsskiirguse spekter on pidev, karakteristlikul kiirusel aga diskreetne (kindlate sagedustega). Pärsskiirgus tekib kiirete elektronide järsul pidurdumisel metallkehas (röntgenitoru anoodis).

Karakteristlik kiirgus tekib siis, kui röntgenitoru anoodi tabavad kiired elektronid löövad anoodi aatomite sisekihtidest omakorda välja elektrone. Tekkivad augud täidetakse välimistest kihtidest pärinevate elektronidega, vabaneva energia viib ära röntgenikvant.

Tuum on keratoline suure tihedusega keha aatomi keskmis. Nukleone (prootoneid ja neutroneid) seovad tervikuks tuumajõud. Need jõud on tingitud tugevast vastastikmõjust, mis on suuteline ületama prootonite elektrostaatilist tõukumist.

Tuuma seoseenergiaks E_s nimetatakse energiat, mis tuleb tuumale anda selleks, et tuuma lõhkuda üksikuteks nukleonideks. Seoseenergiat mõõdetakse megaelektronvoltides (MeV). Seoseenergia on seotud massidefektiga ΔM kujul $E_s = \Delta M c^2$.

Massidefekt ΔM on nukleonide masside summa ja tuuma massi vahe. Massidefektile vastav energia (seoseenergia) vabaneb tuuma "kokkupanekul" üksikutest nukleonidest.

Tuuma eriseoseenergiaks nimetatakse seoseenergiat ühe nukleoni kohta. Suurim eriseoseenergia on keskmise massiga tuumadel (massiarvuga 50 kuni 100). Seetõttu on energeetiliselt kasulikke tuumareaktsioone kahte liiki: a) raskete tuumade lõustumine (nn. "harilik" tuumareaktsioon) ja b) kergete tuumade liitumine (termotuumareaktsioon, mis on ka Päikese energiaallikaks).

Radioaktiivsuseks nimetatakse mingit liiki osakeste iseeneslikku kiirgumist tuumadest. Radioaktiivsuse põhilikeks on **α -kiirgus** (koosneb heeliumi aatomite tuumadest), **β -kiirgus** (koosneb kiiretest elektronidest) ja **γ -kiirgus** (koosneb ülisuure energiaga elektromagnetkvantidest).

Radioaktiivse lagunemise seadus: $N = N_0 \exp(-p t) = N = N_0 \exp(-t/\tau) = N = N_0 2^{-t/T}$, kus N_0 on radioaktiivsete tuumade esialgne arv (ajahetkel $t = 0$), N – tuumade arv hetkel t , p – vaadeldava tuuma lagunemise tõenäosus ajaühikus, $\tau = 1/p$ – nukliidi keskmine eluiga (aeg, mille jooksul tuumade arv väheneb e korda) ja T – poolestusaeg. $\tau = T / \ln 2 = T / 0,693$.

Poolestusajaks nimetatakse aega, mille jooksul vaadeldavate radioaktiivsete tuumade arv väheneb kaks korda (pooleni esialgsest).

Radioaktiivse preparaadi aktiivsus näitab selles preparaadis ajaühiku jooksul lagunevate tuumade arvu. Aktiivsuse SI-ühik on **bekrell** (1 Bq) – üks lagunemine sekundis.

Kiirguse doosiks D nimetatakse kiirgusenergiat, mis neeldub aine massiühikus $D = E_{\text{kiirgus}}/m$.

Üks grei (1Gy) on doos, mille korral 1 kg aines neeldub kiirgusenergia 1 J. $1\text{Gy} = 1\text{ J}/1\text{ kg}$.

Biodoos (ekvivalentne kiiritusdoos) näitab kiirguse bioloogilist toimet. Biodoosi ühikuks on **siivert** (1 Sv). Röntgen-, γ - ja β - kiirguse korral vastab neeldumisdooile 1 Gy biodoos 1 Sv. Neutron- ja α -kiirguse korral vastab aga neeldumisdooile 1 Gy biodoos 3-10 Sv. Surmavaks biodoosiks loetakse 5 Sv.

Doosi võimsus P_D näitab ajaühiku jooksul saadavat doosi. $P_D = D/t$. Loodusliku foonina saab inimene pidevalt kiirgust, mille biodoosi võimsus on ligikaudu $0,1\text{ }\mu\text{Sv/h}$. Meditiinilistel protseduuridel (näiteks fluorograafis) võib saada keskeltläbi teist samapalju lisaks.

Optika on füüsika osa, mis uurib valguse tekkimist (ehk kiirgumist), levimist ja kadumist (ehk neeldumist). Inimlik ettekujutus valgusest on siiani **dualistlik** (kahene): kiirgumisel ja neeldumisel käitub valgus nagu **osakeste** (kvantide) **voog**, levimisel aga nagu **laine** (elektromagnetlaine).

Geomeetiline optika ehk kiirteoptika on optika osa, mis tugineb ettekujutusele valguskiirtest. Geomeetiline optika on laineoptika piirjuht, mil lainepikkust võib lugeda nulliks.

Valguse peegeldumisseadus väidab, et kahe keskkonna lahutuspinnaile langev kiir, sellelt peegeldunud kiir ja langemispunkti tõmmatud pinnanormaal paiknevad ühes ja samas tasandis. Peegeldumisnurk β võrdub langemisnurgaga α . Füüsikas mõõdetakse langemis- ja peegeldumisnurka alati pinnanormaali suhtes (mitte pinna enda suhtes!)

