

FÜÜSIKA RIIGIEKSAMI KONSPEKT

TTG 2005

SISSEJUHATUS. MÕÕTÜHIKUD

SI – System International, 7 põhisuurst ja põhiühikut:

1. pikkus 1 m (mehaanika)
2. mass 1 kg (mehaanika)
3. aeg 1 s (mehaanika)
4. ainehulk 1 mol (molekulaarfüüsika)
5. temperatuur 1 K (kelvini kraad, soojusõpetus)
6. elektrivoolu tugevus 1 A (elekter)
7. valgusallika valgustugevus 1 cd (optika)

Täiendavad ühikud on 1 rad (radiaan) – nurgaühik – ja 1 sr (steradiaan) – ruuminurga ühik.

Tuletatud ühikud on kõik ülejäänud, mis on avaldatavad põhiühikute kaudu, näiteks $1 \frac{m}{s}$, $1 \frac{m}{s^2}$,

$$1 N \left(\frac{kg \cdot m}{s^2} \right), 1 J (N \cdot m).$$

Mitte SI ühikud on ajaühikud 1 min, 1 h, nurgaühik nurgakraad, töö- või energiaühik 1 kWh, rõhuühik 1 mmHg.

Ühikute eesliited:

piko- (p) 10^{-12}

nano- (n) 10^{-9}

mikro- (μ) 10^{-6}

milli- (m) 10^{-3}

senti- (c) 10^{-2}

detsi- (d) 10^{-1}

ühik ise $10^0=1$

deka- (da) 10^1

hekto- (h) 10^2

kilo- (k) 10^3

mega- (M) 10^6

giga- (G) 10^9

tera- (T) 10^{12}

Oskused

Ühikute teisendamine, näiteks $0,1 mg = 0,1 \cdot 10^{-3} g = 0,1 \cdot 10^{-6} kg = 10^{-7} kg$ või

$$1 J = 1 N \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

$$A = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$$

Tuletatud ühikute defineerimine. Valemi põhjal, näiteks jõud 1 N ($F=m \cdot a$): 1 N on jõud, mis massile

1 kg annab kiirenduse $1 \frac{m}{s^2}$ või 1 A $\left(I = \frac{U}{R} \right)$ on voolutugevus, mille tekitab pinge 1 V 1-oomises

[1Ω] takistis.

Ühiku eesliite ja vastava kümneastme vastastikune väljendamine, näiteks kilovatt (kW) on $10^3 W$ või $0,03 N = 3 \cdot 10^{-2} N = 3 cN$.

1. kursus MEHAANIKA

Mehaaniline liikumine

Ühtlane sirgliikumine ($s = v \cdot t$) – keha läbib mistahes võrdsetes ajavahemikes võrdsed teosad mööda sirgjoont.

Ühtlaselt muutuv liikumine – keha kiirus muutub (suureneb või väheneb) mistahes võrdsetes ajavahemikes võrse suuruse võrra, kiirendus a on const ehk jääv, kas positiivne (kiirenev) või negatiivne (aeglustuv). Vaba langemine vaakumis on sobiv näide ühtlaselt kiirenevast liikumisest

$\left(a = g = 9,8 \frac{m}{s^2} \right)$. Jäähokilitri vaba liikumine siledal jääl võiks olla näide ühtlaselt aeglustuvast

liikumisest (hõõrdumise tõttu, hõõrdeegur μ).

Taustkeha on keha, mille suhtes vaadeldakse kvalitatiivselt (ilma numbriliste väärtusteta) mingi teise keha liikumist.

Taustsüsteem koosneb:

1. taustkehast
2. sellega seotud koordinaadistikust
3. ajamõõtjast (kellast)

Taustsüsteemi abil saab mingi keha liikumist määratleda kvantitatiivselt.

Teepikkus on läbitud tee pikkus trajektoorigil. $[l]_{SI} = 1m$.

Nihe s on suunatud sirglõik ehk vektor keha algasukohast lõppasukohta. Sirgliikumisel $|s| = l$

Kiirus näitab ajaühikus läbitud teepikkust. $[v]_{SI} = 1 \frac{m}{s}$.

$v = \frac{l}{t} = v_k$. Tavaliselt see kiirus v ongi keskmine kiirus v_k .

Hetkkiirus väljendab kiirust mingil ajahetkel: $\vec{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, $\Delta t \rightarrow 0$. See on teoreetiliselt nii. Praktiliselt aga auto spidomeetri näitu hetkkiiruseks nimetades peame mõistma, et seegi on teatud keskmine kiirus. Üldse on kiirus mitte ainult mehaanika mõiste, vaid igasugust muutumist iseloomustatakse kiirusega – muutumisega ajaühikus ($v = \frac{\Delta m}{\Delta t}$).

Kiirendus näitab, kui palju muutub kiirus ajaühikus, st kiirendus on kiiruse muutumise kiirus.

$[a]_{SI} = 1 \frac{m}{s^2}$. Kiirus ja kiirendus on suunaga ehk vektoriaalsed suurused $\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{\Delta t}$.

Liikumine on suhteline mingi taustsüsteemi suhtes. Absoluutset taustsüsteemi pole seni leitud.

Liikumisvõrrandiks nimetatakse liikumist iseloomustavat matemaatilist avaldist, näiteks $s = v \cdot t$ ($x = 3t$, SI-s $3 \frac{m}{s}$), $s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$ ($x = 5t + 4t^2$, SI-s $a = 4 \cdot 2 = 8 \frac{m}{s^2}$), $s = s_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$ ($x = 7 + 2t - 5t^2$). Miks on s -lt üle mindud x -le? Aga sellepärast, et s väljendab liikumist kolmemõõtmelises ruumis (x, y, z), aga gümnaasiumis osutub see liiga keeruliseks ja pole vajagi meetodi mõistmiseks. Piiratakse ühemõõtmelise ruumiga.

Oskused: kinemaatika ülesannete analüütiline ja graafiline lahendamine sirgliikumise korral, st ühemõõtmelises ruumis valemitega $v = \frac{s}{t}$, $v_k = \frac{l}{t}$, $a = \frac{v - v_0}{t}$, $v^2 - v_0^2 = \pm 2as$, $s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}$.

Ülesanded 2.1-2.51

Ülesanne 2.4. Kaks jalgratturit alustavad liikumist ühest ja samast punktist. Esimene sõidab kiirusega 10 km/h ja teine, kes alustab liikumist 0,5 tundi hiljem, kiirusega 20 km/h. Joonista ühes ja samas teljestikus mõlema jalgratturi liikumisgraafik. Leia graafikult, kui kaua on jalgratturid kuni kohtumishetkeni liikunud. Kui pika tee on nad selleks ajaks läbinud?

Andmed:

$v_1 = 10 \text{ km/h}$

$t \text{ (h)}$ 0 0,5 1 2

$v_2 = 20 \text{ km/h}$

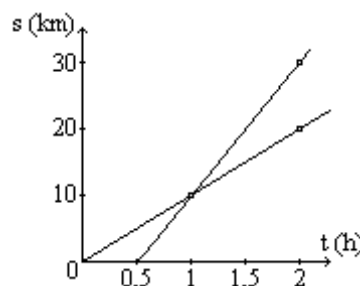
$s_1 \text{ (km)}$ 0 5 10 20

$s_2 \text{ (km)}$ 0 0 10 30

Kohtumishetkeni on jalgratturid sõitnud:

- esimene 1 tunni
- teine 0,5 tundi

Läbinud on nad 10 kilomeetrit



Ülesanne 2.11. Jõelaev läbis päri voolu sõites kahe asula vahelise tee kiirusega 24 km/h ja tagasitee kiirusega 16 km/h. Kui suur oli jõelaeva keskmine kiirus?

Andmed:

$v_1 = 24 \text{ km/h}$

$$v_k = \frac{l}{t} \quad v_k = \frac{2l}{t_1 + t_2} = \frac{2l}{\frac{l}{v_1} + \frac{l}{v_2}} = \frac{2l}{l(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2})} = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}$$

$$v_k = \frac{2 \cdot 24 \cdot 16}{24 + 16} = 19,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$v_2 = 16 \text{ km/h}$$

Leida: v_k

Kehade vastastikmõju

Mass. Kõikidel kehal on omadus säilitada oma paigalseisu või kiirust. Seda omadust nimetatakse *inertsiks*. Mass on keha inerts mõõt. $[m]_{SI} = 1 \text{ kg}$ – see on Pariisis hoitava etalonkeha mass.

