

Füüsikaline maailmapilt (I osa)

Füüsikaline maailmapilt (I osa).....	1
Sissejuhatus.....	1
1. Loodus ja füüsika.....	2
1.1. Loodus.....	2
1.2. Füüsika.....	2
1.2.1. Aja, pikkuse, pindala, ruumala ja massi mõõtmine läbi aegade.....	9
1.2.2. Fundamentaalkonstandid ja mis juhtuks, kui need muutuksid.....	11
1.2.3. Füüsika ajaloost.....	13
1.3. Füüsikaline maailmapilt.....	15
2. Füüsika uurimismeetodid.....	17
2.1. Teaduse üldine meetod.....	17
2.2. Seletamine.....	19
2.3. Tõestamine.....	19
2.4. Eksperimentaalne meetod.....	23
2.5. Teoreetiline meetod.....	24

Sissejuhatus

Käesoleva kursuse võib tinglikult jaotada kaheks osaks. Alguses räägime looduse ja füüsika vahekorra ning füüsika uurimismeetoditest (jaotised 1 ja 2). Edasi käsitleme konkreetset materjali, mis peaks aitama kujundada füüsikalist maailmapilti.

Ülevaade füüsikalistest nähtustest ja nende seletusest erineb oluliselt traditsioonilisest käsitlusest, kus käsitlus on liigendatud nähtuste järgi ning on jaotatud valdkondadesse nagu *Mehaanika*, *Molekulaarfüüsika*, *Elekter ja magnetism*, *Optika* jne. Meie oleme nähtused liigendanud **mateeriavormide liikumisviiside** järgi.

Liikumisviise on meie liigituses neli: kulgamine, tiirlemine ja pöörlemine, võnkumine ning lainetamine. Eraldi käsitleme paigalseisu kui liikumise erijuhtu ning mikromaailmas esinevaid liikumisi, kus pole selget vahet eeltoodud liikumiste vahel.

Ülevaadet alustame nelja vastastikmõju kirjeldamisega. Siis anname ülevaate jäävusseadustest ja printsiipidest, mis on edasiste seletuste aluseks. Seejärel tutvume liikumise kirjeldamisega, liikumise põhjuste ja suurustega, mis on seotud liikumisega.

Järgneb füüsikaliste nähtuste kirjeldamine liikumisvormide kaupa. Lõpetuseks käsitleme kvantmehaanilist liikumist, kus ei saa rääkida klassikalistest liikumistest.

Lisaks anname ülevaate relatiivsusteooria seisukohtadest ja kosmoloogiast.

Esitus on selline, mis eeldab mingeid algteadmisi füüsikast, aga mitte väga sügavaid.

Näiteks oleks hea kui teatakse, et elektrivoolu kirjeldatakse pingega, takistuse ja voolutugevusega ning voolu võib jaotada alaliseks ja vahelduvaks. Või seda, et valgust saab kirjeldada nii laine kui osakeste abil.

Need osad tekstist, mis on esitatud *kursiivis* pole kohustuslik materjal.

Vektorimärkide kasutamine pole süstemaatiline. Paljudes kohtades pole suuruste vektoriaalne olemus meie jaoks oluline ja paljudel juhtudel saab suunda kirjeldada märkidega + ja –.

Füüsika ei seleta loodust, vaid kirjeldab mudelite abil ning seletab mudelite tööd.

1. Loodus ja füüsika

1.1. Loodus

Mis on loodus? Sellele küsimusele võib vastata mitmeti. Laiemas mõttes on loodus kogu materiaalne maailm, kogu Universum. Kitsamas mõttes selle inimtegevusest sõltumatu osa. Teaduses kasutatakse tavaliselt loodust laiemas mõttes. Võib öelda, et **loodus on objektiivne reaalsus, mis eksisteerib väljaspool teadvust ja sellest sõltumatult**. Mis on aga *objektiivne reaalsus*? See on sama, mis materia. Teadvus ei kuulu loodusesse, aga **inimene**? Inimene kui bioloogiline objekt kuulub, samuti ka nn **noosfäär**, so. valdkond, mille inimene on oma tegevusega tekitanud: ehitised, rajatised (kaevandus, kanal, raudtee), tehismaterjalid, keemilised tehiselemendid, kosmoseaparaadid, saasteained jne. Kuid muu inimtegevusega seotu, nagu poliitika, kunst, sõjandus, religioon, psüühika, sotsiaalsed protsessid, jne. ei kuulu loodusesse. Samuti pole loodus ka kõik sõnad, mõisted, füüsikalised suurused jne.

Millest loodus koosneb? Nagu eespool öeldud on loodus sama, mis materia. Materia põhivormid on aga **aine** ja **väli**. Aine on see millest kõik kehad koosnevad. Väli on see, mille abil üks keha teist mõjutab. Kuna mõju saab avalduda ainult mitme keha korral, siis kasutataksegi mõistet **vastastikmõju**. Materia põhiomaduseks on liikumine ehk muutumine. Siia kuulub mehaaniline liikumine (asukoha muutus ruumis ja ajas), aga ka keemilised reaktsioonid, rakkude teke ja surm, elusorganismide evolutsioon, jne.

Kuidas loodus toimib? Loodus toimib vastavalt **loodusseadustele**, mis kehtivad alati ja igal pool. Loodusseadusi uurivad **loodusteadused** : füüsika, keemia, bioloogia, geograafia (geoloogia) ja nende kombinatsioonid, näiteks biofüüsika, geokeemia, jne.

Kuidas saadakse teada loodusseadusi ? Selleks kasutab iga loodusteadus talle omaseid uurimismeetodeid, kuid kõik need taanduvad ühele meetodile – **teaduse meetodile**, mille aluseks on katse.

Tuleme veelkord tagasi inimese juurde. Mille poolest erineb elus inimene surnud inimesest? Ei toimu ainevahetust. Aga suremise kohta öeldakse ka, et "hing läks välja". Järelikult on **hing** seotud ainevahetusega ja energia muundamisega ühest liigist teise. Hing on olemas kõigil elusolendel, aga teadvust ei ole. **Teadvus** on inimese võime ehitada oma tegevus üles reaalselt tegu ennetavalt, ideaalses vormis. See on eesmärgipärane, tegevust kavandav, kogemust üldistav ning põhjus–tagajärje seost ennetavalt arvesse võttev tegevus.

Hinge ja teadvusega füüsika ei tegele, see on psühholoogide ja filosoofide rida.

1.2. Füüsika

Mis on füüsika?

Enne, kui asume seda lahti rääkima,

TAOME PÄHE: mingit objektiivset füüsikat pole olemas. Füüsika on inimeste poolt väljamõeldud looduse kirjeldamise moodus. Selle eesmärgiks on inimese poolt välja mõeldud suuruste abil kirjeldada looduses toimuvaid nähtusi.

See ei tähenda, et loodus pole objektiivne! LOODUS ON OBJEKTIIVNE, FÜÜSIKA SUBJEKTIIVNE.

Definitsioone on mitmeid, kuid meie lähtume sellest, mis on kirjas Eesti koolifüüsika kontseptsioonis: **füüsika on loodusteadus, mis täppisteaduslike meetoditega uurib materia põhivormide liikumist ja vastastikmõjusid.**

Loodusest me juba rääkisime, aga mis on **teadus**? EE ütleb: Teadus on uute, tunnetuslikult oluliste teadmiste saamine ja rakendamine ning olemasolevate teadmiste töötlemine, kasutamine ja säilitamine. Tõe kriteeriumiks teaduses on eksperiment.

Kuidas teaduses edu saavutada? Kõiges ja kõigis tuleb kahelda ja kõike kontrollida; leida erinev vaatekoht (näiteks vaadake, mismoodi näeb ruum välja laua pealt vaadatuna või põrandal lesides); kasutada analoogiaid teiste teadustega. Tavaliselt tagab edu raske töö, aga ka õnne osa pole null.

Nagu öeldud, on materia põhivormideks aine ja väli. Millised on aga mittepõhivormid? Nendeks on kõik konkreetsed kehad või väljad: inimene, kivi, elektriväli, jne.

Vastastikmõju on see, mis paneb kehad liikuma. Vastastikmõju liike on tänaseks teada neli. Need on :

1. gravitatsiooniline (kõik kehad)..... suhteline tugevus 10^{-38} ;
2. elektromagnetiline (laetud kehad)..... - “ - 10^{-2} ;
3. tugev (prooton ja neutron)..... - “ - 1 ;
4. nõrk (elementaarosakesed)..... - “ - 10^{-15} .

Kõik reaalsed protsessid on tingitud neist neljast vastastikmõjust .

Milline on täppisteaduslik meetod? See on teaduse meetod, mis kasutab:

- idealiseeritud objekte;
- võimalikult üheselt määratud (korratavaid) katsetingimusi;
- maksimaalse täpsusega tehtud mõõtmisi;
- ühetähenduslikku keelt – füüsika keelt;
- idealiseeritud nähtuste matemaatilist kirjeldamist .

Füüsika eesmärgiks on välja selgitada looduseseadusi ja tõlkida need inimesele arusaadavasse keelde nn. **füüsika keele** abil. Füüsika keel on spetsiifiline keel, mis tugineb tavakeelele, kuid millele on omased järgmised tunnused:

- kaotab sõnade mitmetähenduslikkuse (näit. *laeng* : elektrilaeng, lõhkelaeng, emotsionaalne laeng);
- võimaldab lühemalt üles kirjutada füüsikas kasutatavaid lauseid (näit.: *nõguslääts fookuskaugus on 25 cm* asemel $f = - 25 \text{ cm}$);
- võimaldab kajastada objektide või mõistete vahelisi suhteid (näit: $I = U / R$);
- võimaldab pidada sidet eri rahvusest ja eri põlvkondade füüsikuil.

Füüsika keelele on omased nagu igale teisele keelelegi:

- **alfabeet** (märkide süsteem);
- **süntaks** (märkide kombineerimise reeglistik);
- **semantika** (märkide tähendus);
- **pragmaatika** (märkide seos kasutajaga).

Alfabeet koosneb:

- tähtedest, mis asendavad füüsikaliste suuruste nimesid, muutujaid, mõõtühikute nimetusi;
- märkidest, mis tähistavad nähtuste, suuruste või objektide seoseid (näit: \neq , \approx , \perp);
- operaatoreist, mis tähistavad mingeid operatsioone (näit: $+$, \times , Σ);
- tavakeele kirjavahemärkidest;
- muudest sümbolitest (näit: $^\circ$, läätse sümbol, dioodi sümbol).

- objekte tähistavatest arvudest (näit: elektroni laengu arvvaartus, gravitatsioonikonstant);

Süntaks õpetab seda, kuidas märkidest lauseid moodustada ja kuidas neid lugeda (näit: $a = F/m$, $U \leq 220 \text{ V}$).

Semantika käsitleb märkide seost objektiga (näit: optiline süsteem ja selle skeem).

Pragmaatika käsitleb seda, kuidas füüsika keelt kasutada (näit: kas oskan füüsika keeles kirjutada ja lugeda).

Füüsika keel on suures osas kattuv **matemaatika keelega**, tihti öeldaksegi, et **matemaatika on füüsika keel**.

Füüsika õppimist raskendab see, et sageli kasutatakse tavakeele sõnu teisiti kui füüsikas.

Näiteks massi asemel kasutame tavakeeles kaalu mõistet. Nii ei vasta küsimusele, kui suur on su kaal mitte keegi, et 1000 njuutonit (mis oleks füüsikaliselt korrektne), vaid ikkagi 100 kg, mis on füüsikaliselt ebakorrektn. Samuti peaks spordis kasutatavad kaalukategooriad olema massikategooriad.

Aastal 2000 tegime Koolifüüsika keskusel ulatusliku uurimise, kus uuriti seda, kui võrd mingi mõiste seostub õpilastel füüsikaga. Hõlmatud oli ca 600 õpilast nii maa kui linnakoolidest 8. – 12. klassini. Tulemused näitavad, et sõnu *valgus*, *võimsus*, *laeng*, *energia*, *mass*, *vari* ja *jõud* on valdavalt seostatud füüsikaga. Sõnu *väli*, *faas*, *tuum* ja *keha* seostatakse füüsikaga keskmiselt ja sõnu *töö*, *mudel*, *rõhk*, *murdmine* ja *gaas* on füüsikaga seostatud vähem.