Valguse murdumisseadus väidab, et langev kiir, murdunud kiir ja pinnanormaal langemispunktis paiknevad ühes ja samas tasandis. Langemisnurga α ja murdumisnurga γ siinuste suhe on konstant, mida nimetatakse teise keskkonna **murdumisnäitajaks** esimese suhtes (n_{21}). Seega $\sin \alpha / \sin \gamma = n_{21}$. Aine murdumisnäitajat vaakumi suhtes nimetatakse selle aine **absoluutseks murdumisnäitajaks** n .

Valguse murdumist põhjustab valguse levimiskiiruse muutus üleminekul ühest keskkonnast teise. Murdumisnäitaja on tegelikult valguse levimiskiiruste suhe $n_{21} = v_1/v_2$, kus v_1 on valguse kiirus esimeses ja v_2 - teises keskkonnas. Absoluutne murdumisnäitaja $n = c/v$. Kehtib ka $n_{21} = n_2/n_1$, kus n_1 ja n_2 on vastavate keskkondade absoluutsed murdumisnäitajad.

Maxwelli valem väidab, et aine absoluutne murdumisnäitaja n on võrdne ruutjuurega selle aine dielektrilisest läbitavusest ϵ : $n = \epsilon^{1/2}$. Aine optilised omadused on määratud elektrilistega.

Täieliku peegelduse korral valgus ei lähegi teise keskkonda. Täielik peegeldus toimub langemisnurkade korral, mis on suuremad nn. piirnurgast $\alpha_p = \arcsin n_{21}$. Kui teiseks keskkonnaks on õhk või vaakum, siis $\alpha_p = \arcsin (1/n)$, kus n on esimese keskkonna murdumisnäitaja.

Laineoptika uurib nähtusi, mille korral valgus käitub lainetusena. Need on eelkõige interferents, difraktsioon ja polarisatsioon.

Valguse interferents on valguslainete liitumine, mille tulemusena toimub lainete energia ümberjaotumine ruumis. Seal, kus langevad kokku kahe laine harjad, tugevdavad lained vastastikku teineteist (tekib interferentsi **maksimum**, energiat on keskmisest rohkem). Kus aga langevad kokku ühe laine hari ja teise nõgu, kustutavad lained teineteist (tekib interferentsi **miinimum**, energiat on keskmisest vähem). Selektiivselt (kindla lõpptulemusega) võivad interfereeruda vaid **koherentsed** lained.

Koherentseteks nimetatakse laineid, mille faasivahe ei muutu. Kaks lainet on koherentsed, kui 1) neil on sama sagedus või lainepikkus ja 2) neis ei esine kooskõlatuid katkestusi.

Valguse difraktsioon on valguslainete kõrvalekalle sirgjoonelisest levimisest (levik geomeetrilise varju piirkonda, tõkke või ava ääre taha). Difraktsioon on hästi jälgitav, kui tõkke või ava mõõtmed on lainepikkusega samas suurusjärgus.

Tasalaine difraktsioonil ühelt pilult tekib esimene miinimum kaldenurga φ korral, mis rahuldab tingimust $\sin \varphi = \lambda / b$, kus λ on kasutatava valguse lainepikkus ja b - pilu laius.

Difraktsioonivõre on ühesugustest korrapäraselt paiknevatest piludest koosnev süsteem. Naaberpilude vastavate ärte vahekaugust nimetatakse võrekonstandiks d . $d = a + b$, kus b on pilu laius ja a - piludevahelise ala laius. Nurk φ , mille võrra difraktsioonivõret läbiv valgus oma esialgsest suunast kõrvale kaldub, on määratud selle valguse lainepikkusega: $d \sin \varphi = n \lambda$, kus n on täisarv (spektri järk). Seetõttu kasutatakse difraktsioonivõret dispergeeriva (valgust spektriks lahutava) seadmena.

Valguse polarisatsioon on E - või B -vektori võnketasandi kindel paigutus valguslaines. Polariseerimistasandi all mõeldakse reeglina E -vektori võnketasandit.

Polarisaator on seade, mis laseb läbi vaid kindlaviisiliselt polariseeritud valgust.

Lineaarselt polariseeritud valguse korral võngub E -vektor valguslaines ühes kindlas tasandis.

Ringpolariseeritud valguse korral pöörduv väljavektor igal võnkel täisringi võrra. Vaadates piki valguse levimissuunda näib väljavektori lõpupunkt liikuvat piki ringjoont.

Elliptiliselt polariseeritud valguse korral muutub perioodiliselt mitte ainult väljavektori asend vaid ka pikkus. Väljavektori lõpupunkt näib liikuvat piki ellipsit.

Valgus polariseerub tavaliselt kas a) peegeldumisel ja murdumisel või b) kaksikmurdumisel. Valguse peegeldumisel dielektriku pinnalt on murdunud valgus polariseeritud eelistatult langemistasandis, peegeldunud valgus aga sellega ristuvates tasandis.

Kaksikmurdumine on nähtus, mille korral valguse üleminekul ühest keskkonnast teise tekib kaks erinevat valguslainet, mis levivad erinevate kiirustega. Need on nn. tavaline (ordinaarne) valguslaine kiirusega v_o ja murdumisenäitajaga $n_o = c/v_o$ ja ebatavaline laine (v_e ja n_e). Tavaline ja ebatavaline valguslaine on polariseeritud omavahel ristuvates tasandites. Kaksikmurdumist põhjustab murdva aine anisotroopia – elektriliste ja optiliste omaduste sõltuvus suunast.

Polarisatsioonitasandi pöördumine on nähtus, mille korral lineaarselt polariseeritud valguslaine kaks komponenti (üks vasakule, teine paremale ringpolariseeritud) levivad aines veidi erinevate kiirustega. Selle tulemusena valguse polarisatsioonitasand pöörduv kiiremini leviva komponendi suunas. Aineid, mis pööravad valguse polarisatsioonitasandit, nimetatakse optiliselt aktiivseteks.