Jõud. Jõud on keha vastastikmõju mõõt, mida väljendatakse tuntud massiga kehale antud kiirenduse või ka deformatsiooni suuruse kaudu. Tähistatakse F . $[F]_{SI} = 1 \text{ N}$. Newtoni II seadusest

$F = m \cdot a$ tuleneb, et $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, st 1 N on selline jõud, mis kehale massiga 1 kg annab kiirenduse 1 m/s^2 .

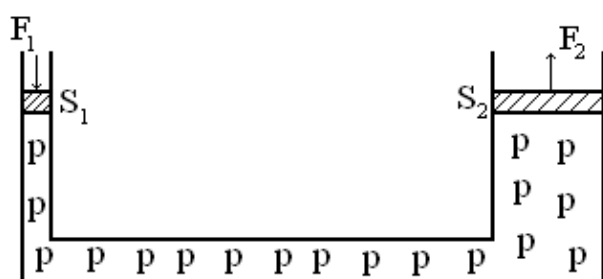
Rõhk. Rõhk p näitab, kui suur jõud F mõjub pinnaga risti ühele pinnaühikule, st $p = \frac{F}{S}$. Rõhk on

skalaar, kuigi \vec{F} on vektor. $[p]_{SI} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa}$ (paskal). Kasutatakse ka teisi rõhu ühikuid, nagu

1 mmHg ehk *torr*, mida avaldab 1 mm kõrgune elavhõbedasammas, või füüsikaline atmosfäär 1 atm, mida avaldab 760 mm kõrgune elavhõbedasammas, või tehniline atmosfäär 1 at, mida avaldab jõud 9,81 N (so 1 kg massiga keha raskusjõud) 1 cm^2 pinnale, või baar $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \approx 1 \text{ at}$.

NB! Ka impulssi tähistatakse p -ga, st ei tohi segamini ajada. Samuti ei tohi segamini ajada raskusjõust tingitud vedeliku või gaasi rõhku $p = \rho g h$ (ρ – vedeliku või gaasi tihedus, $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

raskuskiirendus ja h – sügavus, st rõhk sõltub sügavusest) ja Pascali seadusega väljendatavat rõhku, mis käib kinnises anum asuvas vedelikule ja gaasile avaldatava rõhu kohta, mis kandub edasi igas suunas ühtviisi. Viimasele põhineb hüdrauliline press.



Esimese kolvi all tekib õlis rõhk $p = \frac{F_1}{S_1}$, mis

kandub edasi teise kolvi alla $p = \frac{F_2}{S_2}$. Seega

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Rightarrow \vec{F}_2 = \vec{F}_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}, \text{ st teine kolb tõuseb nii}$$

mitu korda suurema jõuga, kui mitu korda on S_2

suurem S_1 -st.

Tihedus. Tihedus ρ näitab, kui suur on ühikulise ruumalaga keha või aine hulga mass $\rho = \frac{m}{V}$. Mass iseloomustab keha, aga tihedus iseloomustab selle keha ainet.

Jõu liigid.

Raskusjõud F_g on gravitatsioonijõud, millega Maa tõmbab enda poole tema lähedal asuvaid kehi. Raskusjõuga on seotud keha kaal, mis väljendab keha poolt alusele või riputuskohale mõjuvat jõudu. Raskusjõud mõjub Maa poolt kehale, aga keha kaal mõjutab teisi kehi. Kui keha liigub kiirendusega a üles, siis on tema kaal $P = m(g + a)$, kui alla, siis $P = m(g - a)$. Kui keha langeb vabalt, siis $a = g$ ja $P = 0$ ehk keha on kaaluta olekus.

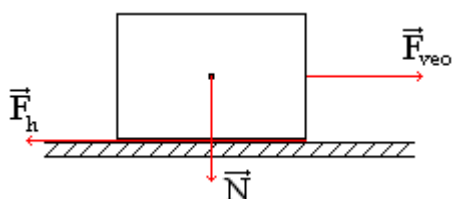
Ülesanded 4.8-4.19

Elastusjõud F_e tekib kehas selle deformeerimisel: Hooke'i seadus $F_e = -k \cdot \Delta l$, kus k on jäikus ja Δl keha pikenemine; k näitab, kui suurt jõudu on vaja rakendada, et keha pikkus muutuks ühe ühiku

võrra. $[k]_{SI} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$. „–“ näitab, et F_e on alati vastupidi deformatsioonile.

Ülesanded 4.36-4.41

Hõõrdejõud F_h on elektrilise päritoluga nagu elastusjõudki, aga mehaanikas käsitletav. $F_h = \mu \cdot N$, kus μ on hõõrdeegur kahe pinna vahel (nt puit-puidul 0,25), ühikuta; N on rõhumisjõud ehk normaaljõud (pinnaga risti).



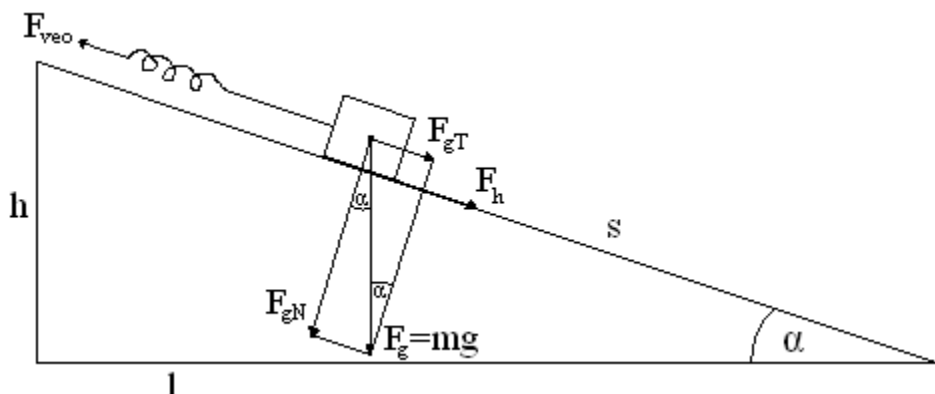
Hõõrdejõu suund on liikumisega vastassuunas. Eristatakse seisuhõõrdejõudu ja seisuhõõrde tegurit ning liugehõõrdejõudu ja liugehõõrde tegurit.

Ülesanded 4.21-4.26

Üleslükkejõud (mõnikord ka Archimedese seadusest: vedelikku või gaasi asetatud kehale mõjub üleslükkejõud F_u , mis on võrdne selle keha poolt väljatõrjutud vedeliku või gaasi kaaluga.

Ülesandeid meie kogus pole.

Ülesannete lahendamisel jõudude liikide kohta on otstarbekas treenida ennast kompleksülesannetega, st ülesannetega mitme jõu koomõjul, sest üksikjõuga ülesanded on liiga lihtsad ja vaevalt riigieksamil tulevad. Kui aga tulevad, siis kompleksülesannete oskamise taustal oskab ka neid teha ($F_g = m \cdot g$, $F_e = -k \cdot \Delta l$, $F_h = \mu \cdot F_N$). Näiteks *ülesandesituatsioon* (niisugune termin on olemas) jõudude kohta kaldpinnal.



Mööda kaldpinda veetakse üles puitkasti massiga m ja kiirendusega a . Hõõrde tegur puitpuidul $\mu = 0,25$. Olgu kaldpinna kõrgus h , pikkus s ja tekkinud täisnurkse kolmnurga teine kaatet l ning kaldpinna ja maapinna vaheline nurk α .

Lahendage läbi, koostades ise selle situatsiooni põhjal ülesandevariante, kõik võimalused. Näiteks võib ju küsida dünamomeetri vedru jäikust k , veojõudu F_{veo} ehk elastsusjõudu F_e , hõõrde tegurit μ või hõõrdejõudu F_h , keha massi m või raskusjõudu F_g . Vaadake iga variandi puhul, mis peab minimaalselt antud olema ülesande tekstis.

Ülesanne. Leiame analüütiliselt veojõu.