Saadud vastused näitavad ka mitmeid füüsikaterminite väärtõlgendusi, mida tuleb õpetajail ja õppevahendite koostajail arvestada. Näiteks: aetakse segi *valgus* ja *valgusallikas*; lisaks *aatomituumale* räägitakse ka *molekuli tuumast*; *faasi* seostatakse *elektrilaenguga*, *perioodiga*, *elektrikapiga* ja *elektrikilpi tuleva energiaga*; *mudelik* peetakse valdavalt *asja vähendatud koopiat*; samastatakse *võimsust* ja *jõudu*; räägitakse *potentsiaalsest ja kineetilisest jõust*; *jõudu* omistatakse masinale; *massi* seostatakse maakoolides auto või traktori elektrisüsteemiga; *massi* peetakse *mõõtühikuks*, jne.

Esines ka päris omapäraseid vastuseid. Näiteks: *valgus on õhk, mida inimesed näevad läbi oma silmade*; *tuuma ümbritsevad prootonid ja neutronid*; *inimene kiirgab võimsust*; *valgusel on väike keha, jms*.

Probleeme

1. Mida ütleb lause (milline on selle semantiline tähendus) : $v_k = 12/7 \text{ m/s}$? Kas see näitab, mitu meetrit keha läbib 7 sekundiga? Või seda, mitu meetrit keha läbib 1 sekundis?
2. Kirjutage füüsika keeles lause: ülikoolis on üliõpilasi 8 korda rohkem kui õppejõude.
3. Kuidas mõista lauset $F = q_1 \times q_2 / r^2$?
4. Kuidas mõista lauset $\rho = m / V$, kus ρ on keha tihedus, m mass ja V ruumala? Kas $\rho \sim m$? Kas $\rho \sim 1 / V$?
5. Rasmuse küsimus: "Papa, kuidas sa tead, et tähed taevas on väga kaugel?"

Mudelid füüsikas

Füüsika kasutab loodusnähtuste seletamisel alati **mudeleid** - ligilähedasi koopiaid originaalist, kus on säilitatud kõik olulised tunnused ja ebaolulised kõrvale jäetud. Oluliste tunnuste väljaselgitamine on küllalt keeruline. Mida lugeda oluliseks tunnuseks? Seda, mis on omane kõigile samasse liiki kuuluvatele nähtustele.

Näide

Auto sõidab maanteel, inimene läheb trepist üles, õun kukub puu otsast alla. Mis on oluline: kas see, kes või mis liigub? Kuidas liigub? Oluline tunnus on keha asukoha muutumine ruumis. Millist mudelit siinjuures kasutatakse? Punktmassi - oletatakse, et kogu keha mass on koondunud ühte punkti, massikeskmesse ja jälgitakse selle liikumist. See teeb probleemi lahendamise lihtsamaks ja vabastab meid ebaoluliste tunnuste segavast mõjust (mootori võimsus, teekate, inimese kehakuju, õunasort jne).

Mudelid lubavad füüsikas kasutada ühtesid ja samu seadusi väga erinevate konkreetsete olukordade uurimisel. **Põhjusi, miks tuleb kasutada mudeleid, on veel mitu:**

- originaal võib olla vahetule uurimisele kättesaamatu (näit. Päikese sisemus);
- protsessid võivad kulgeda liiga aeglaselt või liiga kiiresti (näit. Universumi areng, elementaarosakeste reaktsioonid);
- originaali uurimine on liiga kallis või ohtlik (näit. tuumaplahvatus);
- originaali ei ole enam olemas (näit. Suur Pauk).

Kuidas suhtuda väitesse, et looduses toimub kõik füüsika seaduste järgi? See väide on vale. Looduses toimub kõik looduseaduste järgi. Füüsika püüab neid seadusi avastada ja kirjeldada. Füüsika ei suuda kunagi kindlalt väita, milline loodus on, küll aga suudab ta kindlalt öelda, milline loodus ei ole.

Näide

Kui paberist rebida ruut, siis lähemal uurimisel selgub, et nurgad pole täpselt 90° , küljed pole päris sirged, jne. Seega võib vaielda, kas see on ruut või mitte. Aga seda võib kindlasti väita, et see ring ei ole. Nii on ka füüsikaga: see ei suuda öelda täpselt, milline loodus on, aga suudab täpselt öelda, milline see ei ole.

Tihti küsitakse: Miks taevast on sinine? Miks kehad kukuvad maha? Miks pole negatiivse massiga kehi? Kuidas sellistele küsimustele vastata? Kui tahta anda lõplikku, ammendavat vastust, peaksime laskuma müstikasse ja fantaseerima. **Füüsikateadus ei anna seletusi, see kirjeldab.** Füüsika kirjeldab mingi postuleeritud mudeli raamides, kuidas loodus töötab. Mudeli kehtivust kontrollitakse katsetega ja seda täiendatakse seni, kuni **mõõtmisvigade piires** lähevad mudelist tulenevad ennustused kokku katsetulemustega. See lubab välistada kõik väärtõlgendused, aga ei luba jõuda absoluutse tõeni. Ikka jääb midagi saladuseks.

Füüsika on õpilastele **ebameeldiv aine** ja seda mitte ainult meil, vaid üle maailma. Lisaks objektiivsetele põhjustele tehakse veel üks ja ehk kõige olulisem viga aine õpetamisel.

Paljud füüsikaõpetajad nõuavad õpilastelt füüsika seaduste matemaatilise kuju **formaalset päheõppimist**, pööramata sageli tähelepanu sellele, kas õpilane on nähtust ka mõistnud ja kas ta oskab vastavat seadust kasutada probleemide lahendamisel. Lõppeesmärk on üldjuhul jõuda valemieni, mis kirjeldab füüsikaseadust, sest suur osa füüsikuid ja füüsikaõpetajaid peab arvutamist ja valemite kasutamist "tõeliseks" füüsikaks, uskudes, et kui õpilane suudab lahendada arvutusülesandeid, siis ta on probleemist lõplikult aru saanud. Paraku arvavad nii ka (üli)õpilased, kes eelistavad ülesannete lahendamisel mahukaid ja keerukaid arvutusi ratsionaalsete füüsikaliste ideede otsimisele ja kasutamisele.

Füüsikale on omased kaks külge, mida võib nimetada loodusteaduslikuks ja täppisteaduslikuks. Esimesel juhul kirjeldatakse nähtust tavakeeles, leitakse analoogiaid juba tuntud nähtustega, püütakse nähtust seletada kvalitatiivselt, leida põhjuslikke seoseid. Põhieesmärgiks on nähtusest mõttekujundi (konstrukti) loomine. Teisel juhul kirjeldatakse nähtust füüsika keeles, kasutades matemaatilist formalismi, seletused on kvantitatiivsed. Koolifüüsikas tehakse aga see viga, et jäetakse loodusteaduslik külg ära ja piirdutakse täppisteaduslikuga. Aga seda pole võimalik saavutada, kui enne pole omandatud loodusteaduslik külg.

Informatsiooni ümbritsevast saame oma **meeleorganite** abil. Kui neid ärritada, tekib **aisting: nägemine, kuulmine, kompimine, maitsmine** või **haistmine**. Aisting on **tegevus**: me näeme, et mingi valgus on punane, kuuleme, et häääl on vali jne. Aistingute korral ei anta neile sisu. Nii tegutseb näiteks imik. Normaalsel inimesel esinevad aistingud komplekselt ja neid analüüsitakse. Sel juhul räägitakse **tajumisest**. Tajumine tugineb suuresti eelnevatele teadmistele, kogemustele, ootustele.

Tajude sisu võib esineda ka ilma meeleorganeid ärritamata. Sel juhul räägitakse **kujutlusest**. Ei saa kujutleda seda, mida ei tea või pole varem kogetud. Seda tuleb arvestada õpetamisel, sest ei saa nõuda õpilaselt millegi sellise ettekujutamist, mille olemust ta pole endale teadvustanud.

Samuti tuleb arvestada võimalusega, et õpilane on tajunud mingit nähtust teisiti kui õpetaja. Lihtsaim näide on optiline illusioon. Füüsikas ei saa ega tohi uskuda oma tajuksid. Võimalike eksituste vältimiseks tuleb kasutada mõõtmisi.

Ei või usaldada oma meeleorganeid, sest need on subjektiivsed ja palju oleneb eelnevast kogemusest.

Juba **Sokrates** on öelnud, et *me allume arvukatele meelepetetele ja parim vahend nende vastu on mõõtmine*. **Galilei** on öelnud, et *Mõõta tuleb kõike, mis on mõõdetav ja püüda mõõdetavaks teha, mis seda veel pole*.

Mis on **mõõtmine**? Mõõtmine on füüsikalise suuruse väärtuse määramine mõõdetava suuruse ja teise, ühikuks võetud samaliigilise suuruse suhtena (arvväärtusena). Mõõtmistulemus on saadud arvväärtuse ja mõõtühiku korrutis.

Teiste sõnadega : mõõtmisel teeme kindlaks, mitu korda suurem või väiksem on antud suurus mõõtühikust.

Näide. Olgu meil tarvis mõõta mingi pulga pikkust. Kuidas me seda teeme? Kasutame joonlauda või mõõtelinti, mille abil teeme kindlaks, mitu pikkusühikut vastab pulga pikkusele (mitu korda on pulk pikem ühikuks valitud suurusest). Kui ühikuks oli 1 cm , siis tuleb saadud arv korrutada 1 cm-ga.

Meie oleme harjunud, et kasutatakse selliseid ühikuid nagu meeter, kilogramm, sekund, amper, volt, džaul jne. Teiste sõnadega – SI ühikutega. See ühikutesüsteem tugineb meetermõõdustikul, kus põhiühikuiks on meeter ja kilogramm. Aga see pole kaugeltki kõikjal ega alati nii olnud.

Selle väite ilmestamiseks toome väikese valiku vanaaegsed mõõtühikuid:

Pikkusühikud

1 penikoorem = 7,47 km = 7 versta
1 verst = 1,07 km = 500 sülda
1 süld = 2,13 m = 3 arssinat
1 arssin = 71,7cm = 16 versokki = 28 tolli
1 jalg = 30,5 cm = 12 tolli
1 toll = 2,54 cm = 10 liini.

1 miil = 1609m
1 meremiil = 1853m
1 jard = 91,4cm = 3jalga

Pinnaühikud

1 tiin = 1,09 ha
1 tündrimaa \cong 0,5 ha
1 aaker = 4047 m² \cong 0,4 ha

Ruumiühikud

1 vaat = 491 l = 40 pange
1 pang = 12,3 l = 10 toopi
1 toop = 1,23 l = 4 kortlit
1 gallon = 4,55 l = 8 pinti
1 pint = 0,57 l
1 unts = 29,6 cm³

Massiühikud

1 puud = 16,4 kg = 40 naela
1 nael = 409 g = 96 solotnikut
1 unts = 28,4 g

Selline ühikute mitmekülgsus segas riikidevahelist koostööd ning kaubavahetust. Suure Prantsuse revolutsiooni ajal (1789 – 1799) loobuti kõigest kuninglikust ja ka vanadest ühikutest.

1791.a. otsustati defineerida uued pikkuse ja massi ühikud. Nimetused valiti nii, et nad poleks seotud mingite rahvuslike joontega. Ühikud olid kõik **kümnekordsed**. Senini see nii ei olnud. Kordsust hakati tähistama vastavate eesliidetega: kilo-, detsi- jne.

Määrati kindlaks ka põhiühikute etalonid. **Etalon** on seade mõõtühiku reprodutseerimiseks, säilitamiseks ja töömõõtevahenditele ülekandmiseks.

Pikkuse põhiühik **1 meeter** defineeriti kui 1 / 10 000 000 maakera veerandmeridiaanist, mis läbib Pariisi. Vastavaid mõõtmisi tehti maastikul 7 aastat, sest oli sõja aeg ja tihti aeti mõõtjad minema, lõhuti nende seadmeid jne. Peamiselt sellepärast, et maamõõtjad kandsid vormirõivaid ja neid peeti kuninga sõduriteks.

1799.a. valmistati mõõtetulemuste järgi puhtast plaatinast varras, mis oli esimene meetri etalon – nn. **arhiivimeeter**. Nimetus meeter tuleb kreeka keelest: metron – mõõdan.

Massi ühikuks valiti **1 kg**, mille mass loeti võrdseks 1 dm³ puhta vee massiga 4° C juures. Etaloniks valmistati plaatina ja iriidiumi sulamist silinder läbimõõduga 39 mm ja kõrgusega ka 39 mm.

Ajaiühikuks oli **1 sekund**, mis moodustas 1 / 86400 ööpäevast.