Valguse dispersiooniks antud aines nimetatakse selle aine murdumisenäitaja sõltuvust valguse lainepikkusest või sagedusest. Dispersioon on põhjustatud elektromagnetlainete vastastikmõjust aines võnkuvate laetud osakestega. Elektromagnetlaine toimib selle võnkumise suhtes sundiva jõuna (esineb resonants).

Valguse neeldumine on valguse intensiivsuse vähenemine aines kiirgusenergia üleminekul teisteks energia-liikideks.

Bouguer'i seadus väidab, et neeldumisel väheneb valguse intensiivsus aines eksponentsiaalselt $I = I_0 e^{-\kappa l}$ kus I on valguse intensiivsus kaugusel l pinnast. I_0 on pinnale langeva valguse intensiivsus ja κ - neeldumistegur (neeldumiskoefitsient).

Aine neeldumistegur κ näitab naturaallogaritmilises skaalas, kui mitu korda väheneb valguse intensiivsus selle aine ühikulise paksusega kihi läbimisel. Aine neeldumistegur on 1 cm^{-1} , kui selle aine 1 cm paksuse kihi läbimisel väheneb valguse intensiivsus arv e (2,7183) korda.

Aine värvuse määrab aine neeldumisspekter. Selle valguse värvus, mida aine ei neela vaid peegeldab, hajutab või laseb läbi, ongi antud aine värvus.

Fotoefektiks nimetatakse vabade laengukandjate tekkimist valguse toimel. Fotoefekt esineb vaid juhul, kui valguse footoni (kvandi) energia $h f$ on piisavalt suur laengukandja vabastamiseks.

Välisfotoefkti korral lööb valgus metalli pinnast välja elektrone. Välisfotoefkti kirjeldab Einsteini valem $h f = A_v + mv^2/2$, mille kohaselt footoni energia $h f$ läheb elektroni väljumistöö (A_v) tegemiseks ja elektronile kineetilise energia ($mv^2/2$) andmiseks.

Sisefotoefkti korral tekib footoni energia arvel pooljuhis elektron-auk-paar. Pooljuhi elektrijuhtivus seeläbi suureneb. Elektron väljub vaid keemilisest sidemest, aga mitte kehast.

Auguks nimetatakse elektroni puudumist pooljuhi keemilises sidemes.

- Keelutsoon** on selline elektroni energia väärtuste piirkond, millele vastavad elektronolekud pole stabiilsed, sest vastav elektronilaine hakkaks iseennast kustutama. Seetõttu elektron keelutsoonis olla ei saa.
- Keelutsooni laius** on minimaalne elektron-auk paari tekitamiseks (ühe keemilise sideme katkestamiseks) vajalik energia (minimaalne energia, millega saab ühe sidemeelektroni muuta juhtivuselektroniks).
- Fermi energia** on sellise taseme energia, mille täitumise tõenäosus on $1/2$ (50 %). Energia skaalas Fermi tasemest allpool on tasemed enamasti täidetud (sellised elektronid on olemas), ülalpool aga tühjad.
- pn-siirdeks** nimetatakse pooljuhi piirkonda, milles üks juhtivustüüp asendub teisega. n-piirkonnas on enamus-laengukandjateks elektronid, p-piirkonnas augud.
- Ventiil-fotoefekti** korral tekivad elektron-auk-paarid pooljuhis pn-siirde alas. Siirde elektriväli viib elektroni ja augu lahku, mistõttu pooljuhitüki otste vahel tekib pinge. Siire hakkab toimima vooluallikana, mis muundab valgusenergiat elektrienergiaks.
- Soojuskiirguseks** nimetatakse optilist kiirgust, mis tekib soojusliikumise energia arvelt. Kui keha temperatuur on väliskeskkonna omast kõrgem, siis see keha kiirgab, vastupidisel juhul aga neelab soojuskiirgust. Soojuskiirgus on tasakaaluline (suurema energiaga taseme hõivatus on alati väiksem).
- Absoluutselt must keha** ehk **mustkiirgur** on keha, mille neelamisvõime on 1 (neelab kogu langenud valguse). Mustkiirguri **kiirgavus** R_e (ka lihtsalt R) ehk ajaühikus keha pinnauhikult kõigis suundades väljuva mistahes lainepikkusega kiirguse summaarne energia, ületab antud temperatuuril kõigi teiste kehade kiirgavust. Mida rohkem keha suudab neelata, seda rohkem ta suudab ka kiirata.
- Stefan-Boltzmanni seadus** väidab, et mustkiirguri integraalne kiirgavus R on võrdeline keha absoluutse temperatuuri neljanda astmega. $R = \sigma T^4$. Integraalne kiirgavus võrdub spektraalse kiirgavuse dR/df graafiku aluse pindalaga. Suurus σ on Stefan-Boltzmanni konstant $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^4\text{)}$.
- Wieni nihkeseadus** väidab, et mustkiirguri spektri $dR/d\lambda$ maksimumi lainepikkus on pöördvõrdeline tema absoluutse temperatuuriga $\lambda_m = b/T$, kus b on Wieni konstant $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$.
- Luminestsents** on mittetasakaaluline ja külm kiirgus (kõrgema energiataseme asustatus võib olla suurem madalama taseme omast ning kiirguse tekkeks vajalik energia ei tule soojusliikumisest). Energia andmist luminestseeruvale kehale nimetatakse luminestsentsi **ergastamiseks**.
- Pöördhõive** on olukord kvantsüsteemis, mil ülemise energiataseme asustatus on alumise taseme asustusest suurem (on palju kiirgamiseks valmis aatomeid).
- Optiline resonator** koosneb kahest peeglist, millest üks on osaliselt läbilaskev. Korduvalt peegeldudes läbib valgus resonatorit palju kordi ja stimuleeritud kiirguse tekkimise tõenäosus suureneb. Peeglite vahekaugus tingib vajaliku lainepikkusega seisulaine tekke.
- Laser** on seade stimuleeritud kiirguse saamiseks. Laseri korral tekitatakse pöördhõive optilisse resonatorisse paigutatud aines. LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – valguse võimendamine stimuleeritud kiirguse kaudu.
- Dispersiooniseos** on osakese-mudelisi objekti energia E sõltuvus tema impulsist p . Lainemudelisi on see aga laine nurksageduse ω sõltuvus lainearvust k . Kuna $E = \hbar \omega$ ja $p = \hbar k$ siis väljendub dispersiooniseoses selgesti dualismiprintsiip (osakese- ja lainemudeli põhimõtteline samaväärsus). Dispersiooniseose tulemus määrab objekti kiiruse v .
- Kvantmehaanika** on õpetus mikroobjektide liikumisest, mis toimub ühevõrra nii osakese kui laine liikumisenä. Kvantmehaanika arvestab dualismiprintsiipi (aineosakeste laineomadusi) ja lõtkuprintsiipi.
- Suuruseks, mis muutub osakese-laines**, on tõenäosus osakese asetsemiseks antud ruumiosas. Laine amplituudi A ruut võrdub **tõenäosuse tihedusega**, mille saame, jagades tõenäosuse ΔP osakese paiknemiseks ruumi mingis osas selle osa ruumalaga ΔV $A^2 = \Delta P / \Delta V$ või koguni $A^2 = dP / dV$. Seetõttu võib mikroosakese liikumisega kaasnevaid laineid nimetada **leiulaineteks**.
- Määramatuse seosed:** 1) $\Delta p_x \cdot \Delta x \sim \hbar$, osakese impulss ja koordinaat ei ole üheaegselt määratud ja 2) $\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar$, kvantoleku energia ja eluiga ei ole üheaegselt määratud. Kui määramatusseoses esineb Plancki konstant h (mitte $\hbar$!), siis tähendab määramatusseos kujul $\Delta p_x \cdot \Delta x \geq h$ väidet, et ühe pilu difraktsiooni katses ei saa elektronidele “keelata” sattumist kõrvalmaksimumidesse. Kui määramatusseoses esineb Plancki nurkkonstant $\hbar$, siis on otse liikumises nii lubatud kõrvalvõllele 2π korda väiksem.
- Määramatuse seos impulsi ja koordinaadi vahel** väljendab mikroobjekti osakese- ja lainemudeli vahet. Kui objekti impulss ja lainepikkus on täpselt teada ($\Delta p_x = 0$, laine piirjuht), siis ei saa rääkida asukohast ($\Delta x = \infty$, kogu ruum on lainet “täis”). Kui aga objekti asukoht on täpselt teada (osakese piirjuht), siis ei saa määrata lainepikkust ega impulssi (objekti edaspidine saatus on prognoosimatu).