Veojõud F_{veo} veab klotsi ühtlaselt ülespoole. Newtoni I seaduse järgi peavad mõjuvad jõud olema tasakaalus: $F_{veo} = F_{gT} + F_h$

$$F_{gT} = F_g \cdot \sin \alpha = F_g \cdot \frac{h}{s}$$

$$F_h = \mu \cdot F_{gN} = \mu \cdot F_g \cdot \cos \alpha = \mu \cdot F_g \cdot \frac{l}{s}$$

$$F_v = \frac{F_g \cdot h}{s} + \frac{\mu \cdot l \cdot F_g}{s} = \frac{F_g}{s} (h + \mu \cdot l)$$

Üleslükkejõudu sellesse ülesandesse panna ei õnnestu. Ülesannete kogus ka ei ole, sest see on põhikooli osa. Võiks koostada ja lahendada järgmise eksperimentaalse ülesande. Ülevooluanumasse või siis ääreni vett täis mensuuri sukeldatakse 100 g kaaluvihit (niidiga). Üle voolanud vee ruumala mõõdetakse pärast vihi väljavõtmist (või suunatakse ülevooluanuma puhul teise mensuuri). Vihi võib sukeldada dünamomeetriga, st mõõta vihi kaal enne sukeldamist ja sukeldamisel. Siis teame vastavalt $F_g = m \cdot g$ ja $F_u = F_g - F_s$ (F_s näit sukeldamisel). Siit võib küsida näiteks vee tihedust või ülevoolanud vee ruumala, mis on ühtlasi vihi ruumala. Põhivalem on $F_u = \rho \cdot g \cdot V_a$, kus ρ on vedeliku tihedus, g raskuskiirendus ja V_a vedeliku pinnast allpool paikneva kehaosa ruumala (puitklots ei lähe ju üleni vee alla).

Impulss $p = m \cdot v$ (mõnikord ka liikumishulk) väljendub keha massi ja kiiruse korrutisena.

$$[p]_{SI} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Newtoni I seadus – iga keha säilitab paigaloleku või ühtlase sirgliikumise, kuni talle ei mõju mingi jõud või mõjuvad jõud on tasakaalus. Newtoni I seadust nimetatakse ka inertsiseaduseks (laiskuse seaduseks, inertia – ld k laiskus), sest kehade sellist omadust inertsuseks ja nähtust inertsiks.

Taustsüsteeme, kus kehtib inertsiseadus (Newtoni I seadus), nimetatakse *inertsiaalseteks taustsüsteemideks*.

Newtoni II seadus – kiirendus a , millega keha liigub, on võrdeline kehale mõjuva jõuga F ja pöördvõrdeline selle keha massiga m , st $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. See on eksperimentaalselt saadud seadus, mida tuletada ei saa. Ettevaatlik tuleb olla teise variandi $F = m \cdot a$ sõnastamisega ja hoopis valeks võib osutuda kolmanda variandi $m = \frac{F}{a}$ sõnastamine, sest keha mass on kindel sõltumatu suurus.

Ülesanded 3.14, 3.19, 3.20, 3.25, 3.26.

Newtoni III seadus: kahe keha vahel mõjuvad jõud on suuruselt võrdsed, kuid vastassuunalised, st $F_1 = -F_2$. Need jõud ei tasakaalusta teineteist, sest nad mõjuvad eri kehadele. Me ei saa neid liita kujul $F_1 + F_2 = 0$, sest ainult samas kehas saame jõude üle kanda ja rakenduspunkte kokku viia (et jõude liita).

Gravitatsiooniseadus: $F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ kaks punktmassi tõmbavad teineteist jõuga, mis on võrdeline nende massidega ja pöördvõrdeline nende vahelise kauguse ruuduga. $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$.

Impulsi jäävuse seadus: suletud süsteemi koguimpulss on sinna kuuluvate kehade igasugusel vastastikmõjul jääv. $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = const \Rightarrow mv_1 + mv_2 + mv_3 + \dots + mv_n = const$. Impulsi jäävuse seadus võimaldab kirjeldada mitmeid põrgetega seotud nähtusi ja reaktiivliikumist.

Mehaaniline töö $A = F \cdot s$ $[A]_{SI} = 1 J$ (džaul) $= 1 N \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$.

Raskusjõu töö $A = F_g \cdot h = m \cdot g \cdot h$ ei sõltu trajektoori kujust, vaid kõrguste vahest h .

Hõõrdejõu töö $A = \mu \cdot N \cdot s$, kus μ on hõõrdetegur, N rõhumisjõud ehk normaaljõud pinnale. Hõõrdejõu töö on alati negatiivne, sest hõõrdejõud on alati vastassuunaline liikumisele.

Elastusjõu töö $A = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$, kus k on keha jäikus ja Δl keha pikkuse muutus. Ka elastsusjõu töö on alati negatiivne, sest ka elastsusjõud on liikumisele vastassuunas.

Võimsus kirjeldab töö tegemise kiirust (intensiivsust) ehk seda, kui palju tööd tehakse ajaühikus.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

Mehaaniline energia. Energia iseloomustab keha võimet teha tööd. Mehaanikas eristatakse liikumisenergiat ehk *kineetilist energiat* $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$ ja *potentsiaalset energiat* ehk asendienergiat, mis on võrdne keha asendi muutmiseks tehtava tööga. Raskusjõu korral $E_p = m \cdot g \cdot h$. Nullnivooks loetakse maapinda.

Mehaanilise energia jäävuse seadus: suletud süsteemi mehaaniline koguenergia on jääv $E_{kogu} = E_k + E_p = const$ (ei ole arvestatud hõõrdumist, kus osa mehaanilisest energiast muundub soojuseks ehk siseenergiaks).

Perioodiline liikumine

Ringliikumine on keha liikumine ringjoonelisel trajektooriga. Ühtlasel ringliikumisel läbib keha võrdsetes ajavahemikes võrdsed kaarepikkused. NB! Kuigi liikumise nimi on ühtlane, on jääv ainult kiiruse arväärtus ehk moodul, aga kiirus kui vektor muutub, sest suund muutub – on olemas kiirendus, mida nimetatakse *kesktõmbekiirenduseks* ning seda põhjustab kesktõmbejõud (taevakehade tiirlemisel gravitatsioonijõud).

Ringjoonel liikumise kiirust v nimetatakse *joonkiiruseks*, mille suund on alati puutuja sihil $v = \frac{l}{t}$, kus l on läbitud kaare pikkus. Kuna $l = r \cdot \varphi$, kus r on liikumisraadius ja φ on kaarele l vastav

kesknurk, siis $v = \frac{r \cdot \varphi}{t}$. Suurust $\omega = \frac{\varphi}{t}$ ehk ajaühikus läbitud kesknurka nimetatakse *nurkkiiruseks* ω . $[\omega]_{SI} = 1 \frac{rad}{s}$. Eelnevatest seostest $v = \frac{r \cdot \varphi}{t}$ ja $\omega = \frac{\varphi}{t}$ saame joon- ja nurkkiiruse seose $v = \omega \cdot r$. Kesktõmbekiirendus $a_k = \frac{v^2}{r}$ ja kesktõmbejõud $F_k = \frac{m \cdot v^2}{r}$ ($F = m \cdot a$).

Ringliikumise ehk tiirlemise valemid kehtivad ka pöörlemise kohta. $\omega = 2\pi \cdot f$.

Võnkumine on liikumine, mis kordub perioodiliselt ja samal trajektooriga. Eristatakse *vabavõnkumisi* ehk *omavõnkumisi*, mis toimuvad süsteemisest jõudude mõjul, ja *sundvõnkumisi*, mis toimuvad välise perioodilise jõu mõjul. Kui nende sagedused kokku langevad, siis toimub võnkeamplituudi järsk kasv ehk *resonants*. Kui võnkumist kirjeldab siinus- või koosinusfunktsioon, siis on võnkumine *harmooniline*. $x = x_0 \cdot \sin \omega t$

Võnkeperiood T on aeg, mille jooksul tehakse üks täisvõnge. Kui on teada võngete arv n ja kogu aeg, siis $T = \frac{t}{n}$.

Võnkesagedus f on ajaühikus sooritatud võngete arv. $f = \frac{1}{T}$.

Hälve x on võnkuva keha kaugus tasakaaluasendist. Maksimaalne hälve $x_{\max} = x_0$ on *amplituud*.

Pendlivalem $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Laine on võnkumise levimine elastses keskkonnas. Keskkonna osakesed ei kandu lainega kaasa. Puitklots veelainetel kandub alati edasi tuule tõttu, muidugi ka vee pinnakiht, aga mitte nii kiiresti kui lained.