Meetrimõõdustik sai Prantsusmaal kohustuslikuks 1840.a. Rahvusvaheline Meetrimõõdustiku Konventsioon sõlmiti 1875.a 17 riigi vahel. Eestis kehtestati meetrimõõdustik 01.01.1929.a. Praeguseks (alates 1960.a.) kehtib ametlikult kõigis arenenud maades **SI** (System International), kuid anglo-ameerika maades kasutatakse ikka rohkem jarde ja nael kui meetreid ja kilogramme.

Tänapäeval kasutatakse 6 füüsilise suuruse rahvusvahelisi etalone, nende abil on võimalik määrata ka kõigi teiste ühikute suurused. Etalonid on olemas järgmiste suuruste jaoks:

1 kilogramm (kg) - seesama kilogrammi etalon, mis vanastigi (plaatina ja iriidiumi sulamist silinder);

1 meeter - laserseade, mis määrab meetri valguse kiiruse *c* ja aja järgi. 1 m on pikkus, mille valgus läbib 1/*c* sekundiga, kusjuures ***c* = 299792458 ± 0 m/s.**

1 sekund - elektromagnetvõnkumiste tekitamise ja vastuvõtmise seade;

1 kelvin - temperatuuri püsipunktide tekitamise seade;

1 amper - voolukaal (seade, kus kaht pooli läbiva voolu toimel tekkiva jõu suurus määratakse kaaluvihide raskusjõu abil);

1 kandela - monokromaatse kiirguse allikas koos optilise süsteemi ja mõõteriistadega.

Praktiliste mõõtmiste korral ei kasutata rahvusvahelisi etalone, vaid töömõõteriistu, mida kontrollitakse (**taadeldakse**) rahvuslike etalonide (või nende asendajatega). Rahvuslikke etalone võrreldakse regulaarselt rahvusvahelistega. Sellega tegeleb riiklik metroloogiateenistus.

Kõikide suuruste jaoks ei ole etalone. Näiteks ruumala mõõtmiseks ei ole etaloni.

Pole tarvidust näiteks liitri etaloni järele, sest ruumala saab määrata pikkuse mõõtmise abil: see arvutatakse keha mõõtmete järgi või määratakse vedelikusamba kõrguse muutuse järgi mõõteklaasis.

Mõõtmisi jaotatakse kaheks:

otsemõõtmine - kus tulemus saadakse vahetult mõõteriista skaalalt (joonlaud, ampermeeter);

kaudmõõtmine - kus tulemus saadakse otsemõõdetud tulemustest arvutuste abil ($v = s/t$, $S = l^2$, jne).

Praktika näitab, et iga mõõtmisega kaasneb alati **mõõteviga**. See ei tähenda, et me mõõdame valesti, vaid põhimõtteliselt pole ühtki mõõtmist võimalik teha absoluutselt täpselt. **Erandiks** on loendamine heades vaatlustingimustes.

Mõõtevea allikaid on kolm:

- 1. mõõteriist** - skaala jaotised pole ühtlased, osuti ja skaalakriips on lõpliku paksusega, andurid on muutlikud (vedru väsib, temperatuur mõjub), numbrilises riistas toimub näidu ümardamine;
- 2. mõõtmisprotseduur** – lugemisviga (silma järgi skaalajaotise kümnendkohtade hindamine), parallaks, häireviga (välised elektriväljad, vibratsioon, kõrvaline valgus), lähteviga (kui täpselt kasutame arvutustes konstante, näiteks g või π), meetodiline viga (meetodi ebatäiuslikkus või arvutusvalemi ligikaudsus)
- 3. objekt** - objekt muutub aja jooksul (soojuspaisumine, vee aurustumine või kondenseerumine, jms.).

Kuigi absoluutselt täpne mõõtmine ei ole võimalik, on võimalik alati hinnata **mõõteviga**. Mõõteviga ehk uema nimega **mõõtemääramatus** annab meile vahemiku, milles suuruse tõeline väärtus asub. Seda vahemikku pole võimalik täpselt määrata, küll aga teatud tõenäosuse ehk **usaldatavusega** kindlaks teha. Kui me mõõtsime näiteks suurust x ja saime mõõtmistulemuseks x_m , siis otsitava suuruse väärtus kirjutatakse üles nii

$x = x_m \pm \Delta x$, kus Δx on mõõteviga. Kuna alati pole võimalik kindlaks teha, kas mõõtmise käigus saime tõelisest väärtusest suurema või väiksema tulemuse, siis lisatakse viga mõõdetud tulemusele märgiga \pm .

Näiteks saime keha massi mõõtmisel tulemuseks 27,3 g ja vea hindamisel 0,3 g. Otsitav mass kirjutatakse siis üles nii: $m = (27,3 \pm 0,3)$ g. See tähendab, et tõeline mass on vahemikus 27,0 kuni 27,6 grammi.

Sellist viga, millel on sama mõõtühik kui mõõdetaval suurusel, nimetatakse **absoluutseks mõõteveaks** ja selle tähiseks on Δ (suur delta).

Mõõtmise kvaliteeti näitab **suhteline viga δ** (väike delta). See on suurus, mis näitab kui suure osa mõõdetud suurus moodustab mõõteviga. Suhteline viga leitakse seosest

$$\delta x = \Delta x / x_m \cdot 100\%.$$

Näiteks $\delta m = 0,3 \text{ g} / 27,3 \text{ g} \cdot 100\% = 1,1 \%$.

Lõpetuseks räägime veel sellest, mida tähendab füüsikas lause, mida tihti kasutatakse: **tulemused on vigade piires võrdsed**.

Olgu meil kaks suurust, mille võrdsust tahame kontrollida. Mõõtmistulemusteks saime x_{m1} ja x_{m2} . Tulemused kirjutame välja nii: $x_1 = x_{m1} \pm \Delta x_1$ ja $x_2 = x_{m2} \pm \Delta x_2$

Olgu konkreetseuse mõttes $x_1 < x_2$, siis vigade piires on tulemused ühesugused kui $x_1 + \Delta x_1 > x_2 - \Delta x_2$.

Näide: $x_1 = (10 \pm 0,7)$ m ja $x_2 = (11 \pm 0,4)$ m. Nüüd $10 + 0,7 = 10,7 > 11 - 0,4 = 10,6$.

Järelikult on mõõtmistulemused vigade piires võrdsed.

Vigade hindamise võtetega tutvutakse täpsemalt füüsika praktikumis.

1.2.1. Aja, pikkuse, pindala, ruumala ja massi mõõtmine läbi aegade

Aja mõõtmine

*Esimene ajamõõtevahend arvatakse olevat ca 10 000 aastat vana. Kreekas kasutati selleks maasse torgatud keppi, mille varju pikkuse järgi hinnati aega. Selle riista nimi oli **gnomon**. Hiljem tehti kepi ümber ringskaala ja saadi **päikesekell**.*

Vanas Egiptuses (ca 3000 a. e.m.a.) jaotati päeva pikkus 12 osaks. Miks just 12? Ei teata, võib-olla Sodiaagi tähtkujude järgi. Sellise süsteemi järgi olid ühikud (tunnid) eri aastaegadel erineva pikkusega. Päikesekellal oli veelgi puudusi, näiteks ei saanud seda kasutada pilves ilmaga või öösel.

*Egiptuses ja Babüloonias võeti ca 1000 a. e.m.a. kasutusele **veekellad**, kus aega võrreldi vee anumasse voolamise (või väljavoolamise) kiirusega. Siit ka termin: aeg voolab. Neil jagati skaala juba 2×12 osaks, st. hakati mõõtma ööpäeva pikkust. Tuntuim veekell oli **klepsüdra** (kreeka keeles veevaras). See oli väljavoolu veekell, kus anuma põhjas oli väike auk ja vee taseme languse järgi mõõdeti aega. Hiljem tehti ka taskuveekelli.*

*Keskajal tulid kasutusele **liivakellad** ja arvatakse, et Euroopas. Nendega mõõdeti juba veerandtunde ja isegi minuteid. Minuti kasutuselevõtmise kohta puuduvad mul andmed. Tund jaotati 60-ks ilmselt sellepärast, et 60 jagub paljude arvudega. Sekundi kasutuselevõtt on täpsemalt teada, ca 1500.a. Hiinas kasutati **tulekelli** (aeglaselt põlev peenestatud puidust varras, millel olid tunnijaotised) ja Inglismaal **küünalkelli** (aega mõõdeti küünla lühenemise järgi).*

*Edasi tulid **rataskellad**, mida tänapäeval tuntakse **mehaaniliste kelladena**. Need leiutati ca 800. aasta paiku. Nende käivitamiseks (energiaallikaks) kasutati langevate kehade raskust, nn kellapomme. Kella käiku reguleerib pendel. Suur samm kellade täpsuses oli Galilei töodel pendli uurimise alal, kui leiti seos pendli pikkuse ja võnkeperioodi vahel. Siis sai juba täpsemalt fikseerida sekundi pikkust. Hiljem hakati kasutama pommide asemel vedrusid.*

***Elektrikellad** võeti kasutusele 19. sajandi lõpus. Elektrikella energia saadakse patareist, mis paneb tööle kaks elektromagnetit, mis nende vahel asuvad ankrut kordamööda külge tõmbavad.*

***Kvartskellad** võeti kasutusele 20. sajandi 30-il aastail. Kvartskella energia saadakse elektroonselt generaatorist, mis käivitab elektrimootori. Generaatori sagedust aitab püsivana hoida generaatori poolt võnkuma pandud kvartskristall, sest kvartskristalli omavõnkesagedus on väga püsiv, ega olene oluliselt sündiva jõu sageduse muutustest. Kvartskell eksib 1 sekundi 30 aasta kohta.*

*Tänapäeval kasutatakse nn. **aatomkelli** (kvartskell koos aatomresonaatoriga). Mõõteviga on neil ca 1s 100 000 aasta kohta.*

Europhysicsnews, 2005, 36/4 andmetel on juba täpsus kasvanud ca $1 \text{ s } 10^8$ aasta kohta

Pikkuse mõõtmine

Vanasti kasutati pikkuse "etalonina" inimest, õigemini tema kehaosi. Näiteks Vanas Egiptuses oli ühikuks **1 küünar**, mis võrdus kaugusega küünarnuki otsast kuni keskmise sõrme otsani. Kasutusel oli kaks erinevat küünart: kuninglik küünar (52 cm) ja lihtrahva küünar (45 cm). Nii lahendati käibemaksu probleem: kõik, mida kuningas sai (maksud), võeti kuningliku küünra järgi, lihtrahvale jagati (müüdi) aga lühema küünra järgi. Babüloonias võeti kasutusele **jalg** (vahemaa kannast suure varba otsani) ≈ 31 cm. Jalga jaotati 16 **sõrmeks**.

Väiksemaid ühikuid: Araabias - **kaamelikarva** paksus, Jaapanis **siidiussi kookoniniidi** jämedus (ca 0,05mm). Suuremaid ühikuid: Egiptuses, Kreekas - **staadion** (185 m – 192 m), Egiptuses **miil** (1,4 km), Tiibetis **tassi tee kaugus** (vahemaa, mille läbimiseks kulunud aja jooksul keev teevesi jahtub joomiskõlblikuks, ca 1500 m).

Euroopa ühikuist kehtestati esimesena **jard**. Selle määras Inglise kuningas Henry I aastal 1101, ja selleks oli kaugus tema ninaotsast väljasirutatud käe pöidlaotsani. Selle järgi tehti ka vastava pikkusega valitsuskepp. Väiksema ühiku **tolli** kehtestas Edward II aastal 1324 ja selleks oli viljapea keskelt võetud ja järjestikku asetatud 3 odraiva pikkus. Kehtestati seos 1 jard = 3 jalga = 36 tolli ja valmistati jardi pikkuse säilitamiseks pronksvarras.

Kõik arenenud maad arendasid oma ühikute süsteeme, kuni 1799.a. võeti kasutusele rahvusvaheliselt soovitatud **meeter**. Tänapäeval kasutatava meetri etalonid on muutunud järjest täpsemaks. Arhiivimeeter tagas täpsuse (suhtelise vea) 10^{-4} , 1889. a. kasutusele võetud uus meetri etalon tagas täpsuse 10^{-7} . 1960 a. kehtestati uus meetri etalon, mille aluseks oli krüpton-86 kiirgusspektri ühe joone lainepikkus. See tagas täpsuse 10^{-9} . Mõõtmistäpsus 10^{-9} on täpsus, mis vastaks tuhandekilomeetrise vahemaa mõõtmisele 1 mm täpsusega. 1983. a. kehtestati veel uuem meetrietalon, mis on seotud valguse kiirusega vaakumis. See tagab mõõtmistäpsuse 10^{-12} .