Määramatuse seos energia ja aja vahel väljendab energiatasemete lõplikku laiust. Kiirguva kvandi energia on täpselt määratud ($\Delta E = 0$) vaid siis, kui kiirgumine kestab kuitahes kaua ($\Delta t = \infty$). Energia jäävuse seadus võib aja Δt jooksul olla $\Delta E \sim \hbar / \Delta t$ võrra rikutud.

Elektronmikroskoop on seade esemest kujutise saamiseks elektronilainete abil, mille lainepikkust λ saab kiirenduspinge U tõstmise teel vähendada, sest $\lambda = h / (2meU)^{1/2}$.

Tunneliefektiks nimetatakse mikroosakese läbiminekut potentsiaalibarjäärist. Potentsiaalibarjäär on makro-keha jaoks läbimatu sein, milles toimub osakese leiulaine amplituudi A eksponentsiaalne kahanemine. Kui sein on piisavalt õhuke, siis võib laine amplituud seinas mitte langeda nullini. See aga tähendab, et laine läheb mingi tõenäosusega seinast läbi.

Kvantmehaanika tõlgendused on erinevad vastused küsimusele: *Millisel viisil realiseerub kvantmehaaniline juhuslikkus?* Ehk teisiti: *Millisel hetkel saab kvantmehaanilise tõenäosusega lubatud võimalikkus tegelikkuseks?* On kaks peamist rühma tõlgendusi:

Einsteini kontseptsioon väidab, et juhuslikkust polegi. Kvantmehaanika on lihtsalt halb teooria (võimetu ennustama tulevikku). Einstein: *Jumal ei mängi täringuid!* (*God does not play dice!*)

Bohri kontseptsioon ehk **Kopenhaageni tõlgendus** – füüsikalise reaalsuse moodustumisel osaleb ka vaatleja ise. Võimalikkus saab tegelikkuseks vaatluse hetkel. Seni, kuni vaatlust (eksperimenti) pole teostatud, on veel kõik võimalik.

Elektromagnetvõnkumiste käigus muutub laetud kondensaatori elektrivälja energia voolu magnetvälja energiaks juhtme poolis ja vastupidi. Need muutused on perioodilised, kusjuures sumbumise puudumisel omavõnkeperiood $T = 2\pi (LC)^{1/2}$ ning omavõnkesagedus $\omega_0 = 1 / (LC)^{1/2}$. Sumbumatu elektromagnetvõnkumine on tuntud kui vahelduvvool.