Levimise iseloomu järgi eristatakse *ristlaineid*, kui keskkonna osakesed võnguvad *risti* laine levimisega (veelained, elektromagnetlained), ja *pikilaineid*, kui keskkonna osakesed võnguvad *piki* laine levimise suunda.

Seos laine levimiskiiruse ja lainepikkuse vahel. Lähtume ühtlase liikumise põhivõrrandist $s = v \cdot t$.

See kehtib ka laine levimise kohta ning asendades $s \rightarrow \lambda$ ja $t \rightarrow T$, saame $\lambda = v \cdot T$ ehk $\lambda = \frac{v}{f}$.

2. kursus SOOJUSÕPETUS

Ideaalne gaas ja termodünaamika alused

Ideaalne gaas on lihtsaim mudel gaasi kirjeldamiseks, milles ei arvestata molekulide mõõtmeid ja vastastikmõju (toimuvad ainult elastsed põrked).

Ideaalse gaasi *olek* on makroäsitluses olukord, mis on määratud gaasikoguse rõhu p , ruumala V ja absoluutse temperatuuri T konkreetsete väärtustega. Ideaalse gaasi *oleku muutumine* toimub siis, kui p , V või T mingi väärtus muutub.

Molekul on väikseim osake, millest ained koosnevad ja mis on pidevas kaootilises liikumises.

Siseenergia on:

1. makroäsitluses keha või süsteemi energia, mis on määratud selle keha või süsteemi võimega soojushulka üle kanda või mehaaniliselt tööd teha
2. mikroäsitluses keha molekulide kineetilise ja potentsiaalse energia summa

Ühikuks SI-s on 1 J (džaul) $[U]_{SI} = 1 J$

Temperatuur T iseloomustab keha soojuslikku seisundit ja on määratud keha molekulide soojusliikumise kineetilise energiaga: $\bar{E} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$, kus $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ on Boltzmani konstant.

$0 K = -273^\circ C$.

Soojushulk Q on siseenergia hulk, mille keha saab või annab ära soojusülekanal:

1. temperatuuri muutumisel $Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$, kus c on erisoojus
2. sulamisel ja tahkumisel $Q = \lambda \cdot m$, kus λ on sulamissoojus
3. aurustumisel ja kondenseerumisel $Q = L \cdot m$, kus L on aurustumissoojus
4. kütuse põlemisel $Q = q \cdot m$, kus q on kütteväärtus

Gaasi rõhk p on tingitud gaasimolekulide põrgetest vastu anuma seinu $p = \frac{1}{3} \cdot m_0 \cdot n \cdot \overline{v^2}$, kus m_0 on molekuli mass, n molekulide arv ruumalaühikus ehk kontsentratsioon ja $\overline{v^2}$ molekulide kiiruste ruutude keskvärtus.

Ideaalse gaasi olekuvõrrand $p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$, kus m on gaasi mass, M gaasi molaarmass,

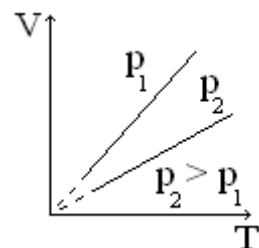
$R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$ universaalne gaasikonstant.

Võrrand tähendab seda, et gaasikoguse rõhu ja ruumala korrutis on võrdeline selle absoluutse temperatuuriga.

Isoprotsessid on jääva gaasikoguse (mass m) üleminekuprotsessid ühest olekust teise, kui kolmest olekuparameetrist (p , V , T) üks ei muutu. Järelikult on võimalik kolm isoprotsessi:

1. $p = const$ ehk isobaariline protsess $V = f(T)$ ehk Gay-

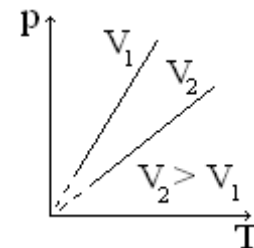
seadus, mida kirjeldab seos $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V}{T} = const$



Lussac'i

2. $V = const$ ehk isohooriline protsess $p = f(T)$ ehk

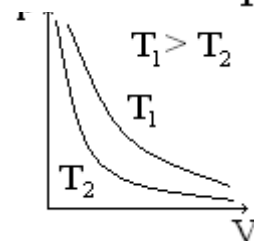
[šarl'i] seadus, mida kirjeldab seos $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p}{T} = const$



Charles'i

3. $T = const$ ehk isotermiline protsess $p = f(V)$ ehk

Marionette'i seadus, mida kirjeldab seos $p_1 V_1 = p_2 V_2 = pV = const$



Boyle'i-

Isoprotsesse kirjeldavad võrrandid saab tuletada ideaalse gaasi

olekuvõrrandist, võttes ühe muutuja konstantseks. Punktiirjooned graafikutel väljendavad seda, et T madalatel väärtustel katset tehtud pole (joon on seal piirkonnas oletuslik).

Termodünaamika esimene seadus: süsteemile juurdeantav soojushulk Q kulub süsteemi siseenergia ΔU suurendamiseks ja välisjõudude vastu tehtavaks tööks ehk paisumise tööks A , st $Q = \Delta U + A$. Avaldatakse ka kujul $\Delta U = A + Q$, st süsteemi siseenergia muut ΔU on võrdne välisjõudude töö A ja süsteemile antud soojushulga Q summaga.

NB! Q ja A on algebralised suurused, mis tähendab seda, et kui $Q > 0$, siis süsteem saab soojushulga; kui $Q < 0$, siis süsteem annab ära soojushulga; kui $A > 0$, siis teevad tööd välisjõud; kui $A < 0$, siis teevad tööd sisejõud.

Termodünaamika esimene seadus väljendab energia jäävuse seadust termodünaamikas.

Termodünaamika teine seadus: soojusülekanne ei saa iseenesest toimuda külmemalt kehalt soojemale. Külma ja kuuma vee segust ei enam tagasi eraldada külma ja sooja vett. Soojusprotsessidel on kindel suund.

Soojusmasin on siseenergiat mehaaniliseks energiaks muutev seade. Ta koosneb:

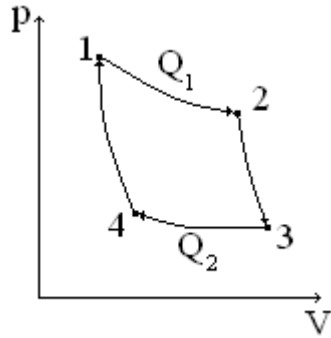
1. *soojendist* (süsteemile siseenergiat andev keha)
2. *jahutist* (süsteemilt siseenergiat saav keha)
3. *töökehast* (siseenergiat mehaaniliseks energiaks muutev keha)

Pärast töö sooritamist viiakse töökeha esialgsesse olekusse ja alustatakse kogu protsessi uuesti. Töökeha sooritab protsesside tsükli ehk *ringprotsessi*.

Soojusmasina *kasutegur* η näitab, kui suure osa juurdeantavast soojusenergiast Q_1 muudab masin kasulikuks tööks A_{kas} . Kasulikuks tööks muundub süsteemile juurdeantava ja jahutile äraantava

soojushulga vahe $A_{kas} = Q_1 - Q_2$. Kasutegur antakse tavaliselt protsentides $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$.

Ideaalne soojusmasin on suurima kasuteguriga ja selle töösükkel koosneb kahest isotermilisest ja kahest adiabaatilisest protsessist ning sellist tsükli nimetatakse Carnot' [karnoo] tsüklikliks.



1-2 ja 3-4 on isotermid, 2-3 ja 4-1 adiabaadid. Adiabaat kirjeldab sellist protsessi, kus soojusvahetust ümbritseva keskkonnaga ei toimu (kas siis väga hea soojusisolatsiooni tõttu või on protsess nii kiire, et soojusvahetust ei jõua toimuda). Sõna a-dia-baat, mis tähendab, et a – ei, dia – läbi ehk kokkuvõtte läbi minna ei saa ehk soojusvahetust ei toimu. Ideaalse soojusmasina kasutegur on avaldatav temperatuuride

kaudu: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$, kus T_1 on soojendi temperatuur ja T_2 jahuti

temperatuur.

Agregaatolekuid on kolm: gaasiline, vedel ja tahke. Agregaatoleku muutumised on sulamine, tahkestumine, aurustumine, kondenseerumine, sublimeerumine, härmastumine. Soojushulka, mis neeldub või eraldub aine massiühiku kohta, nimetatakse siirdesoojuseks.

Ülesanne 9.9. Mitu aatomit sisaldab 1 kg heeliumi?