Pindala mõõtmine

Sellega alustati Vanas Egiptuses, kus pindala mõõdeti kaudselt, sest osati arvutada ruudu pindala. Ühikuks oli ruut, mille külje pikkus oli 100 kuninga küünart (selle etalon oli vastava pikkusega nöör). Ühiku nimi oli **arura**, mis võrdus 2760 m^2 . Ruutmõõdud tulid tegelikult Rooma ajal ja neid tähistatigi ruudu abil **näiteks** ^{\prime} , mis tähistas ruutjalga.

Omapärase siledate ja õhukeste materjalide (paber, riie, plekk jms.) pindala mõõtmise moodus võeti kasutusele 1860. a. kellegi Youngi poolt, nimelt **kaalumise meetod**. Seal eeldatakse et materjali pindala on võrdeline massiga, see lubab leida igasuguse kujuga kehade pindalaid.

Ruumala mõõtmine

Kõige vanem ruumala ühik on **kamalutäis**. Suurem oli **hunnik** ja väiksem **näputäis**. Väga vana on ka ühik **pang**, kuid see oli erinevais maades väga erineva suurusega (väikseim ainult 2 liitrit). Vanas Kreekas oli mahumõõduriistaks **amfora**, mille mahuks roomlased määrasid 1 kuupjala, see on umbes 27 liitrit. Ühikuid oli äärmiselt palju ja vägagi veidraid. Näiteks Indias oli ühikuks ka püha looma, lehma jalajälje ruumala pehmes pinnases, nn **lehmajalg**.

Ruumala ühikuid nagu ka pindala ühikuid pole seostatud inimkeha mõõtmega. See on ka arusaadav, sest see oleks küllalt tülikas (eriti pindala korral).

Massi mõõtmine

Massi mõõtmine toimub kaalumise teel. Vanasti ei tehtud vahet kaalul ja massil. Need probleemid tekkisid alles pärast Newtonit.

Andmeid **võrdõlgsete kangkaalude** kohta on juba 2500 a. e.m.a. Egiptusest. Egiptuse püramiidides on seintel kujutatud kaaludega inimesi. Ligemale 1500 aastat hilisema päritoluga on nn. **margapuu** e. päsmer (Egiptus). See on mittevõrdõlgne kaal.

Vedrukaalud võeti kasutusele 18. sajandil, elektroonilised 20. saj. II poolel. Elektrilistes kaaludes tuleb muuta raskusjõud sellega võrdeliseks elektriliseks signaaliks. Selleks võib olla metalli takistuse sõltuvus talle avaldatavast rõhust või elektromotoorjõu tekkimine aines rõhu toimel (piesoelektriline efekt).

Kaasaegsed kaalumismeetodid lubavad määrata massi täpsusega 10^{-9} . See on täpsus, mille korral oleks võimalik 1000 tonnise massiga rongi kaaluda 1 g täpsusega.

Suuri segadusi on ajaloos olnud massiühikutega. Neid on olnud palju rohkem kui pikkusühikuid. Ja ikka on püütud leida loodusest etaloni, aga pole head leitud. Näiteks Babüloonis võeti etaloniks nisutera kaal, mida kutsuti **graaniks**. Kehtis süsteem, kus 60 graani = 1 seekel; 60 seeklit = 1 miin; 60 miini = 1 talent. Praegustes ühikutes 1 graan $\approx 1,36$ g. Väga vana ühik on ka **karaat**, mille mass oli määratud jaanikaunapuu (*Ceratonia siliqua*) seemne massiga. Seemned on kindla suurusega ($m = 0,18$ g) ja nendega kaaluti vääriskive ja kulda. Sealt ka nimetus, mida kasutatakse tänaseni. Kuid tavaliselt kasutati ikka mõnd kunstlikult valmistatud etaloni: kas valitsuskeppi või mingit muud keha. Tsaari Venes oli etaloniks ülekullatud pronksnael (1747).

Ka tänapäeval on mass ainuke põhisuurus, millel põhiühikul 1 kg pole looduslikku etaloni.

1.2.2. Fundamentaalkonstandid ja mis juhtuks, kui need muutuksid

Mis on fundamentaalkonstandid?

Need on kvantitatiivsed suurused, mis iseloomustavad materiat ja vastastikmõjusid. Füüsikas on kahesuguseid konstante: ühed kirjeldavad looduse (materie) põhivorme ja vastastikmõjusid, teised konkreetseid materie avaldumisvorme ja nendevahelisi seoseid.

Esimesed on **fundamentaalkonstandid**, mis seovad loodust ja füüsika võrrandeid (on võrdeteguriks). Need näitavad näiteks **kui suur** on kahe punktmassi vahel mõjuv jõud (kindla kauguse korral) - see on gravitatsioonikonstant G , või kui suur mass on prootonil. Enamtuntud fundamentaalkonstandid on valguse kiirus vaakumis c , gravitatsioonikonstant G , elementaarlaeng e , Plancki konstant h , Avogadro arv N_A , Boltzmanni konstant k , elektrikonstant ϵ_0 .

Teised konstandid kirjeldavad konkreetseid füüsikalisi suurusi, näiteks murdumisnäitaja, tihedus jne. Ka need on määratud fundamentaalkonstantidega, kuid kasutamise lihtsuse huvides on nad antud teisel kujul. Näiteks $n = c/v$ või

$\rho = m/V$, kus $m = \Sigma(m_p + m_n)$.

Mis juhtuks, kui muutuks elementaarlaeng ?

- **Kasvagu elementaarlaeng** näiteks 10 korda, st. et $e = 1,6 \cdot 10^{-18}$ C. Kas me märkaksime seda? Kindlasti. Siis suureneks nii elektroni kui prootoni laeng 10 korda, Coulombi jõud suureneks 100 korda. Elektronid kisutakse tuuma (ka praeguse e väärtuse korral tõmmatakse mõnikord elektronid tuuma, seda nähtust nimetatakse K -haardeks). Selle tulemusena muutuksid prootonid

neutroniteks. Selle protsessi käigus kiirguksid tuumast neutriinod ja tekiks veel palju γ kiirgust. Kaoksid keemilised elemendid. Kogu Universum koosneks neutronitest, neutriinodest ja γ kiirgusest.

- **Vähenegu elementaarlaeng** näiteks 10 korda, st. et $e = 1,6 \cdot 10^{-20}$ C. Mis siis juhtuks? Sel juhul elektronid eemalduksid tuumast 100 korda kaugemale kui praegu ($r \sim 1 / e^2$). Seega aatomite mõõtmed suureneksid 100 korda. Ka kehade mõõtmed suureneksid 100 korda. Maakera raadius oleks siis $6400 \text{ km} \times 100 = 640\,000 \text{ km}$, mis oleks suurem Maa ja Kuu vahekaugusest. Maa ja Kuu saaksid kokku! Mis juhtub Päikesega? Selle raadius kasvaks ka 100 korda ja see oleks siis $7 \cdot 10^5 \text{ km} \times 100 \approx 7 \cdot 10^7 \text{ km}$. Päikese kaugus Maast on praegu keskmiselt $1,5 \times 10^8 \text{ km}$, seega saaks siis ka Päike ja Maa kokku, sest Maa raadius kasvas ka. Kas see tähendaks, et Maa põleks ära? Oh ei, sest Päikese ruumala suureneks siis miljon korda ($100 \times 100 \times 100$) ja kui ruumala niipalju suureneks, siis rõhk langeks Päikeses ja Päike kustuks ära. Saabuks pimedus. Lisaks sellele aatomid ioniseeruksid, õhk muutuks juhtivaks! Mis saaks siis Maal olevatest elektriseadmetest?!

Mis juhtuks, kui muutuks gravitatsioonikonstant ?

- **Kasvagu gravitatsioonikonstant** näiteks 10 korda. Siis suureneks gravitatsioonijõud nii palju, et Päike tõmbaks planeedid endasse ja üldse kogu Universum tõmbuks kokku ühte punkti.
- **Vähenegu gravitatsioonikonstant** näiteks 10 korda. Siis väheneks gravitatsioonijõud nii palju, et planeedid lendaksid Päikesest eemale ja ka Päike kustuks (rõhk Päikeses väheneks). Kas pimedasse jäänud Maal, mis rändaks kosmoses oleks elu võimalik? Ega ei, sest lisaks muudele ebameeldivustele hajuks õhk laiali!

Mis juhtuks, kui muutuks Boltzmanni konstant ?

Boltzmanni konstant k seob omavahel molekulide keskmist energiat ϵ ja temperatuuri T :

$$\epsilon \sim 3/2kT.$$

- **Kasvagu Boltzmanni konstant** 10 korda. Siis temperatuur väheneks 10 korda ja toatemperatuur oleks kusagil 30 K juures.
- **Vähenegu Boltzmanni konstant** 10 korda. Siis temperatuur tõuseks 10 korda ja toatemperatuur oleks kusagil 3000 K juures.

Tundub, et mõlemal juhul oleks elu võimatu. Aga tegelikult ei juhtuks sellest veel midagi, sest ega see muutus ei tekita ega kaota soojusenergiat. Muutub vaid kraadi väärtus (suurus), st. et vesi keeks kas 37,3 K juures või 3730 K juures. Kas selle konstandi muutus oleks siis ohutu? Mitte päris, sest Boltzmanni konstant on pöördvärdeline **Avogadro arvuga** $kN_A = R$ (gaaside universaalne konstant).

Kui suureneks Boltzmanni konstant, siis väheneks Avogadro arv. Mida see tähendaks? Väheneks ainete tihedus, mis viiks samale tulemusele kui gravitatsioonikonstandi vähenemine. Ja vastupidi, kui N_A suureneks, siis juhtuks seesama, mis gravitatsiooni konstandi suurenemisel.

Mis juhtuks, kui muutuks valguse kiirus c ?

See muudaks näiteks ainete murdumisnäitajaid. Me ei näeks enam midagi, pilt oleks "fookusest väljas". Ei töötaks ükski optiline seade (ka difraktsioonil või interferentsil põhinevad seadmed, sest muutuks valguse lainepikkus). Muutuksid ka

ainete läbipaistvused, kuna neeldumiskoeffitsient on seotus murdumisnäitajaga. Need on aga ainult pisikesed ebameeldivused. Valguse kiirus c on seotud elektriikonstandiga ϵ_0 . Kui muutuks c , siis muutuks ka ϵ_0 . See tooks kaasa kõik selle, mida põhjustaks elementaarlaengu muutuminegi.

Kokkuvõtteks võib öelda, et elu on võimalik (vähemalt praegusel kujul) ainult selliste fundamentaalkonstantide korral nagu nad on.

Kui maailma ja inimese lõi Jumal, siis ka tema polnud vaba oma loomingus. Selleks, et inimene saaks maailmas elada ja maailm üldse püsiks stabiilsena, ei saa fundamentaalkonstandid väga palju erineda nende praegustest väärtustest.

1.2.3. Füüsika ajaloost

Siin anname lühülevaate sellest, kunas mingid füüsikaseadused või nähtused on avastatud, kes seda tegi, milliste probleemidega mingil ajajärgul tegeleti.

Antiikaeg (VI saj. e.m.a kuni V saj. m.a.j.)

- Seos heli kõrguse ja pillikeele pikkuse vahel (6.saj. e.m.a., Pythagoras: mida lühem keel, seda kõrgem heli)
- Nägemistooria (5. saj. e.m.a. , Platon: silmast lähtuvad nähtamatud kombitsad võimaldavad meid ümbritsevaid kehi näha)
- Mehaaniliste liikumiste kirjeldus (kõver- ja sirglikumine), kangi tasakaalu tingimus (4.saj e.m.a. , Aristoteles)
- Camera obscura (II saj. e.m.a. , Hiina)
- Valguse sirgjooneline levimine, valguse peegeldumisseadus (3. saj e.m.a. , Eukleides)
- Üleslükkejõud (III, saj. e.m.a., Archimedes)
- Kang, kiil, vint, plokk (I - II saj. m.a.j.)

Keskaeg (VI - XIV saj.)

- Kehade ruumala mõõtmine sukeldusmeetodil ja erikaalu leidmine (XI saj. , Al Biruni, Omar Haijam)
- Kõverpeeglite fookuse leidmine, töid magnetismist (XIII saj.)
- Liikumise graafiline kirjeldamine (XIV saj.)

Renessansi periood (XV - XVI saj.)