Aatomjääk (ingl - *ion core*) on süsteem, mis koosneb aatomi tuumast ja sisekihtide elektronidest. Aatomjääk käitub elektrinähtustes ühtse, positiivset elektrilaengut omava tervikuna. Kondensaine (tahkise ja vedeliku) liigid erinevad valentselektronide (väliskihi elektronide) paiknemise viisi poolest aatomjääkide ümber. Ioonseis aines paikneb valentselektronide "pilv" ainult mittemetalli aatomjääkide ümber, kovalentses aines on see tihenenud kahe sidemes osaleva aatomi vahel (eksisteerivad ühised elektroni-paarid), metallilises aines on kõik valentselektronid kõigile aatomjääkidele ühised.

Keemilise sideme suunatuse tõttu on kovalentse sidemega ained kõvad ja rabedad (kergesti pragunevad). Sideme mittesuunatuse tõttu on metallilised ained aga suhteliselt pehmed ja plastilised (kergesti töödeldavad, mittepragunevad). Tüüpilised kovalentse sidemega ained on pooljuhid.

Pooljuht on aine, milles laengukandjate arv on reguleeritav (sõltub temperatuurist, pealelangevast valgusest jne.). Pooljuhid paiknevad oma elektrijuhtivuse poolest juhtide ja mittejuhtide vahel. Puhtas (lisandeid mitte sisaldavas) pooljuhis on vabade laengukandjate arv aatomite üldarvust väiksem ca 10^6 - 10^9 korda, puhta pooljuhi eritakistus on kuni $10^3 \Omega \cdot m$, lisandeid sisaldavas pooljuhis aga $10^{-3} \Omega \cdot m$ ja vähemgi.

Pooljuhi omajuhtivus on elektrijuhtivus, mida põhjustavad puhtas pooljuhis termiliselt või optiliselt tekitatud vabad laengukandjad. Ühe elektron-auk-paari tekitamiseks puhtas pooljuhis vajalik minimaalne energia on keelutsooni laius E_g (ingl - *energy gap*). Mida suurem on pooljuhi keelutsooni laius, seda kõrgemat temperatuuri on vaja omajuhtivuse tekitamiseks selles pooljuhis.

Pooljuhi lisandjuhtivus on elektrijuhtivus, mida põhjustavad lisandite sisseviimisel pooljuhis tekitatud vabad laengukandjad. Elektronijuhtivuse ehk **n**-juhtivuse korral on enamus-laengukandjateks pooljuhis elektronid. Elektronijuhtivus tekib doonorlisandi sisseviimisel pooljuhti. Aukjuhtivuse ehk **p**-juhtivuse korral on enamus-laengukandjateks augud. Auguks nimetatakse elektroni puudumist pooljuhi keemilises sidemes. Aukjuhtivus tekib aktseptorlisandi sisseviimisel pooljuhti.

Doonor on põhiainest ühe võrra suurema valentsiga lisand pooljuhis. Doonorlisandi aatomil jääb üks valentselektron üle keemilise sideme moodustamisel põhiaine aatomitega. Doonori ioniseerumiseks nimetatakse protsessi, mille käigus see liigne elektron lahku doonori aatomi juurest ja muutub juhtivuselektroniks. Ioniseerunud doonoril on positiivne laeng.

Aktseptor on põhiainest ühe võrra väiksema valentsiga lisand pooljuhis. Aktseptorlisandi aatomil jääb üks valentselektron puudu keemilise sideme moodustamisel põhiaine aatomitega. See tähendab augu olemasolu pooljuhis. Aktseptori ioniseerumiseks nimetatakse protsessi, mille käigus aktseptori juures paiknev auk täidetakse elektroniga kahe põhiaine aatomi vahelisest keemilisest sidemest. Sellega on põhiaines tekitatud positiivne laengukandja – vaba auk. Ioniseerunud aktseptoril on negatiivne laeng (aatomjäägi laeng $+3e$, sideme elektronidel kokku $-4e$).

pn-siire on pooljuhi piirkond, milles üks juhtivustüüp asendub teisega. n-piirkonnas on enamus-laengukandjateks (negatiivsed) elektronid, p-piirkonnas aga (positiivsed) augud. p-piirkonna ioniseeritud aktseptorite negatiivne ruumlaeng ja n-piirkonna ioniseeritud doonorite positiivne ruumlaeng moodustavad elektrilise kaksikkihi, mille elektriväli on suunatud n-piirkonnast p-piirkonda ja seega takistab enamus-laengukandjate läbimineku siirdest (hoiab enamus-laengukandjaid lahus). Siirde piirkonnas on ioniseeritud doonorite ja aktseptorite laeng tasakaalustamata, sest vabad elektronid ja augud on omavahel rekombineerunud (elektronid on augud ära täitnud). Siirde laengukandjatest vaesunud ala ehk vaegala (ingl *depletion region*) takistus määrab kogu pooljuhitüki takistuse. Siirde kasutamisel muudetakse siirdele pinge rakendamise teel vaegala paksust.

Päri- ja vastupinge: Päripingestamisel rakendatakse siirdele kaksikkihi väljale vastupidise suunaga täiendav elektriväli, sellega surutakse p- ja n-osade enamus-laengukandjaid omavahel kokku (soodustatakse nende rekombineerumist siirdes). See teeb vaegala kitsamaks (siirde takistus väheneb). Vastupingestamisel rakendatakse siirdele kaksikkihi välja suhtes samasuunaline elektriväli, sellega viiakse enamus-laengukandjad veelgi rohkem lahku ja tehakse vaegala laiemaks (siirde takistus suureneb).

Dielektrik (täheenduses: **mittejuht**) on aine, milles laengukandjate arv on aatomite arvust palju (üle miljardi korra) väiksem. Mõõdukas elektriväljas dielektrik ei juhi voolu, tema eritakistus on väga suur (nt kuival õhul ca 10^{13} kuni $10^{14} \Omega \cdot m$). Iga dielektrikut iseloomustab läbilöögi-väljatugevus. See on niisuguse elektrivälja tugevus, mille korral dielektrikus ikkagi tekib elektrivool. Kuival õhul on see ca $3 \cdot 10^6 V/m = 3 kV/mm$. Dielektrikud kitsamas tähenduses on ained, mis oluliselt polariseeruvad.