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A} \Rightarrow N = \frac{m \cdot N_A}{M}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$M(\text{He}) = 2 \text{ kg/kmol} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$N = \frac{1 \text{ kg} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}} = 3 \cdot 10^{26} \text{ aatomit}$$

Ülesanne 9.10. Mitu molekuli on ühes grammis hapnikus?

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A} \Rightarrow N = \frac{m \cdot N_A}{M}$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$m = 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$$

$$M(\text{O}_2) = 2 \cdot 16 \text{ kg/kmol} = 32 \text{ kg/kmol} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg/mol}$$

$$N = \frac{10^{-3} \text{ kg} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{3,2 \cdot 10^{-2} \text{ kg/mol}} = 1,9 \cdot 10^{22} \text{ molekuli}$$

Ülesanne 9.35. Balloonis ruumalaga 80 liitrit on 1 kg süsihappegaasi temperatuuril 20 °C. Kui suur on gaasi rõhk balloonis?

$$V = 80 \text{ l} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$t = 20^\circ \text{C}$$

$$T = t + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$p - ?$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot V}$$

$$M(\text{CO}_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44 \text{ kg/kmol} = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ kg/mol}$$

$$p = \frac{1 \text{ kg} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293 \text{ K}}{4,4 \cdot 10^{-2} \text{ kg/mol} \cdot 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3} = 692 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 692 \text{ kPa}$$

Ülesanne 9.45. Temperatuuril 20°C oli gaasi rõhk suletud balloonis 150 kPa . Kui suur on selle rõhk temperatuuril -20°C ?

$$V = \text{const}$$

$$t_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$t_2 = -20^\circ \text{C}$$

$$p_1 = 150 \text{ kPa} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_2 - ?$$

$$T_1 = t_1 + 273 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = t_2 + 273 = -20 + 273 = 253 \text{ K}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$p_2 = \frac{1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 253 \text{ K}}{293 \text{ K}} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 130 \text{ kPa}$$

Ülesanne 9.51. Millise ruumala võtab enda alla gaas temperatuuril 177°C , kui temperatuuril 27°C on selle ruumala 9 liitrit ja kui olekumuutus on isobaariline?

$$p = \text{const}$$

$$t_1 = 177^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 27^\circ \text{C}$$

$$V_2 = 9 \text{ l} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_1 - ?$$

$$T_1 = t_1 + 273 = 177 + 273 = 450 \text{ K}$$

$$T_2 = t_2 + 273 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_1 = \frac{T_1 \cdot V_2}{T_2}$$

$$V_1 = \frac{450 \text{ K} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{300 \text{ K}} = 13,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 13,5 \text{ l}$$

Ülesanne 9.57. Järve põhjast veepinnale tõusmisel suurenes õhumulli ruumala 2 korda. Kui suur on järve sügavus selles kohas? Vee temperatuuri võib lugeda sügavusest sõltumatuks.



$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 2V_1 \Rightarrow p_1 = 2p_2$$

$$p_1 = p_2 + \rho g h \Rightarrow \rho g h = p_1 - p_2 \Rightarrow h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g}$$

$$2V_1 = V_2$$

$$p_2 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho_{\text{vesi}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h - ?$$

$$h = \frac{10^5 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 10 \text{ m}$$

Ülesanne 10.2. Gaas sai soojushulga 80 J ja tegi töö 100 J . Kuidas ja kui palju muutus seejuures tema siseenergia?

$$Q = 80 \text{ J}$$

$$A = 100 \text{ J}$$

$$\Delta U - ?$$

$$\Delta U = Q - A$$

$$\Delta U = 80 \text{ J} - 100 \text{ J} = -20 \text{ J}$$

Siseenergia vähenes 20 J võrra

Ülesanne 10.12. Keskkütteradiaatorisse saabub vesi temperatuuril 80°C mööda 5 cm^2 -se ristlõikega toru, liikudes selles kiirusega $1,2 \text{ cm/s}$, ja lahkub radiaatorist temperatuuril 25°C . Kui suure soojushulga annab vesi üle ühe ööpäeva jooksul toaõhule?

$$t_1^o = 80^o C$$

$$t_2^o = 25^o C$$

$$S = 5 \text{ cm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = 1,2 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 24 \text{ h} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$c_{\text{vesi}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot K}$$

$$\rho_{\text{vesi}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$Q = ?$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t^o$$

$$m = v \cdot \rho$$

$$v = 1,2 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_{\text{vesi}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot K}$$

$$\Delta t^o = 80 - 25 = 55 K$$

$$Q = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot K} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 55 K = 1,386 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

$$\approx 1,386 \cdot 10^{-2} \text{ J} = 1,386 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot K} = 120 \text{ J}$$

Ülesanne 10.31. Soojusmasina kasutegur on 20%. Töökeha saab ühe tsükli vältel soojendilt soojushulga 600 J. Kui suure töö teeb masin?

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A_{\text{kas}}}{Q_1} = \frac{Q_1 \cdot \eta}{100\%}$$

$$\eta = 20\%$$

$$Q_1 = 600 \text{ J}$$

$$A_{\text{kas}} = ?$$

3. kursus ELEKTROMAGNETISM

Elektriväli

Elektrilaeng on mitme tähendusega mõiste. Keha elektrilaeng q näitab keha osalemise intensiivsust elektromagnetilises vastastikmõjus. Huvitav on massi ja laengu vahekord: mass võib ilma laenguta olemas olla, aga laeng ilma massita ehk laengukandjata mitte kunagi. Elektron kannab negatiivset laengut, prooton positiivset. Keha kui terviku laeng sõltubki nende arvulisest suhtest, sest $|q_e| = |q_p|$.

$[q]_{SI} = 1 \text{ C}$ (kulon). Elektroni ja prootoni laengut $|q_e| = |q_p| = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ nimetatakse elementaarlaenguks. Keha elektrilaeng saab olla ainult täisarvukordne elementaarlaengust.

Elektrilaengu jäävuse seadus: elektriliselt isoleeritud süsteemi kogulaeng on jääv suurus.

Punktilaeng on laetud keha, mille mõõtmeid ei arvestata. *Coulomb'i seadus*: $F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$, kus

$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$, st kaks paigalolevat punktilaengut mõjutavad vaakumis teineteist jõuga, mis on

võrdeline laengutega ja pöördvõrdeline nendevahelise kauguse ruuduga. NB! Üldine märkus: võrdetegurite ühikud ei jää meelde, aga neid saab põhivalemist tuletada. Keskkonnas, st dielektrikus

$F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon \cdot r^2}$, kus ϵ on keskkonna dielektriline läbitavus.

Elektrivälja tugevus \vec{E} näitab, kui suur jõud mõjub selles väljas ühikulisele positiivsele laengule (nn proovilaengule) $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. Kokkuleppeliselt on \vec{E} -vektor suunatud positiivselt laengult eemale ja

negatiivse laengu poole. Punktilaeng q tekitab endast kaugusel r väljatugevuse $E = k \cdot \frac{q}{r^2}$.

Töö *elektriväljas* $A = (\vec{F} \cdot \vec{s}) = q \cdot \vec{E} \cdot \Delta l$, kus Δl on nihe \vec{E} -vektori suunal (NB! Mitte trajektoori pikkus), st trajektoori projektsioon \vec{E} -vektori suunal. Vt analoogia tööga gravitatsiooniväljas, kus h või Δl on kõrguste vahe.

Pinge U kahe punkti vahel näitab, kui suur töö tehakse ühikulise laengu üleviimisel ühest punktist teise, st $U = \frac{A}{q}$. Või kasutades potentsiaali ϕ mõistet, on pinge kahe punkti potentsiaalide vahe.

$$U = \phi_2 - \phi_1 = \Delta\phi; A = q \cdot U = q \cdot \Delta\phi.$$

Elektrivälja potentsiaal ϕ näitab, kui suur on positiivse ühiklaengu potentsiaalne energia välja mingis punktis, st $\phi = \frac{E_p}{q}$ ehk siis kui palju tööd tuleb teha selle ühiklaengu toomiseks lõpmatusest välja punkti.

Elektrimahtuvus kahe keha süsteemis näitab, kui suure laengu viimisel ühelt kehalt teisele tekib kehade vahel ühikuline pinge, st $C = \frac{q}{U}$, ühikuks farad $[C]_{SI} = \frac{1C}{1V} = 1F$. Kondensaator ehk laengutihendaja on erinimeliselt laetud kehade (plaatide) süsteem kindla mahtuvuse saamiseks.