- Keskkonna takistus, hõõrdejõud, kaja, kiirte käik läätsedes, igiliikuri võimatus, kapillaarsus (Leonardo da Vinci, XV saj.)
- Heliotsentrilise Päikesesüsteemi mudel (M. Kopernik XVI saj.)
- Universumi lõpmatus, maailmade paljusus, loodusseaduste ühtsus (G. Bruno XVI saj.)

Füüsikateaduse tekkimine (XVII saj. algusest 80-date aastateni)

- Pikksilm, vaba langemise uurimine (Galileo Galilei)
- Õhurõhk (E. Torricelli)
- Rõhu edasikandumine (B. Pascal)
- Gaasi isotermline protsess: $pV = \text{const}$ (R. Boyle ,1661).
- Pendelkell, termomeetri püsipunktid, valguse laineteooria, g väärtuse katseline määremine Pariisis: $g = 9,79 \text{ m/s}^2$ (Ch. Huygens)

Klassikalise füüsika periood (XVII saj. lõpp - XX saj. algus)

- *Mehaanika seadused ja gravitatsiooni seadus, valguse korpuskulaarteooria (I. Newton, 1668 - 1704)*
- *Termomeeter (A. Celsius, 1742)*
- *Tööd elektrist (A. Volta, 1780 - 1800)*
- *Vooluga juhtide vastastikmõju, magnetismi seletus (A. Ampere, 1820)*
- *Seos pingest, voolutugevuse ja takistuse vahel (G. Ohm, 1826)*
- *Gaasi olekuvõrrand (B. Clapeyron, 1834)*
- *Elektrolüüsi seadused (M. Faraday, 1833)*
- *Elektrivälja mõiste (M. Faraday, 1854)*
- *Elektrivoolu soojuslik toime (J. Joule, 1841)*
- *Soojuse mehaaniline ekvivalent (J. Joule, 1843)*
- *Spektraalanalüüs (G. Kirchhoff, R. Bunsen, 1859)*
- *Elektromagnetvälja teooria, valguse elektromagnetiline olemus (J. Maxwell, 1860 - 1865)*
- *Ideaalse gaasi võrrandid, entroopia ja süsteemi korrastatuse seos (L. Boltzmann, 1872)*
- *X - kiired (W. Röntgen, 1895)*
- *Loodusliku radioaktiivsuse avastamine (A. Becquerel, 1896)*
- *Elektroni avastamine (J.J. Thomson, 1897)*
- *Kvandi mõiste (M. Planck, 1900)*
- *Raadiolambi (diiodi) leiutamine (J. Fleming, 1904)*

Nüüdisaegse füüsika periood (alates 1905.a.)

- *Massi ja energia ekvivalentsus (A. Einstein, 1905)*
- *Fotoefekti seletamine valguskvantide abil (A. Einstein, 1905)*
- *Ülijhtivus (H. Kamerlingh – Onnes, 1911)*
- *H-aatomi mudel (N. Bohr, 1913)*
- *Üldrelatiivsusteooria (A. Einstein, 1916)*
- *Osakeste lainelised omadused (L. de Broglie, 1924)*
- *Kvantmehaanika rajamine (E. Schroedinger, W. Heisenberg, jt., 1926)*
- *Kunstlik radioaktiivsus (F. ja I. Joliot-Curie, 1934)*
- *Uraani tuuma lagunemine (O. Hahn, F. Strassmann 1938):*
- *Ahelreaktsioon (E. Fermi jt., 1942)*
- *Aatomipomm (1945)*
- *Holograafia (D. Gabor, 1948)*
- *Termotuumareaktsioon (1952)*
- *Vesinikupomm (1953)*
- *Laser (N. Bassov, A. Prokhorov, Ch. Townes, T. Maiman, jt., 1958 – 1960)*
- *Kvarkide hüpotees (M. Gell-Mann, G. Zweig, 1964)*
- *Antituum (antideutron), (1965)*
- *Üksikute aatomite vaatlemine elektronmikroskoobis (1970)*
- *Kvarkide avastamine (1975)*
- *Kõrgtemperatuurne ülijhtivus (G. Bednorz, A. Müller, 1987).*

Edasised arengusuunad on mikromaailma sügavusse (elementaarosakesed, juhitud termotuumareaktsioon, antiaine jne) ja megamaailma avarustesse (mustad augud, varjatud mass jne).

1.3. Füüsikaline maailmapilt

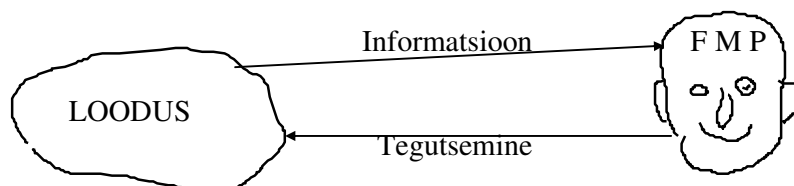
Mis on maailmapilt? Ettekujutus maailmast (loodus koos inimühiskonnaga), selle ehitusest, omadustest, arenemisest jne.

Meie uurimused on näidanud, et maailmapilt võib liigitada kolmeks:

- teaduslik: eesmärgiks luua teadmiste süsteem, mille elemendid on omavahel seotud põhjuslike seostega.
- mütoloogiline: eesmärgiks on luua teadmiste süsteem, mille elemendid ei pea olema põhjuslikult seotud.
- pragmaatiline: ei tegele teadmiste süsteemi loomisega, piirdatakse teadmistega isikliku heaolu tagamiseks.

Meie käsitleme ainult teaduslikku maailmapilti ja just selle kitsamat varianti – füüsikalist maailmapilti.

Mis on füüsikaline maailmapilt? See on ettekujutus loodusest, selle ehitusest, omadustest, arenemisest jne. Füüsikaline maailmapilt kujuneb inimtegevuse käigus, kus inimene oma tegevusega mõjutab loodust (näit. teeb katseid) ja mille käigus saadud informatsioon kujundab tema teadvuses ettekujutuse loodusest.



Füüsikaline maailmapilt on looduse mudel. See peab suutma seletada ükskõik millist loodusnähtust. Ei saa olla iga konkreetse nähtuse jaoks oma seletust, siis ei oleks võimalik maailma ette kujutada, sest erimite arv oleks lõpmata suur. Maailmapildi kujunemisel (või kujundamisel) on suureks raskuseks see, et füüsika seadused formuleeritakse ideaalsete objektide jaoks, aga rakendatakse reaalsele objektidele.

Maailmapildi konstrueerimisel peame silmas, et loodusseadused ei muutu aja jooksul, küll aga muutuvad füüsikaseadused (vastavalt teaduse arenemisele), näiteks mehaanika seadused Newtonist Einsteinini.

Füüsikalise maailmapildi (edaspidi “maailmapildi”) aluseks on **printsüübid ehk jäävusseadused**. Need on põhjuslikud seosed nähtuste vahel, mis toimivad alati, igas olukorras, kuid mille algpõhjus pole teada. Sellised on näiteks energia, impulsi või laengu jäävuse seadused ehk printsüübid. Nende printsüüpide kehtivust on aegade jooksul väga palju katseliselt kontrollitud ja alati on nad kehtinud. Printsüüpe ei saa millestki tuletada, nad iseloomustavad looduse olemust. On kindlaks tehtud, et energia jäävuse seadus on järeldus aja homogeensusest ja impulsi jäävuse seadus järeldus ruumi homogeensusest. Aga miks on aeg ja ruum homogeensed? Neile küsimustele pole ikkagi vastust ja kui neile leitaksegi kunagi vastus, siis kerkivad uued küsimused. Inimene pole võimeline kunagi loodust lõpuni mõistma.

Printsiibid on liiga üldised erinevate nähtuste seletamiseks. Sellepärast on printsiipidele ja katsetele tuginedes on kindlaks tehtud palju konkreetseid nähtusi kirjeldavaid **seadusi**. Seadustel on alati rakenduspiirid.

Näiteks Newtoni II seadus, mis väidab, et keha kiirendus on võrdeline selle massiga, kehtib ainult valguse kiirusest palju väiksemate kiiruste korral või Ohmi seadus, mille kohaselt voolutugevus on võrdeline pingega, ei kehti alati gaaside korral.

Seadus on objektiivne ja paratamatu seos füüsikaliste suuruste vahel, mis kirjeldab mingit **põhjuslikku seost**. Seadus võimaldab nähtusi ennustada ja tagajärje järgi põhjust selgitada. Seaduse avastamise eelduseks on printsiip, mis ise on liiga üldine, et selle põhjal saaks konkreetseid nähtusi ette näha või esile kutsuda.

Põhjuslike seoste toimimisel avalduvad looduses alati nii **ettemääratus** kui **juhuslikkus**. Viimast kiputakse mõnikord unustama ja nii võib jõuda oma arutlustega determinismi (täielikku ettemääratusse). Nüüdisajal vaadeldakse sündmusi tõenäosuslikena ja looduse kirjeldamisel tuleb arvestada kõikvõimalike põhjuslike seoste ahelatega. Sellist lähenemist nimetatakse **holistlikuks** (krk k. *holos* – täielik). Holism on seisukohal, et tervik ei võrdu osade summaga, vaid seal on olemas veel mitterateriaalne "terviklikkuse tegur"

Seaduse kvalitatiivset esitust nimetatakse **seaduspärasuseks**. Kui seadusele vastab alati ka mingi matemaatiline kirje, siis seaduspärasusele mitte.

Näiteks gravitatsiooniseadus ütleb, et kahe massipunkti vahel mõjub tõmbejõud, mis on võrdeline kehade massidega ja pöördvõrdeline kehadevahelise kauguse ruuduga. Vastav seaduspärasus ütleb, et kehadevaheline tõmbejõud on seda suurem, mida suurem on kehade mass ja väiksem kehadevaheline kaugus.

Looduse kirjeldamisel kasutatakse ka **reegleid**. Need on eeskirjad, mis määravad ära füüsikaliste suuruste vahelisi seoseid.

Näiteks vektorite liitmise rööpküliku reegel või vasaku käe reegel, mis määrab magnetväljas asuvale vooluga juhtmele mõjuva jõu suuna.

Seadustele tuginedes on üles ehitatud **füüsikateooriad**, mis seletavad loodust. Kuid need seletused täiustuvad aegade jooksul, st. et meie ettekujutus loodusest üha täieneb. Sellel protsessil pole lõppu ja seepärast tuleb nii füüsika kui teiste loodusteadustega pidevalt tegeleda. Looduse seletamine on võimalik ainult füüsikaseaduste piirides, kui jõutakse printsiipideni, tuleb "käed üles tõsta", edasi ei oska seletada.

Maailmapildi olulisteks osadeks on ka nn, **fundamentaalkonstandid**. Need on suurused, mis määravad ära materia kvantiteedi. Nad seovad loodust ja füüsika võrrandeid. Fundamentaalkonstantideks on näiteks valguse kiirus vaakumis, elementaarlaeng, gravitatsioonikonstant jt.

Maailmapilt on seda parem, mida vähemate komponentide abil see maailma seletab.

Maailmapilt on läbi aegade muutunud. 18 - 19. sajandil valitses nn **mehaaniline maailmapilt**, mille aluseks on Newtoni seisukohad ja seadused. Selle pildi järgi koosneb maailm kõvadest, kaalu omavaist ja liikuvaist osakestest. Osakesed erinevad peamiselt kvantitatiivselt - massi poolest. Kuni elektromagnetvälja avastamiseni töötas selline maailmapilt hästi, kuid välja ei suutnud selline maailmapilt seletada.

19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses valitses **elektromagnetiline maailmapilt**, mis seletas nähtusi elektromagnetilise vastastikmõjuga, mida vahendasid elektri - ja magnetväli. Sellega seletub enamik igapäevase elu nähtusi.

Probleem

Seletage elektromagnetilise vastastikmõjuga järgmisi nähtusi: tuul, kehade põrkumine, hõõrdumine, valguse murdumine, soojuspaisumine.

Modernne , nüüdisaegne maailmapilt ei jaga materiat aineks ja väljaks, sest igale väljale vastavad kvandid - osakesed ja vastupidi, igal osakesel on lainelised (välja) omadused. Looduse seletamisel kasutatakse **lainelis-korpuskulaarse dualismi** mõistet.