Polarisatsiooni nähtus on omavahel seotuks jäävate erimärgiliste laengute lahkneamine. Enamasti nihkub aatomi valentsielektronide pilv vastassuunas elektrivälja suunale (elektronid on negatiivsed). See nihkumine toimub aatomjäägi (tuum + sisekihtide elektronid) suhtes. Polarisatsiooni tulemusena aine nõrgendab talle mõjuvat elektrivälja. Selle efekti tugevust näitab aine dielektriline läbitavus ϵ . Polarisatsiooni põhiliikideks on elektroonne (kirjeldatud eespool), ioonne (erimärgiliste ionide nihkumine elektriväljas vastandlikes suundades) ja orientatsiooniline (polaarsete molekulide dipoolmomentide pöördumine eelistatult välise elektrivälja suunale) – polarisatsioon.

Temperatuur T on füüsikaline suurus, mis iseloomustab keha (süsteemi) soojusaset. Soojematel kehal on kõrgem temperatuur. Temperatuuri SI-ühikuks on kelvin (1 K). Kraadi pikkus Celsiuse ja Kelvini temperatuuriskaalades on sama, erineb vaid nullpunkt: $0^\circ C = 273 K$. Absoluutsele nullile ($T = 0 K$) vastab klassikalises füüsikas soojusliikumise peatumine. Temperatuurile vastav mikroparameeter on ühe osakese (molekuli) keskmine kineetiline energia.

Soojus on energia liik. Kui see energia läheb ühelt kehalt teisele, siis räägitakse ülekantavast soojushulgast Q . Soojushulga ühikud: 1 cal (kalor) = 4,186 J.

Soojusvahetus kehade vahel võib toimuda kas 1) vahetul soojusülekandel (molekulipõrgete vahendusel), 2) konvektsiooni teel (nii, et soe gaas tõuseb ülespoole ja külm laskub raskusjõu mõjul alla) või 3) elektromagnetilise soojuskiirguse (sisuliselt – välja) vahendusel (üldiselt efektiivseim variant).

Keha soojusmahtuvus C näitab, kui suur soojushulk tuleb sellele kehale anda, et tõsta tema temperatuuri ühe kraadi võrra. $C = Q / \Delta T$. Soojusmahtuvuse SI-ühikuks on J / K.

Aine erisoojus c näitab, kui suur soojushulk tuleb anda selle aine ühikulise massiga kogusele, et tõsta tema temperatuuri ühe kraadi võrra. $c = Q / (m \Delta T)$. Erisoojuse SI-ühikuks on J / (kg K). Seega ülekantav soojushulk $Q = c m \Delta T$ ja keha soojusmahtuvus $C = c m$.

Aine moolsoojus on ühe mooli selle aine soojusmahtuvus.

Gaasi töö paisumisel avaldub kujul $A = p \Delta V$. Diferentsiaalselt väike töö $dA = p dV$. Süsteemi poolt tehtavat tööd loetakse paisumisel positiivseks ja kokkusurumisel negatiivseks (positiivset tööd teeb süsteemi kokku suruv välisjõud).

Termodünaamika (TD) uurib soojusnähtusi, tundmata huvi nende põhjuse vastu mikrotasemel. Ta uurib eelkõige tingimusi, millel soojus võib minna ühelt kehalt teisele. Kaks keha (ainekogust) on **termodünaamilises tasakaalus**, kui soojus ühelt teisele ei lähe (ehkki võiks minna). Kui kaks keha on TD tasakaalus, siis on neil sama temperatuur.

Keha või ainekoguse (TD süsteemi) **siseenergia** U on tema osakeste summaarne energia nende vastastikusel liikumisel ja mõjustusel. Ideaalgaasi siseenergia on võrdeline tema temperatuuriga: $U = \text{const} \cdot T$, Näiteks ühe mooli ideaalgaasi siseenergia $U = N_A E_k = N_A (i/2) k T = (i/2) R T$, kus i on gaasimolekuli vabadusastmete arv.

Universaalne gaasikonstant $R = 8,31 \text{ J / (K mol)}$ näitab tööd, mida teeb üks mool ideaalgaasi, paisudes isobaariliselt nii palju, et tema temperatuur tõuseb ühe kraadi (1 K) võrra.

Termodünaamika I printsiip: kehal või ainekogusel olemasoleva soojushulga Q kasv ΔQ (juurde antud soojushulk) põhjustab siseenergia kasvu ΔU ja võimaldab paisumisel teha tööd $A = p \Delta V$. Seega $\Delta Q = \Delta U + p \Delta V$, diferentsiaalkujul $dQ = dU + p dV$. TD I printsiip on oma olemuselt energia jäävuse seadus. Töö tegemiseks peab kulutama energiat (kas soojust või siseenergiat).

Entroopia S on termodünaamilise süsteemi olekuparameeter, mis kirjeldab energia pöördumatut hajumist soojusnähtustel. Entroopia nulltase on meelevaldne, oluline on vaid muutus. Entroopia diferentsiaalne muutus avaldub kujul $dS = dQ / T$. Entroopia ühikuks on 1 J/K . Entroopia on süsteemi korrastamuse mõõt. Kuna $dQ = T dS$, siis suurendab süsteemile mingi soojushulga andmine alati süsteemi kuuluvate osakeste liikumise või paigutuse kaootilisust (entroopiat).