Plaatkondensaatori mahtuvus $C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{d}$, kus S on ühe plaadi või plaatide kohakuti oleva osa

pindala, d kaugus plaatide vahel, ϵ plaatidevahelise aine dielektriline läbitavus, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ elektriline konstant ehk vaakumi dielektriline läbitavus.

Alalisvool

Elektrivool on laengute suunatud liikumine, ka vastassuundades, nagu elektrolüüdis. Elektrostaatikas toimuv laengute hetkeline nihkumine (juht homogeenses elektriväljas) ei ole veel elektrivool.

Voolutugevus I väljendab ajaühikus juhi ristlõiget läbivat laenguhulka, st $I = \frac{q}{t}$.

Elektritakistus R on tingitud juhi kristallvõre takistavast mõjust laengukandjatele: $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, kus ρ on juhi aine eritakistus, l juhi pikkus ja S juhi ristlõikepindala. $[R]_{SI} = 1\Omega$ (oom). Ohmi seadusest $\left(I = \frac{U}{R}\right) R = \frac{U}{I}$ ehk $1\Omega = \frac{1V}{1A}$ näeme, et juhi takistus on 1 oom, kui pinge 1 volt tema otstel tekitab temas 1 amprilise voolu.

Elektrivoolu töö laengukandjate liikumist takistavate jõudude vastu väljendub tavaliselt soojuse eraldumisena Joule'i-Lenzi seaduse $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ järgi. Asendades ühe I Ohmi seadusest $\frac{U}{R}$ -ga, st

$$Q = I \cdot \frac{U}{R} \cdot R \cdot t = I \cdot U \cdot t = A \text{ saamegi üldtuntud valemi } A = I \cdot U \cdot t.$$

$$\text{Elektrivoolu võimsus } N = \frac{A}{t} = \frac{I \cdot U \cdot t}{t} = I \cdot U.$$

Ohmi seadus vooluringi osa kohta $I = \frac{U}{R}$ ehk voolutugevus I vooluringi osas on võrdeline pingega U selle osa otstel ja pöördvõrdeline selle osa takistusega R . Ka ülejäänud kaks kuju $U = I \cdot R$ ja $R = \frac{U}{I}$ on õiged, kuid nende sõnastamisel tuleb olla ettevaatlik (juhi takistus ei sõltu...).

Aine eritakistus ρ on määratud selle aine struktuuriga ja näitab, kui suur on sellest ainest valmistatud ühikulise pikkuse ja ühikulise ristlõikepindalaga keha takistus $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$

$$[\rho]_{SI} = 1 \frac{\Omega \cdot m^2}{m} = 1\Omega \cdot m.$$

Takistite jadaühendusel kogutakistus $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$ võrdub üksikute takistuste summaga.

Takistite rööpuühendusel kogutakistuse pöördväärtus $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$ võrdub üksikute takistuste pöördväärtuste summaga.

Vooluring on jadamisi ühendatud vooluallikas ja tarbija, aga ka mitmed muud elemendid, nagu lüliti ja mõõteriistad.

Vooluallikas on seade, mis muundab mitteelektrilist energiat elektrienergiaks. Nii nagu raskusjõud võrdsustab veetasemeid, nii võrdsustab elektriline jõud juhtide potentsiaale. Vooluallika sees hoiavad pinget ehk „tasemete vahet“ mitteelektrilised nn kõrvaljõud, mis teevad seal vajalikku tööd. *Vooluallika sisetakistus* r iseloomustab jõude, mis takistavad vooluallika sees laengukandjate suunatud liikumist. Nende jõudude ületamiseks kõrvaljõud tekivadki.

Elektromotoorjõud E ($E \neq \mathcal{E}$) (emj) näitab kõrvaljõudude tööd positiivse ühiklaengu ühekordsel läbiviimisel kogu vooluringist $E = \frac{A_{kogu}}{q}$. Elektromotoorjõud on suurim pinge, mida vooluallikas on üldse suuteline tekitama. Elektromotoorjõu määramiseks tuleb mõõta pinget voolu puudumisel. $[E]_{SI} = 1V$.

Ohmi seadus kogu vooluringi kohta $I = \frac{E}{R+r}$ st voolutugevus I vooluringis on võrdeline vooluallika elektromotoorjõuga E (NB! Valemis on E , sest Equation Editoris pole võimalik fonti muuta) ja pöördvõrdeline vooluringi kogutakistusega $R+r$, kus r on vooluallika sisetakistus ja R välistakistus.

Voltmeeter on pinge U mõõteriist, mis lülitatakse vooluringi rööbiti. Temast läheb suure eeltakisti tõttu läbi tühine osa voolust, aga sellest piisab, et näidata pinget.

Ampere-meeter on voolutugevus I mõõteriist, mis ühendatakse vooluringi jadamisi. Ka tema mõõtvast osast läheb läbi tühine osa voolust, sest põhivool läheb läbi šundi (šunt – väikese takistusega juhe).

Magnetväli

Püsimagnet on elektrivoolu puudumisel magnetvälja omav keha. Püsimagneti magnetväli on tema osakeste (eelkõige elektronide) omamagnetväljade summa.

Magnetinduktsioon B näitab jõudu, mis mõjub ühikulise voolutugevusega ja ühikulise pikkusega juhtmelõigule selle juhtmega ristuvast magnetväljas. $B = \frac{F}{I \cdot l}$. $[B]_{SI} = 1T$ (tesla). 1 T on sellise välja magnetinduktsioon, milles välja suunaga ristuvale juhtmele pikkusega 1 m ja voolutugevusega 1 A mõjub välja poolt jõud $1N \Rightarrow 1T = \frac{1N}{1A \cdot 1m}$.

Magnetvälja jõujoon on mõtteline joon, mille igas punktis on B -vektor selle joone puutuva sihiline. Kokkuleppeliselt kulgevad jõujooned väljaspool magnetit põhjapooluselt lõunapoolusele ($N \rightarrow S$) ning olles kinnised jooned, jätkuvad magneti sees vastupidi ($S \rightarrow N$).

Ampere'i seadus: magnetväljas asuvale vooluga juhtmelõigule mõjuv jõud F on võrdeline voolutugevusega I juhtmes, juhtmelõigu pikkusega l ning siinusega nurgast α voolu suuna ja magnetvälja suuna vahel. $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$.

Ampere'i jõud on vooluga juhtmele magnetväljas mõjuv jõud, mis on määratud Ampere'i seadusega.

Lorentzi seadus: magnetväli mõjutab liikuvaid laenguga osakesi jõuga F_L , mis on võrdeline laengu suurusega q , osakese kiirusega v ning siinusega nurgast α v -vektori ja B -vektori vahel. $F_L = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha$.

Lorentzi jõud väljendab magnetvälja mõju liikuvatele laenguga osakestele ning on määratud Lorentzi seadusega.

Nii Ampere'i jõud kui ka Lorentzi jõud on määratavad vasaku käe reegluga, mis näitab, et tegemist on analoogiliste jõududega. Erinevus on selles, et Ampere'i seadus ja jõud on avastatud 1820, kui ei olnud teada, mis voolab (elektron avastati alles 1897). Lorentzi seadus ja jõud selgus aga metallide klassikalise elektronteooria loomisel 1880...1909. Ampere'i jõud paneb vooluga juhtme liikuma magnetväljas ja sellele põhineb elektrimootori töö, st see jõud teeb tööd. Lorentzi jõud aga tööd ei tee, osakesed liiguvad lihtsalt Lorentzi seaduse kohaselt.

Elektrodünaamika

Elektromagnetilise induktsiooni nähtuseks nimetatakse elektrivälja tekkimist magnetvälja muutmisel.

Magnetvoog Φ on magnetvälja iseloomustav füüsikaline suurus, mis võrdub magnetinduktsiooni B (ehk magnetvootiheduse vektori) mooduli, juhtmekontuuriga piiratud pinna pindala ja pinnanormaali ja B -vektori vahelise nurga koosinuse korrutisega. $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$. $[\Phi]_{SI} = 1T \cdot m^2 = 1V \cdot s = 1Wb$ (veeber).