Kuid ka kõige keerulisemaid füüsikalisi mõisteid ja mudeleid saab esitada arusaadavalt vaid tavakeele ja klassikalise füüsika mõistete abil, sest need on reaalselt ettekujutatavad. Nende aluseks on meeleline kaemus ja ainult sellele saab tugineda mõtlemine. Nüüdisaegse kvantfüüsika nähtusi on võimatu ette kujutada, sest neile puuduvad silmanähtavad ja vahetult tajutavad analoogid. Nagu on öelnud üks kvantmehaanika loojaid (vist Schrödinger) *pole võimalik kvantmehaanikat mõista, küll saab temaga harjuda.*

Paraku saab ka kõige keerulisemaid füüsikalisi mõisteid ja mudeleid esitada arusaadavalt vaid tavakeele ja klassikalise füüsika mõistete abil, sest need on reaalselt ettekujutatavad. Nende aluseks on meeleline kaemus ja ainult sellele saab tugineda mõtlemine.

Maailmapilt on ühtne, st. et kõik mis kehtib Maal, kehtib ka kogu Universumis. Maailmapilti üha täiustatakse. Proovitakse luua ühtset väljateooriat, mis lubaks läbi ajada ühe vastastikmõjuga. Kuivõrd aga selline esitus on arusaadavam kui praegune?? Selle jaotise lõpetuseks natuke mõistetest **printsii, seadus ja seaduspärasus inimühiskonnas**. Siin ei kajasta need objektiivseid põhjuslikke seoseid, vaid inimestevahelisi kokkuleppeid, traditsioone, moraali. **Printsiip** on selles kontekstis mingi **kokkulepe**.

Näiteks euroopalikus kultuuris kehtib printsii, et ilma kohtuotsuseta ei tohi kedagi süüdi mõista.

Seadusi kehtestavad võimul olijad ja need on kohustuslikud kõikidele ühiskonna liikmetele, olenemata sellest, kas nad kõigile meeldivad või ei. Riigikorra või valitsuse muutumisel muudetakse ka seadusi. Ühiskonnas toimivaid seadusi ei saa reeglina valemiga kirjeldada

Näiteks nõukogude korra ajal oli homoseksuaalne tegevus kuritegu, aga nüüd ei ole.

Seaduspärasus ei ole ühiskonnas seaduse kvalitatiivne esitus, vaid mingi täheldatav korrapära, korduvus, mis ei pruugi kõigi ühiskonna liikmete korral toimida.

Näiteks paljudel inimestel lõpeb raha enne palgapäeva.

Reegel ühiskonnas on käitumisnorm, mida ühiskond on tunnustanud, kuid mida pole seadusena fikseeritud.

Näiteks kõnniteel käiakse samas tee ääres kui toimub liiklus sõiduteel või seegi, et üksel kohtudes lastakse enne väljuda ja siis sisenetakse.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et füüsikaline maailmapilt ei vasta küsimusele MIKS on loodus selline, see vaid kirjeldab loodust ja seletab füüsika seaduste piires.

2. Füüsika uurimismeetodid

2.1. Teaduse üldine meetod

Mis on teadus? Ei ole olemas lühikest ja selget teaduse definitsiooni. Öeldakse, et **teadus** on uute oluliste teadmiste saamine ja rakendamine ning juba olemasolevate teadmiste töötlemine, kasutamine ja säilitamine. Öeldakse ka, et teadus on ühiskondliku teadmise vorm, ajalooliselt kujunenud korrastatud teadmiste süsteem, mille tõesust kontrollitakse ja täpsustatakse pidevalt. Aga võib ka nii öelda, et teadus on tegevus, mida võib kirjeldada kui tundmatute nähtuste seletamist tuntute kaudu.

Palju oleneb sellest, millisest teadusest käib jutt. Meie piirdume edaspidi loodusteadustega (ingl. keeles *science*) jättes kõrvale humanitaarteadused (ingl. keeles *arts*).

Mida tähendab **meetod**? See on eesmärgi saavutamise viis, teatud viisil korrastatud tegevus. Igal tegevusel on põhjus, ajend. Füüsikas on selleks mõne suuruse mõõtmine, seose leidmine, nähtuse uurimine, vms, mida nimetame **probleemiks**. Probleemi lahendamiseks tuleb looduselt vastust "küsida". Selleks, et looduselt talle arusaadavalt küsida, peame talle pakkuma võimalust vastata EI või JAA. See tähendab et tuleb esitada omapoolne vastusevariant, mille siis loodus heaks kiidab või maha laidab. Öeldakse, et tuleb püstitada **hüpotees**. See on varasematele teadmistele tuginev oletus probleemi lahendamiseks. Järgneb **hüpoteesi kontroll**. Kas katse, mõtteline katse, loogiline arutlus, arvutus vms. Sellele järgneb **järeldus**, kas hüpotees oli õige või mitte. **Korduvalt kinnitust leidnud hüpoteese nimetatakse seadusteks**. Seadused moodustavad süsteeme - teooriaid, siit tulenevad uued probleemid ja kõik kordub. Konkreetne, üks inimene puutub tavaliselt kokku aga ikka **probleemi, hüpoteesi, selle kontrolli ja järeldusega**. Seda tegevuste ahelat nimetataksegi **teaduse üldiseks meetodiks**.

Järeldus on mõtlemise vorm, mille tulemusena saadakse ühest või mitmest omavahel seotud otsustusest uus otsustus. Näiteks: Kõik laululinnud laulavad. Ööbik laulab. Järelikult on ööbik laululind.

Järeldusi saab teha kahtviisi: üksikult nähtuselt üldisema suunas (**induktsioon**) ja üldisemalt nähtuselt üksiku suunas (**deduktsioon**).

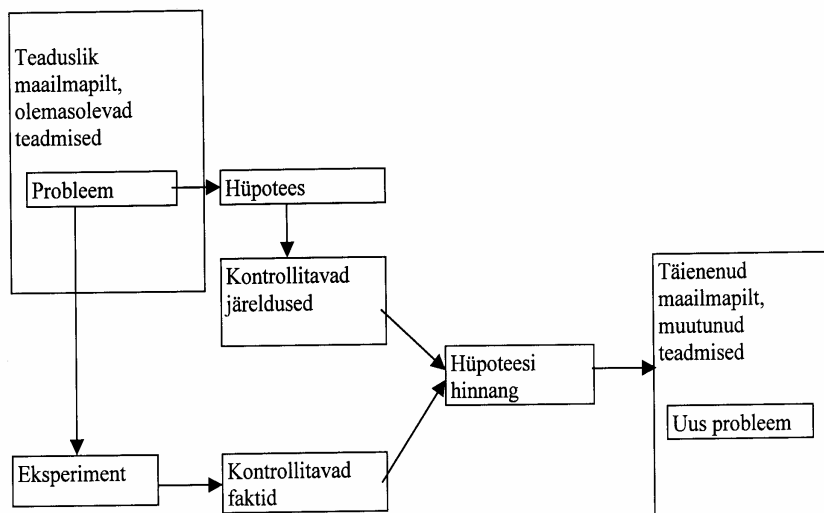
Võib ka öelda, et induktiivse lähenemise korral lähtutakse eksperimentidest ja jõutakse teooriasse ning deduktiivse lähenemise korral lähtutakse teooriast ja jõutakse eksperimentideni, mis peab kontrollima teooria õigsust.

Näiteks gaaside seadused: $pV = \text{const.}$, $p / T = \text{const.}$ ja $V / T = \text{const.}$ avastati katseliselt ja neid ühendades jõuti gaasi oleku võrrandini $pV = \mu / m RT$.

Kuid lähtudes ideaalse gaasi kineetilisest teooriast on võimalik tuletada gaasi oleku võrrand ilma mingite eksperimentideta. Kui võtta selles mõni muutuja konstantseks, saame isoprotsesse kirjeldavad võrrandid, mille õigsust on juba kontrollitud (võib muidugi veel kontrollida).

Füüsika õpetamisel põhikoolis kasutatakse induktiivset lähenemist, sest lastel puudub vajalik teadmiste pagas, et midagi teooriast tuletama hakata. Kõik tuleb nõ. puust ette teha ja jõuda siis mingite üldistusteni. Deduktiivset lähenemist võib tasapisi hakata kasutama alles keskkoolis, aga sealgi mitte eriti tihti.

Üldist teaduse meetodit kirjeldab piltlikult skeem.



2.2. Seletamine

Mis on **seletamine**? **Seletamine** on vastuse leidmine küsimusele **MIKS?** Küsimusele **MIKS?** vastatakse teaduse seaduste abil, kusjuures ei otsita vastust lõpp-põhjusele. Täpsemalt öelduna on **seletamine mingist konkreetsest nähtusest oluliste tunnuste eristamine ja nende viimine üldisemate seoste või seaduste alla.**

Seletamised jagunevad mitmeks tüübiks: seletamine üldise kaudu (analoogia, mudel), seletus seaduse kaudu, seletus põhjuslikkuse kaudu. Seletuse esimene etapp on alati kirjeldus: nähtuse või eksperimendi tulemuste esitamine teaduse keeles (füüsika keeles).

Seletamise viise võib jaotada **teaduslikeks ja mütoloogilisteks.** Teadusliku seletamise korral kasutatakse teaduse meetodit või selle elemente. Mütoloogiline seletus tugineb usunditele, pärimustele, religioonile.

Näide.

a) Äikese mütoloogiline seletamine: Kõu või Pikker kihutab oma tõllaga mööda pilvi, millest tekib müristamine. Samuti pillub ta välgunooli Vanapagana pihta, kes on jälle miskit pahandust teinud.

b) Äikese teaduslik seletamine: pilv ja maa on elektriliselt laetud erinimeliste laengutega ja see tekitab elektrivoolu pilve ja maa vahel. Vooluga kaasneb kõrge temperatuur, valgus (välg) ja kuumenenud õhu kiire paisumine. See tekib heli, mis peegeldub maapinnalt ja pilvadelt, tekib müristamine.

Teaduslik seletamine koosneb struktuurilt kahest osast: kirjeldavast osast ja seletavast osast, mis koosneb teaduse seadustest ja juhustest nende kasutamiseks konkreetse olukorra puhul.

2.3. Tõestamine

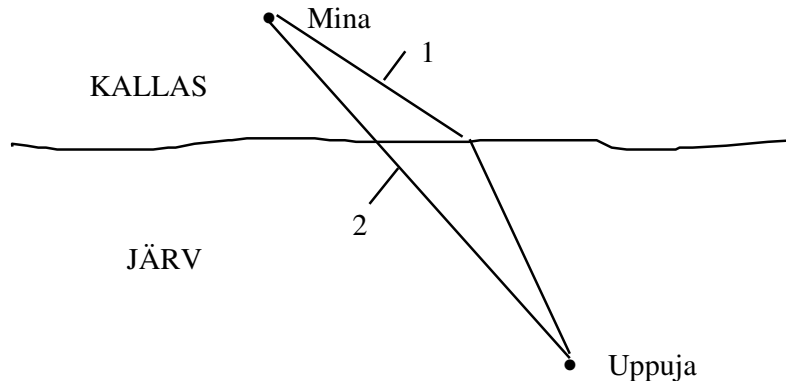
Mis on **tõestamine**?

ENE - loogiline võte, millega põhjendatakse või kummutatakse mingit väidet.

E.Grauberg: tõestus on otsustuse kindlakstegemine teiste otsustuste kaudu, millised on kas ise **silmanähtavad tõed** või varem tõestatud.

Lisan siia omapoolse kommentaari. Eelpooltoodu järgi võib ka öelda, et tõestamine on tõe väljaselgitamine. Kuid tõe on alati suhteline, seega absoluutset tõestust ei ole olemas.

Ka silmanähtavad tõed on suhtelised, näiteks “lühim tee kahe punkti vahel on sirge”. See on õige siis kui ruum on homogeenne ja isotroopne. Aga kui see pole nii?



Kuna jooksu kiirus on suurem, jõuan teed 1 mööda kiiremini appi.

Järelikult on lühim tee see, mille läbimiseks kulub vähem aega.

Mis on “silmanähtav tõde”? Ega seegi ole üheselt mõistetav termin, kuid teatavat ettekujutust sellest me omame. Silmanähtavaiks tõdedeks peetakse väiteid, mille tõesuses keegi ei kahtle.

Näiteks: tervik on suurem kui osa; isa on vanem kui poeg; 1m on pikem kui 1 cm; Maa tiirleb ümber Päikese jne.jne.

Peab aga ütleva, et alati pole silmaga nähtav kaugeltki tõde.

Näiteks: näeme, et Päike käib ümber Maa, aga oleme veendunud vastupidises; näeme, et auto sõidab kurvist välja, aga oleme veendunud, et kehale mõjub kesktõmbe jõud; näeme, et hobune veab vankrit, aga oleme veendunud, et kahe keha vahel mõjuvad võrdvastupidised jõud jne.