Termodünaamika II printsiip: soojust ei ole kunagi võimalik muuta täielikult tööks. TD II printsiipi nimetatakse ka entroopia kasvu seaduseks. Välisjõudude puudumisel võib mistahes süsteemi entroopia ainult kasvada. Soojus ei saa iseenesest minna külmemalt kehalt soojemale.

Soojuspaisumisel muutub keha joonmõõde (pikkus) l või ruumala V (enamasti) võrdeliselt temperatuuriga T . Pikkuse (või ruumala) muut avaldub kujul: $\Delta l = \alpha l \Delta T$ (või $\Delta V = \beta V \Delta T$), kus α on joonpaisumistegur, β - ruumpaisumistegur, ΔT - temperatuuri muut.

Aine joonpaisumistegur α näitab, kui suur on sellest aineest valmistatud keha suhteline pikenemine temperatuuri ühikulise kasvu korral (suurenemisel 1 K võrra). $\alpha = \Delta l / (l \Delta T)$.

Aine ruumpaisumistegur β näitab, kui suur on sellest aineest valmistatud keha ruumala suhteline muutus temperatuuri ühikulise kasvu korral (suurenemisel 1 K võrra). $\beta = \Delta V / (V \Delta T)$. Joon- ja ruumpaisumisteguri ühikuks on pöördkraad (kelvini pöördväärtus) 1 K^{-1} .

Olekuparameetrid kirjeldavad soojuslikes protsessides mingi gaasikogusega toimuvaid muutusi. Makroskoopilisteks (gaasikogust tervikuna kirjeldavateks) olekuparameetriteks on gaasi rõhk p , ruumala V , temperatuur T ja entroopia S .

Ideaalgaas on reaalse gaasi mudel, mille korral jäetakse arvestamata: 1) molekulide mõõtmed ja 2) molekulide vahel mõjuvad jõud. Ideaalgaasi molekulid põrkuvad omavahel nagu elastsed kuulikesed.

Isotermiliseks nimetatakse protsessi, mille käigus ei muutu gaasi temperatuur ja seega ka siseenergia. TD I printsiibi $dQ = dU + p dV$ kohaselt on paisumine positiivse töö tegemisega ($p dV > 0$) siis võimalik vaid väljastpoolt saadava soojuse arvel ($dQ > 0$). Isotermilisel protsessil kehtib Boyle' - Mariotte'i seadus: kui $T = \text{const}$, siis $p V = \text{const}$.

Isobaariliseks nimetatakse protsessi, mille käigus ei muutu gaasi rõhk. Isobaarilisel protsessil kehtib Gay-Lussac'i seadus: kui $p = \text{const}$, siis $V / T = \text{const}$. Väljastpoolt saadav soojus dQ läheb nii siseenergia suurendamiseks kui tööks paisumisel.

Isokooriliseks nimetatakse protsessi, mille käigus gaasi ruumala ei muutu. Isokoorilisel protsessil kehtib Charles'i seadus: kui $V = \text{const}$, siis $p / T = \text{const}$. Väljastpoolt saadav soojus dQ läheb ainult siseenergia suurendamiseks (paisumist ei ole, $dV = 0$).

Adiabaatiliseks nimetatakse protsessi, mille käigus ei toimu gaasi soojusvahetust väliskeskkonnaga. See tähendab, et adiabaatilisel protsessil ei muutu entroopia ($S = \text{const}$). Kui soojusvahetust ei ole, siis on töö tegemine ($p dV > 0$) võimalik vaid siseenergia kahanemise arvelt ($dU < 0$).

Moolsoojuste suhe $\kappa = C_p / C_V$ on määratud gaasi molekuli vabadusastmete arvuga i kujul: $\kappa = (i+2) / i$. Gaasi moolsoojus isobaarilisel protsessil C_p on suurem moolsoojusest isokoorilisel protsessil C_V , sest isobaarilise protsessi käigus tuleb gaasi paisumisel teha tööd. Lühidalt: $C_p = C_V + R$.

Mehaanilise süsteemi vabadusastmete arv i nimetatakse süsteemi liikumist kirjeldavate sõltumatute koordinaatide arvu. Sõltumatu on selline koordinaat, mida ei saa esitada teiste koordinaatide kaudu. Üheaatomilisel molekulil on vaid 3 kulgliikumise vabadusastet. 2-aatomilisel (N_2 , O_2) või 3-aatomilisel lineaarsel (CO_2) molekulil on 3 kulg- ja 2 pöördliikumise vabadusastet (kokku 5). Mittelineaarsel (2- või 3-mõõtmelisel) molekulil on 3 kulg- ja 3 pöördliikumise vabadusastet (kokku 6).

Ideaalgaasi olekuvõrrand (Clapeyroni - Mendelejevi võrrand) seob omavahel gaasi olekuparameetreid: rõhku p , ruumala V ja temperatuuri T kujul: $p V = z R T$, kus z on gaasi moolide arv (gaasikoguse mass jagatud molaarmassiga) ja R - universaalne gaasikonstant.

Boltzmanni konstant k on universaalse gaasikonstandi R ja Avogadro arvu suhe (gaasikonstant ideaalgaasi ühe molekuli kohta) $k = R / N_A$. $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

Molekulaarkineetilise teooria põhivõrrand väidab, et gaasi rõhk sõltub gaasimolekulide kontsentratsioonist $n = N/V$ (arvust ruumalaühikus) ja ühe molekuli keskmisest kineetilisest energiast E_{kk} järgmiselt: $p = 2/3 n E_{kk}$. Sellest järeldub, et $E_{kk} = 3/2 k T$ ja $p = n k T$, kus k on Boltzmanni konstant. Üldisemal juhul $E_{kk} = (i/2) k T$, kus i on gaasimolekuli vabadusastmete arv.