Faraday elektromagnetilise induktsiooni seadus: juhtmekeerus (juhtmekontuuris) tekkiv induktsiooni elektromotoorjõud E_i on võrdeline magnetvoo muutumise kiirusega juhtmekontuuris.

$$E_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ (NB! Valemis on } E_i \text{ asemel } E_i, \text{ sest Equation Editoris pole võimalik fonti muuta).}$$

Miinusmärk tuleneb Lenzi reeglist: induktsioonvoolu suund on selline, et tema magnetväli takistab voolu põhjustavat magnetvoo muutumist, st induktsioonvool toimib alati vastupidiselt voolu põhjusele.

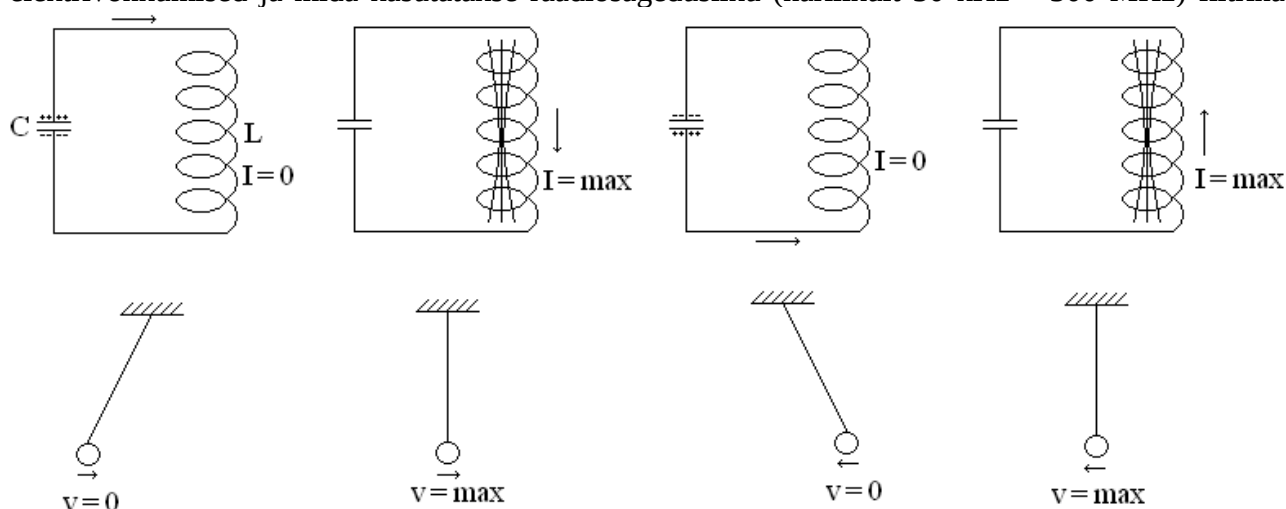
Eneseinduktsiooni nähtus on Faraday induktsiooni erijuht, kui juhis induktsiooni elektromotoorjõudu põhjustav magnetvoo muutus on tingitud voolutugevuse muutumisest juhis endas.

Pooli induktiivsus L näitab, kui suur eneseinduktsiooni elektromotoorjõud E_e tekib selles juhis voolutugevuse ühikulisel muutmisel ajaühiku jooksul. $L = \left| \frac{E_e \cdot \Delta t}{\Delta I} \right|$, kus absoluutväärtuse märk

rõhutab induktiivsuse positiivsust. Või teisel kujul $E_e = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$ (NB! Valemis on E_e asemel E_e , samal põhjusel, mis eespool). Ühe juhtmekeeru korral näitab induktiivsus magnetvoo muutust $\Delta\Phi$, mille tekitab selles keerus ühikuline voolutugevuse muutus ΔI . $L = \frac{\Delta\Phi}{\Delta I}$.

Induktiivsus kirjeldab laengukandjate liikumisel esinevat (magnetväljast tingitud) *inertsust* vaadeldavas juhis. Induktiivsuse tähendus elektrinähtuste kirjeldamisel on lähedane massi omale mehaanikas. Mõlemad iseloomustavad mingi keha inertsust. $[L]_{SI} = 1H$ (henri). 1 H on sellise juhi induktiivsus, milles voolutugevuse muutumine kiirusega 1 amper 1 sekundis põhjustab eneseinduktsiooni elektromotoorjõu 1 V. $1H = \frac{1V \cdot 1s}{1A} = \frac{1Wb}{1A}$.

Võnkering on induktiivpoolist L ja kondensaatorist C koosnev elektrihael, milles on võimalikud elektrivõnkumised ja mida kasutatakse raadiosagedusliku (harilikult 30 kHz – 300 MHz) filtrina.



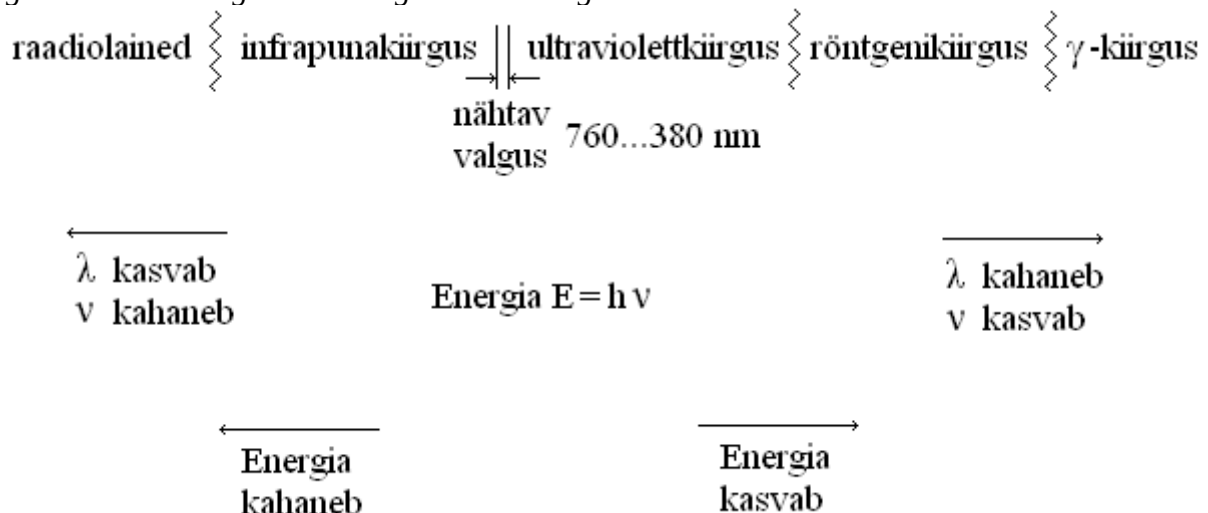
Kui laadida kondensaator, siis algavad võnkeringis elektromagnetvõnkumised, mille käigus muundub kondensaatori elektrivälja energia perioodiliselt induktiivpooli magnetvälja energiaks ja vastupidi. Võnkeperiood $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ – Thomsoni valem. Analoogia pendli võnkumisega on ilmne: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, kus l on pendli pikkus.

Vahelduvvool on elektrivool, mille voolutugevus perioodiliselt muutub, mis tähendab ka suuna vastupidiseks muutumist perioodiliselt. Laiatarbelise vahelduvvoolu I ja U muutuvad harmooniliselt, st siinus- ja koosinusseaduse järgi ning nende hetkväärtusi tähistatakse i ja u . $i = I_m \cdot \sin \omega t$ ja $u = I_m \cdot \cos \omega t$. Siinuse ja koosinuse argumenti ωt nimetatakse *faasiks*. *Sagedus* f tähendab võngete või pöörete arvu ajaühikus. $[f]_{SI} = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$. Ring- ehk *nurksagedus* ω näitab ajaühikus läbitavat faasinurka radiaanides. 1 pööre sisaldab 2π radiaani, st $\omega = 2\pi \cdot f$. $[\omega]_{SI} = 1 \frac{\text{rad}}{s}$. Euroopas $f = 50 \text{ Hz}$, st $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$.

4. kursus OPTIKA

Laineoptika

Valgus kui elektromagnetlaine selgub elektromagnetlainete skaalast:



Elektromagnetlaine, st ka valguslaine, sisaldab koostoimuvaid elektrivälja ehk E-vektori ja magnetvälja ehk B-vektori sinusoidaalseid võnkumisi, mis levivad ruumis edasi $E \perp B \perp v$.

Lainefront on pind, mille kõik punktid võnguvad samas faasis. Lainefront ja valguskiir on teineteisega risti.