Võib ka öelda, et silmanähtavad tõed on sellised väited, mille tõesuses oleme **veendunud**. Ei hakka me ju vajadusel iga kord tõestama, et Maa käib ümber Päikese aga mitte vastupidi. See on juba tõestatud ja selle õigsuses oleme veendunud. Tuletame aga meelde, et kunagi oldi veendunud vastupidises ja ega selle veendumuse ümberlukkamine lihtne olegi! Kes ei usu, võib proovida.

Eeltoodust võib teha kokkuvõtte, et tõestamise juures on oluline veendumus. Mis on veendumus? ENE-s ei ole sellist märksõna, on ainult “**veenmine**”, mis on seletatud kui “uskuma panemine”.

Kõik me usume midagi:

- homme on parem tänasest;
- sõber ei vea mind alt;
- geenid on olemas;
- õhus on hapnikku;
- Na vette pannes tekib seebikivi.

Neist kaks esimest on tegelikult lootused ja kolm viimast veendumused (põhjendatud usud). Neid kolme viimast väidet me usume, kuigi üldjuhul me pole nende õigsust kontrollinud. Kui kogu eelnev arutelu kokku võtta, võib öelda, et tõestamine on **põhjendatud usu** tekitamine.

Ehk oma usu teistele pealesurumine. Selleks on mitmeid võimalusi:

- kasutada üldtunnustatud tõdesid ja loogikat (teaduslik tõestus);
- kasutada oma paremat informeeritust ja demagoogiat;
- kasutada jõudu, ka sõjalist;
- kasutada infokanaleid ja reklaami (Ariel on parem kui tavaline pesupulber);

- kasutada autoriteeti (Newton ja korpusklid)
- kasutada riigivõimu (fašistlik, kommunistlik ideoloogia)

Teaduslikuks tõestamiseks on mitmeid võimalusi:

- vaatlus (looduslik nähtus);
- demonstratsioon (kunstlikult tekitatud nähtus);
- katse (kunstlikult tekitatud nähtus koos mõõtmisega);
- arvutus (tuginedes katseandmetele ja seadustele);
- analogia (nähtuse võrdlemine sarnase, kuid tuntud nähtusega);
- loogiline arutelu (veendumus tekitatakse loogika seadustele tuginedes).

Tõestus koosneb kolmest osast: tõestatav väide ehk tees;

tõestuse alused ehk argumendid;

tõestuse vorm ehk viis (argumentide seos teesiga).

Nendele osadele esitatakse järgmised nõuded. **Tees** peab tõestuse käigus jääma muutumatuks

.Argumendid peavad olema:

- tõesed;
- vasturääkivusteta;
- piisavad;
- sõltumatud teesist.

Argumentideks on:

- faktid (teatmematerjal, katsetulemused, käskkirjad, sõrmejalg, allkiri jne.);
- definitsioonid;
- aksioomid - postulaadid (mida ei tõestata);
- teaduste seadused ja teoreemid.

Tõestamisel tuleb kinni pidada järgmistest nõuetest:

- peab näitama, et tõestatav tees tuleneb kindlatest argumentidest;
- vajadusel tuleb näidata, et argumendid on tõesed.

Tõestuse lükkab ümber kasvõi üks vastuargument!

Tõestused jagunevad **otsesteks ja kaudseteks**. Otsese tõestuse korral tuleneb teesi õigsus otseselt argumentidest, kaudse tõestuse korral näidatakse teesi tõesust antiteesi vääruse alusel (välistatud kolmanda seaduse järgi - kui tees on tõene, siis antitees peab olema väär, kolmandat varianti ei ole).

Näited otsest tõestusest

Näide 1.

TEES: Kui lund sajab, on atmosfääris kusagil temperatuur alla 0° C.

ARGUMENDID: 1. Lumi on külmunud veeaur.

2. Vesi külmub siis ,kui temperatuur on alla 0° C.

3. Atmosfääris on alati veeauru.

TÕESTUS: Kui atmosfääris on kusagil temperatuur alla 0° C, siis veeaur, mida on igal pool atmosfääris, külmub. Selle tulemusena tekib lumi.

Näide 2.

TEES: Autoga jõuab kiiremini sihtkohta kui jalgsi.

ARGUMENDID: $v = s/t$; $v_a > v_j$

TÕESTUS: liikumise aeg $t = s/v$, mida suurem on kiirus, seda väiksem on aeg.

Näide kaudsest tõestusest

TEES: Temperatuur ei ole aditiivne füüsikaline suurus

ARGUMENDID:

1. Aditiivse suuruse korral $a + a = 2a$

2. Mittheaditiivse suuruse korral $a + a = a$;(st. $t_1 + t_1 \neq 2 t_1$, kuigi näiteks $m_1 + m_1 = 2m_1$)

3. Veel on kindlad püsipunktid

VASTUVÄITELINE TÕESTUS:

Antitees: Temperatuur on aditiivne suurus.

Sel juhul peaks kahe klaasi toasooja vee kokkuvalamisel vesi kohe keema hakkama, sest $300\text{ K} + 300\text{ K} = 600\text{ K}$. Või vastupidi, kui klaasist pool vett ära võtta, külmub vesi silmapilkselt : $300\text{ K} - 300\text{ K} = 0\text{ K}$. Nii ei juhtu, järelikult temperatuur ei ole aditiivne.

Tõestustes kasutatakse formaalloogika seadusi. Formaalloogika on kahevalentne: iga väide on kas tõene või vale, muid võimalusi pole.

- **Samasuse seadus:** iga mõiste või väide peab ühe arutluse kestel jääma samaks. See on iseendast mõistetav, kuid tihti seda eiratakse. Vältimiseks tuleb mõisted alati **defineerida**. Kuid ka see ei aita alati, sest objekt võib ajas muutuda.

Samuti võib segadust tekitada puudlik defineerimine, mille tulemusel üks räägib ühest asjast, teine teisest.

Samasuse seaduse kasutamine ei tähenda, et tuleb kasutada kogu aeg üht nimetust, võib kasutada ka sünonüüme.

Näiteks: elektron, osake elektrilaenguga $-1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$, negatiivse elektrilaengu kandja aatomis jne.

- **Vasturääkivusi välistav seadus:** kaks teineteist eitavat lauset ei saa olla üheaegselt tõesed ehk ükski lause ei saa olla üheaegselt tõene ja väär.

Kahevalentse loogika korral ei saa ükski omadus olla olemas ja samal ajal puududa. Otsustus, mis tõendab vasturääkivaid omadusi, on väär.

Näiteks: laused "paber on valge" ja "paber ei ole valge" ei saa olla üheaegselt tõesed ühe paberi korral. Füüsikas see alati nii ei ole: õiged on mõlemad väited "elektron on osake" ja "elektron ei ole osake", sest teda võib vaadelda ka kui lainet.

- **Välistatud kolmanda seadus :** kahest lausest, millest üks eitab seda, mida teine jaatab, on üks tingimata tõene.

See seadus välistab kahemõttelisused. See on printsiipaalsuse seadus, "must või valge", Mingi omadus on objektil või ei ole.

Näiteks: loomad jagunevad selgrootuteks ja mitteselgrootuteks, elektron on kas seotud aatomiga või mitteseotud.

See seadus on mikromaailma tegelikkusega tihti vastuolus, ei arvesta tõenäosust. Ka makromaailmas esineb määramatust, mida see seadus ei arvesta: näiteks sotsioloogiliste küsitluste korral vastuste lahter "ei oska öelda".

- **Küllaldase aluse seadus: iga väidet tuleb põhjendada mingi teise väitega, mille tõesus on kontrollitud.** Öeldakse ka nii, et me peame mõtlema küllaldasel alusel.

See välistab tühjade juttude, laest võetud andmete, pseudoteaduste jne kasutamist. Põhjendamiseks (tõestamiseks) **kasutatakse faktilist materjali, aksioome, teoreeme, mõõtmisi, loodusseadusi, loogikaseadusi jne.**

Näide. Ma väidan, et olen pikem kui mu poeg. Kuidas tõestada? Tuleb pikkusi võrrelda üldtunnustatud etaloni - joonlauaga.

Lõpetuseks üks **Otsene tõestus analoogia põhjal**

TEES: kägu on sarnane sputnikuga

ARGUMENT: nii sputnik kui kägu kukuvad kuid alla ei kuku.

TÕESTUS: analoogia põhjal võib öelda, et nad on sarnased.

Viga: rikitud on samasuse seadust (argumendis muutub “kukkumise” sisu).

2.4. Eksperimentaalne meetod

Eksperimentaalse meetodi lihtsaim vorm on **vaatlus**. Vaatlus on looduse uurimise passiivne vorm. Vaatlus erineb lihtsalt **vaatamisest**, sest vaatlusel on mitu kindlat tunnust, mida vaatamisel ei pruugi olla: kindel eesmärk, meetoodika, kasutatakse mõõteriistu, tulemused fikseeritakse. Vaatluse korral kehtib nõue, et nähtus peab tekkima ja kulgema ilma vaatlajapoolse sekkumiseta.

Näiteks: ilmavaatlus (teostavad meteojaamad).

Teine eksperimentaalse uurimise vorm on **katse ehk eksperiment** ja see on looduse uurimise aktiivne vorm. Katseks nimetatakse mingi nähtuse uurimist kui see kutsutakse kunstlikult esile või kui selle kulgemisse sekkutakse.

Näiteks aine murdumisnäitaja määramine laserikiire abil.

Katse korral registreeritakse alati mõõtmistulemused. Moodsamate riistade korral teeb seda arvuti, kuid enamasti tehakse seda käsitsi. Tulemuste kirjapanemiseks kasutatakse nn. **mõõtmisprotokolle**, kuhu kantakse katse tingimused ja mõõtmistulemused. Tavaliselt kantakse tulemused alguses **tabelisse**, mille alusel koostatakse graafik, sest graafik annab asjast alati parema ülevaate kui tabel.

Tabelit on lihtne koostada, kui muutujaid on kaks: ühte tulpa kantakse katsetaja poolt valitud muudetava suuruse väärtused, selle kõrvalolevasse tulpa kantakse muutuva suuruse mõõdetud väärtused. Tabeli päisesse tuleb alati märkida suuruse nimetus, tähis ja mõõtühik. Tabel muutub keerukamaks, kui sinna koondatakse kordusmõõtmiste tulemused ja arvutatud suurused.

Näiteks kui uuritakse keha pikkuse sõltuvust mõjuvast jõust, siis esimesse tulpa kantakse meie poolt valitud jõu väärtused ja teise vastavad keha pikkused.

Tabelisse kantakse tavaliselt tüvenumbrid, kümne astmed kirjutatakse päisesse.

Selleks on kasutusel kaks erinevat moodust. Ühel juhul kantakse päisesse kordaja, millega tuleb tabelis olevat arvu korrutada, teisel juhul näidatakse päises arvu, millega on tabelis olevat suurust juba korrutatud. Eelistada tuleks esimest varianti, sest siis ei teki eksimisi.

Näide

Vaatame tabeli osa, kuhu on kantud ainete joonpaisumise tegurid kahel erineval moel.

Aine	Joonpaisumistegur, $10^{-6} K^{-1}$	Joonpaisumistegur $\times 10^6 K^{-1}$
Raud	12,2	12,2

Tulemusi esitatakse sageli **graafikutena**, milleks on koordinaadistikul funktsionaalset sõltuvust näitav joon. Graafik on näitlikum kui tabel ja lubab kindlaks teha ka mingeid olulisi parameetreid (näiteks maksimumi). Graafikule kantakse katsepunktid koos määramatuse või vearistidega. Määramatuse ristid või **vearistid** on kaks ristuvat

lõiku graafikul katsepunkti asukohas, mis näitavad, kui suur on vastavas punktis vastavalt x- ja y-teljele kantud suuruse määramused. Kõver läbi katsepunktide tõmmatakse käsitsi või kasutatakse vastavaid arvutiprogramme. Joon peab olema sile ja läbima kõiki veariste, aga mitte katsepunkte. Kui graafikule kantakse ka teoreetiliselt arvatud kõver, siis seal ei märgita arvatud punkte. **Teoreetilise kõvera** kokkulangemine eksperimendi punktidega määramatuse ristide täpsusega kinnitab eksperimendi kooskõla teooriaga.

Siinkohal märgime, et katsepunktid tuleb kanda täpselt graafikule, neid ei tohi nihutada, sest see on objektiivne informatsioon. Küll on suhteliselt vaba kõvera joonistamine, sest see on katsetaja poolt antud tõlgendus katsetulemustele. Graafiku telgedel tuleb näidata sinna kantud suurused koos mõõtühikuga. Tähelepanu tuleb pöörata mastaabi ehk mõõtkava valikule. See peab olema selline, et graafik kasutaks maksimaalselt ära koordinaattelgedega määratud pinna. Graafiku x-teljele kantakse suurus, mis on nähtuse põhjuseks, y-teljele aga suurus, mis kirjeldab tagajärge.