Gaasimolekuli ruutkeskmine kiirus avaldub kujul $v_r = (3 k T / m_0)^{1/2} = (3 R T / M)^{1/2}$, kus m_0 on ühe gaasimolekuli mass ja M molaarmass.

Reaalgaas erineb ideaalgaasist selle poolest, et tema molekulidel on mõõtmised olemas ja molekulide vahel mõjuvad jõud.

Kriitiliseks nimetatakse temperatuuri, millest kõrgemal võib aine olla vaid gaasilises olekus. Faasidiagrammil vastab sellele kriitiline punkt. Siin tähendab faas aine agregaatolekut (gaas, vedelik või kindla struktuuriga tahkis). Jooned faasidiagrammil lahutavad eri faase.

Kolmikpunktiks nimetatakse olekut (punkti faasidiagrammil), milles aine kolm faasi (tahke, vedel ja gaasiline) on tasakaalus. Faasidiagrammil lõikuvad kolmikpunktis neid faase eraldavad jooned.

Küllastunud auruks nimetatakse aine olekut, milles vedel ja gaasiline faas on tasakaalus (aurustumine ja kondenseerumine tasakaalustavad teineteist). Igale ainele on omane tema küllastunud auru rõhu kindel monotoonne sõltuvus temperatuurist.

Vedelik keeb, kui tema küllastunud auru rõhk on temperatuuri tõstmisel saanud võrdseks välisrõhuga. Keemise tunnuseks on mullide tekkimine vedeliku kogu ruumalas ning mullide jõudmine pinnale.

Siirdesoojuseks (sulamis-, aurustumis- vm. soojuseks) nimetatakse soojushulka, mis on vajalik vaadeldava faasisiirde teostamiseks aine massiühikuga. Siirdesoojuse SI-ühikuks on 1 J/kg. Siirdel suurema siseenergiaga olekusse siirdesoojus neeldub aines, siirdel väiksema siseenergiaga olekusse – eraldub.

Pindpinevusjõud on pinnal asetsevate vedeliku molekulide omavaheline tõmbejõud. Pindpinevusjõu mõjul püüab vedelikupiisk võtta vähima pindalaga (sfäärilist) kuju.

Vedeliku pindpinevustegur α näitab, kui suur pindpinevusjõud mõjub selles vedelikus pinna katkirebimisjoone ühikulise pikkuse kohta $\alpha = F_p / l$ (ühik njuuton meetri kohta 1 N/m).

Soojusmasin on seade, mis muundab soojust tööks. Soojusmasin võtab kuumalt kehalt (soojendilt) soojushulga Q_1 , muudab osa sellest mehaaniliseks tööks A ning annab ülejäänud osa Q_2 ära külmemale kehale (jahutile). Soojusmasina kasutegur $\eta = A / Q_1 = (Q_1 - Q_2) / Q_1$ ja selle maksimaalne võimalik väärtus $\eta_{max} = (T_1 - T_2) / T_1$, kus T_1 ja T_2 on vastavalt soojendi ja jahuti temperatuurid.

Universumile on (meie vaatluste ulatuses) omane nii mateeria paiknemise üldine keskmine ühtlus kui ka selle lokaalne ebaühtlus (rea struktuursete tasandite olemasolu). Universum paisub (galaktikad eemalduvad üksteisest nii nagu laigud täispuhutaval õhupallil). Seda kirjeldab Hubble'i [loe: habbl] seadus.

Hubble'i seadus väidab, et mida kaugema kosmilise objektiga on tegemist, seda suurema kiirusega see meist näib eemalduvat: $v = H r$. Hubble'i seaduse kehtivust tõestab punanihe ehk valguse lainepikkuse suurenemine kaugete galaktikate spektrites. Nimelt on selle valguse välja kiiranud aatomite kaugus meist mitmeid kordi suurenenud valguse teel-oleku aja jooksul, sest Universum on paisunud.

Hubble'i konstant H ehk võrdetegur Hubble'i seaduses on ca $70 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc}) = 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$. Hubble'i konstandi pöördväärtus on aeg, mille jooksul on juba meist eemaldunud kõige kaugemad, peaaegu absoluutkiirusega meist eemalduvad kosmilised objektid. Järelikult see aeg, $4,3 \cdot 10^{17} \text{ s}$ ehk $1,37 \cdot 10^{10}$ aastat – on **Universumi vanus**. Selle aja ning absoluutkiiruse korrutis $1,3 \cdot 10^{26} \text{ m}$ on kõige suurem meie jaoks mõtet omav pikkus – **Universumi teoreetiline raadius**.

Suur Pauk on ca 13,8 miljardit aastat tagasi toimunud hiigelpahvatus, milles sai alguse Universum. Infot selle kohta annab kosmiline taustkiirgus ehk reliktfoot. See on soojuskiirgus, mille spektraalne koostis vastab kiirgava keha absoluutsele temperatuurile 2,8 K (maksimumi lainepikkus ca 1 mm). Sellise temperatuurini on paisumise käigus jahtunud Universum.

Tume energia on energia, mis põhjustab Universumi paisumist, hoolimata gravitatsioonilisest tõmbejõust, mis ju peaks paisumist takistama. Tumeda energia päritolu pole teada.

Tume aine on aine, mis ei kiirga mitte mingeid elektromagnetlaineid, kuid mõjutab gravitatsioonijõuga meile nähtavat (EM laineid kiirgavat) ainet. Universumi koguenergiast või massist (valemi $E = m c^2$ kohaselt on nad ju samaväärsed!), moodustab 74 % tume energia, 22 % tume aine ja vaid 4 % moodustab meile tuntud (nähtav) aine. Seda küll eeldusel, et Universumi paisumine on ühtlane.