Näide. Kui uuritakse läbitud teepikkuse sõltuvust ajast, siis x-teljele kantakse aeg, mitte teepikkus, sest teepikkus oleneb liikumise ajast, mitte vastupidi.

Katseandmete kasutamine ehk **andmetöötlus** viiakse tavaliselt läbi enne graafiku joonistamist. Andmetöötlus seisneb otsitava suuruse arvutamises, selle keskväärtuse leidmises (kui on tehtud kordusmõõtmisi) ja vahetõlgu andmises.

Lõpetuseks märgime, et katset saab läbi viia ka ilma katseriistadeta. Sellisel juhul räägitakse **mõttelisest eksperimendist**. Sel juhul asendavad katseriistu ja objekte nende mõttelised kujundid ja eksperimenti asendab mõttejada, mis peab silmas loogika- ja füüsikaseadusi.

Näide. Uurime mõttelises katses, kuidas muutub paberitüki langemise kiirus kui õhurõhku vähendada. Selleks möödame paberitüki langemisaja mingilt kõrguselt normaalse õhurõhu korral. Nüüd paneme paberitüki torusse, millest hakkame õhku välja pumpama – õhurõhku vähendama. Möödame jälle sama vahemaa langemiseks kulunud aja. Aeg tuleb väiksem, sest õhutakistus on vähenenud (vähem õhumolekule on tee peal ees). Mida väiksemaks läheb õhurõhk, seda suuremaks muutub langemiskiirus. Kui õhurõhk saab nulliks, kas siis jõuab paberitükk silmapilkselt alla? Ei, sest selle kiirendus ei saa suurem olla kui on vaba langemise kiirendus.

2.5. Teoreetiline meetod

Loodust saab uurida ka teoreetiliselt, näiteks viies läbi arvutusi katsetest saadud tulemustega. Otsitava suuruse arvutamiseks tuleb koostada võrrand, mis tugineb teadaolevatele füüsikaseadustele ja valemitele.

Võrrand on võrdus, mis sisaldab muutujaid ja konstante, mis võivad olla tundmatud ja tuntud. Võrrand annab mingi põhjusliku seose matemaatilise kirjelduse.

Näide. Ideaalse gaasi olekuvõrrand on $pV = RT$. Siin on muutujateks rõhk p , ruumala V ja temperatuur T , konstant on R .

Võrrand kehtib vaid muutujate ja konstantide teatud väärtuste korral. Neid väärtusi nimetatakse võrrandi lahenditeks. Võrrandit on võimalik lahendada siis, kui tundmatuid suurusi on ainult üks. Kui tundmatuid on rohkem, tuleb leida ka rohkem võrrandeid, mis olukorda kirjeldavad: võrrandeid peab olema vähemalt sama palju kui on tundmatuid.

Võrrandid võivad olla juba valmis kasutamiseks (ideaalse gaasi olekuvõrrand $pV = RT$, harmoonilise võnkumise võrrand $x = x_0 \sin \omega t$) või tuleb neid tuletada. Võrrandeid tuletatakse lähtudes füüsika mudelitest, printsiipidest ja seadustest, mis on kirja pandud valemi kujul.

Valem on sümbolite kombinatsioon, mis väljendab mingit väidet. Valemeid jaotatakse definitsioonvalemiteks, tuletatud valemiteks ja seadusi kirjeldavateks valemiteks. Esimesed esitavad definitsiooni matemaatiliselt, teised on saadud mudelitest ja definitsioonvalemitest lähtudes ning matemaatilisi teisendusi kasutades, kolmandad kirjeldavad mingit füüsikaseadust füüsika keeles.

Näide.

- 1) Valem $a = \Delta v / \Delta t$ on definitsioonvalem, mis väidab, et kiirendus on võrdne kiiruse muudu ja selleks kulunud aja jagatisega.
- 2) Valem vedeliku rõhu kohta $p = \rho gh$ on saadud pärast matemaatilisi teisendusi, kasutades mudelit, kus anumal põhjapindalaga S asub vedelik tihedusega ρ ja mille kõrgus on h .
- 3) Valem $I = U/R$, kirjeldab Ohmi seadust.

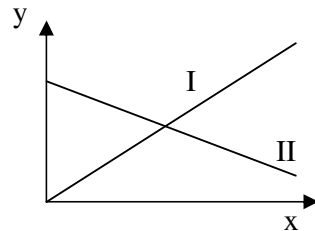
Valemiks nimetatakse ka arvutusekirja võrrandist avaldatud otsitava suuruse leidmiseks.

Võrrandi lahendamine seisneb otsitava suuruse avaldamises ja selle arväärtuse arvutamises.

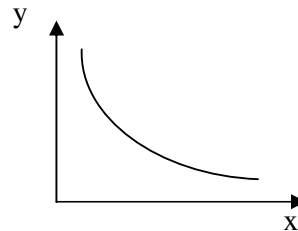
Näide. Olgu meil teada ideaalse gaasi rõhk ja ruumala ning tuleb leida gaasi temperatuur. Selleks kasutame ideaalse gaasi olekuvõrrandit $pV = RT$. Avaldame temperatuuri $T = pV/R$ ja arvutame T väärtuse.

Võrrandid on oma olemuselt mitmesugused. Füüsikas kasutatakse peamiselt võrrandeid, mis kirjeldavad:

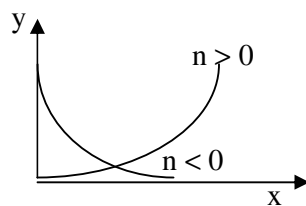
- a) võrdelist sõltuvust $y = ax$ (I) või lineaarset sõltuvust $y = ax \pm b$ (II);
- b) pöördvõrdelist sõltuvust $y = a/x$ või $xy = a$;
- c) astmefunktsiooni $y = ax^n$;
- d) eksponentfunktsiooni $y = a^x$ (graafik sarnaneb astmefunktsiooni graafikule).



a)



b)



c)

Näide. Võrdeline seos on teepikkuse ja aja vahel: $s = vt$; pöördvõrdeline seos on ideaalse gaasi rõhu ja ruumala vahel: $pV = \text{const.}$; vabal langemisel läbitud teepikkus ja langemisaeg on seotud astmefunktsiooniga: $h = gt^2/2$.

Matemaatikas nimetatakse selliseid sõltuvusi **funktsioonideks**. Funktsioone saab esitada tabelina, valemiga ja graafikuna.

Võrrandid matemaatikas ja füüsikas on pisut erinevad.

Matemaatikas on tegu ainult arvudega, füüsikas aga füüsikaliste suurustega, millel on ka **mõõtühik**. Mõõtühikutega tehakse samasuguseid tehteid kui arvudega. võrrandi mõlemad pooled omavad alati samasugust mõõtühikut.

Näide. Tuleb leida mingi veekoguse mass. Teada on, et ruumala on 5 m^3 ja vee tihedus 10^3 kg/m^3 . Massi leidmiseks korrutame esmalt ruumala ja tiheduse arvvaärtused: $5 \cdot 10^3$. Ühiku leidmiseks korrutame ka ühikuid: $\text{m}^3 \cdot \text{kg/m}^3 = \text{kg}$. Lõpuks korrutame arvvaärtuse ühikuga ja saame 5000 kg.

Lisaks mõõtühikule kasutatakse füüsilikas ka mõistet **dimensioon**. Mõiste dimensioon tuleneb ladina keelest: *dimensio* tähendab välja mõõtma. Kui me räägime antud suuruse **dimensioonist**, siis peame silmas seost põhisuuruste vahel, mis kirjeldavad antud suurust. Dimensioon on arv, mis näitab millises astmes on põhisuurus tuletatud suuruse valemis. Näiteks **ruumala** $V \propto l^3$, järelikult on ruumala dimensioon 3. Aga **pindala** dimensioon on alati võrdne pikkuse ruuduga: $[S] = L^2$ (nurksulud näitavad, et tegemist on dimensiooniga). Dimensiooni korral pole oluline, mille pindalast käib jutt: ring, ruut, inimese keha jne., või kuidas seda arvutatakse. Ringi pindala on πr^2 , ruudul a^2 , jne. Samuti pole oluline, mis ühikuis mõõdetakse pindala, kas ruutmeetrites, hektarites, tiinudes jne. Alati mõõtab pindala mingi pikkusühiku ruuduga.

Näiteks kiiruse dimensioon on $[v] = LT^{-1}$, so. suurus, mis on määratud pikkuse ja aja suhtega. Jällegi pole oluline, mis ühikutes suurust mõõdetakse.

Kiirenduse dimensioon on $[a] = LT^{-2}$, siit saame ka jõu dimensiooni $[F] = MLT^{-2}$, jne, jne.

Dimensiooni leidmiseks kasutatakse antud suuruse definitsioonivalemit ja taandatakse seal kõik suurused põhisuurustele. SI süsteemis on **põhisuurused**: pikkus, aeg, mass, voolutugevus, temperatuur ja valgustugevus.

Miks dimensioonid olulised on?

Sellepärast, et neist on füüsilikas palju kasu. Nendega on seotud kaks reeglit, mis hõlbustavad füüsilikaga tegelemist. See tähendab, et me ei pea alati hakkama sügavalt analüüsima oma tegevust, mõnda asja saab teha automaatselt.

I reegel: liita ja lahutada saab ainult ühesuguse dimensiooniga suurusi. See tähendab, et me võime kokku liita näiteks õhurõhu ja vedelikusamba rõhu, aga sinna juurde ei saa enam liita tuule kiirust. Miks? Sest liita saab siis, kui liidetakse ühesuguse dimensiooniga suurusi, sel juhul saame mõõtühiku võtta sulgude taha. Näiteks:

$$1m + 2m = (1 + 2)m = 3m.$$

Aga kuidas liita $1m + 2 \text{ kg}$? Ei saagi!

Küll aga võib erineva dimensiooniga suurusi korrutada või jagada. Siis tekib uue dimensiooniga suurus.

II reegel: võrduse kõigil liikmetel on ühesugune dimensioon. Ehk teisiti öelduna: Võrduse vasak ja parem pool peavad mõõtuma ühesugustes ühikutes. See annab hea võimaluse valemite õigsuse kontrollimiseks.

Kontrollime näiteks, kas valem $v = v_0 + gt^2/2$ on õige.

$LT^{-1} \neq LT^{-1} + LT^{-2} \cdot T^2 = LT^{-1} + L$, seega valem on vale.

Eksperimentaalsetest faktidest lähtudes, mudelite, seaduste ja matemaatika abil luuakse **teooriad**. Teooria põhiülesanded on uute eksperimentaalsete faktide seletamine ja ennustamine.

Näide. Teooria on näiteks gaaside molekulaarkineetiline teooria. Mudel: gaas koosneb molekulidest, mis on pidevas kaootilises liikumises. Liikumiskiirus määrab gaasi temperatuuri. Molekulide põrked loetakse absoluutselt elastseteks. Molekulide vahel mõjuvad tõmbe- ja tõukejõud. Sellest mudelist lähtudes on tuletatud gaasi olekut, ülekandenähtusi, jne.

kirjeldavad võrrandid, mis lubavad katsetulemusi seletada. Näiteks ideaalse gaasi olekuvõrrandist järeldub, et jääval temperatuuril on gaasi rõhu ja ruumala korrutis jääv suurus. see lubab ennustada, et niisugusel juhul viib ruumala vähendamine rõhu suurenemisele.

Kokkuvõtteks võib öelda, et **füüsika õppimine võimaldab mõista, mis toimub meie ümber.**

Selleks peab **teadma** füüsika:

- füüsika keelt
- printsiipe
- mudeleid
- seadusi või seaduspärasusi (nende seletavat ja ennustavat võimet)

Oskama

- kasutada eelnimetatud oskusi
- vaadelda, mõõta ja järeldada
- eristada olulist mitteolulisest
- eristada seda, mida näeme sellest, mida järeldame
- kasutada teaduse meetodit
- kasutada matemaatikat

Füüsikas nagu kõigis teadustes ei tohi midagi pimesi uskuda, kõiges tuleb kahelda ja kõike kontrollida.

"Füüsika õppimine on kanglastegu, millega saaks hakkama igaiüks, kui tuleks ainult selle peale".

Tea Korela, 2002 (looduslaps)