Lainepikkus λ on valguslaine kahe samas faasis võnkuva lähima punkti vaheline kaugus. *Sagedus* f ehk ν võrdub laine täisvõngete arvuga ajaühikus. *Periood* T on aeg, mis kulub valguslainele λ läbimiseks. *Faas* määrab laine võnkeseisundi mingil hetkel. Valguslaine väljendatakse tavaliselt elektrilise komponendi ehk E-vektori kaudu $E = E_0 \sin \omega t = E_0 \sin 2\pi f t$, kus $2\pi f t$ on faas.

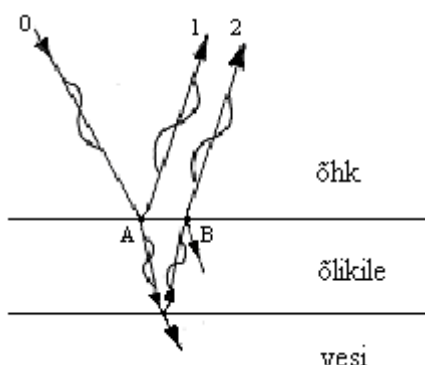
Valguse interferents on konkreetsete lainete liitumise tulemus vahelduvate maksimum- ja miinimumjoonte või triipude pildina, mis ajas ja ruumis ei muutu. NB! Igasugune lainete liitumine ei ole veel interferents. *Koherentsed ehk seostatud lained* on niisugused lained, mille faasivahe ajas ja ruumis ei muutu. *Valguse difraktsioon* on valguslainete paindumine tõkke taha, mis on sisuliselt interferentsi tulemus.

Meenutus eelmise aasta koolieksamist, kus üks küsimus puudutas just nimelt interferentsi:

Õlikile, seebimulli, putuka tiibade jt nähtuste "värvide" põhjendamine interferentsi abil.

Kui kohtuvad koherentsed ehk seostatud lained (lained, mille jõudmisel kohtumispunkti nende faasi vahe ajas ei muutu, tulgu neid sinna punkti kui tahes palju), on tegemist lainete liitumise erijuhuga, mida nimetatakse interferentsiks. Valguse interferents tähendab igal juhul lainete liitumist, aga iga lainete liitumine ei ole veel interferents!

Õlikile tekib tänaval siis, kui näiteks lombile valgub peale õli. Õli valgub veepinnal monomolekulaarseks kihiks. Õlikilele langeb valguslaine 0. Punktis A osa valgust peegeldub lainena 1, teine osa murdub õlisse ja üks osa sellest väljub lõpuks lainena 2. Lained 1 ja 2 levivad samas ruumi osas koos. Laine



2 on aga läbinud pikema maa kui laine 1, st laine 2 on lainest 1 mahajäänud faasis, st nad kohtuvad erinevates faasides. Tulgu laineid 0 nii palju kui tahes, kogu aeg on 1 ja 2 vahel sama faasinihe, st 1 ja 2 on koherentsed ehk seostatud.

Tänaval langeb asfaldile tavaliselt valge valgus, st liitvalgus, mis koosneb “värvidest”, st nii laine 1 kui ka laine 2 sisaldavad kõiki “värve”. Kui näiteks “punane” 1 ja “punane” 2 kohtuvad samas faasis ja tugevdavad teineteist, siis see koht näib meile punasena, sest teised värvid kas tugevdavad vähem või koguni nõrgendavad teineteist. Õlikile ei ole igal pool sama paks, järelikult naaberkohas võivad just näiteks “rohelised” 1 ja 2 kohtuda samas faasis ning seda kohta näeme rohelisena.

Valguse ja aine vastastikmõju

Valguskiir on geomeetiline mõiste, millest ka kiirteoptika paralleeltermin – geomeetiline optika. Valguskiir näitab valgusenergia levimise suunda.

Valguse sirgjoonelise levimise seadus: ühtlases (st homogeenses ja isotroopses) keskkonnas levib valgus sirgjooneliselt. Tõestuseks on punktvalgusallika poolt tekitatud varju terav piirjoon.

Peegeldumine: kui valguskiir jõuab mingi teise keskkonnani ja pöördub esimesse keskkonda tagasi, siis on tegemist peegeldumisega. Valgus võib peegelduda täielikult või osaliselt. Teisel juhul läheb osa valgust teise keskkonda ning nii ongi see tavaliselt kahe keskkonna piiril. Esimene juht on kõige täiuslikumalt täieliku sisepeegeldumise korral, kui valgus läheb optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse.

Langemisnurk, peegeldumisnurk, peegeldumisseadus: langev kiir, peegelduv kiir ja langemispunkti tõmmatud pinnanormaal asuvad ühes tasandis ning peegeldumisnurk võrdub langemisnurgaga. *NB!* Optikas mõõdetakse nurki pinnanormaali suhtes. Eristatakse peegeldumist (siledalt pinnalt) ja hajusat ehk difuusset peegeldumist (karedalt pinnalt, näiteks paberilt).

Tasapeegel on tasand, millelt valgus peegeldub. Kujutis on näiv, sest asub kiirte pikendustel tagasi peegli taga, sümmeetriliselt peegli suhtes.

Murdumine: kahe läbipaistva keskkonna lahtuspinnal valgus peegeldub ja *murdub*, st muudab levimissuunda.

Murdumisnurk, murdumisseadus: valguse langemisnurga α ja murdumisnurga γ siinuste suhe on kahe antud keskkonna puhul jääv suurus, mida nimetatakse murdumisinäitajaks n .

Absoluutne murdumisinäitaja on aine murdumisinäitaja vaakumi suhtes, st kui valgus tuleb vaakumist (ligikaudu ka õhust) mingisse keskkonda. Tavaliselt kasutataksegi ja on tabelites antud need (näiteks $n_{klaas} \approx 1,5$, $n_{vesi} \approx 1,33$).

Suhteline murdumisinäitaja on teise keskkonna absoluutse murdumisinäitaja n_2 suhe esimese keskkonna absoluutse murdumisinäitajasse n_1 .
$$n_s = \frac{n_2}{n_1}.$$

Dispersioon, spekter: aine absoluutne murdumisinäitaja sõltub valguse lainepikkusest (või sagedusest), st valge valgus, mis on liitvalgus ehk koosneb erineva lainepikkusega λ valgustest (värvidest), jaguneb murdumisel vikerkaarevärviliseks spektriks. Seda nähtust nimetatakse dispersiooniks. Tavaliselt murdumisinäitaja väheneb lainepikkuse suurenedes, st punane valgus murdub vähem kui violetne valgus.

Näiv kujutis tekib siis, kui kujutise saamiseks lõikavad kiirte pikendused (tagasisuunas punktiirjoontena, näiteks luubi või tasapeegli puhul).

Tõeline kujutis tekib siis, kui kujutise saamiseks lõikuvad kiired ise, pidevate joontena.

Kvantoptika

Footon. Valgust vaadeldakse kiirtena (kiirteoptika ehk geomeetiline optika), lainetena (laineoptika) ja osakestena ehk kvantidena (portsjonitena). Igasugust kiirgust võib vaadelda kvantidena. Valguskvante nimetatakse footoniteks.

Footoni energia ja sageduse vaheline seos: $\varepsilon = h \cdot f$, kus $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ on Plancki konstant ja f valguslaine sagedus. Mida suurem sagedus, seda suurem energia. Raadiolainete sagedus on kõige väiksem, st energia kõige väiksem, γ -kiirguse sagedus kõige suurem, st energia kõige suurem, elusorganismidele kõige kahjulikum (purustavam).

Fotoefekt ehk valguse mõju on 1889 Heinrich Hertzi poolt avastatud esimene kvantoptika nähtus, kus valguse langemisel metalli pinnale löödi sealt välja negatiivne laeng.

Einsteini valem fotoefekti kohta. Alles 1905 õnnestus Albert Einsteinil selgitada fotoefekti olemust

ja esitada fotoefekti teooria põhivalemina $h \cdot f = A + \frac{m \cdot v^2}{2}$ ehk sõnades – metalli pinnale langeva

footoni energia $h \cdot f$ kulub elektroni väljalöömise tööks A ja sellele elektronile kineetilise energia $\frac{m \cdot v^2}{2}$ andmiseks. Meenutame, et 1889 valitses täielikult laineoptika, aga laineoptikaga pole

põhimõtteliselt võimalik fotoefekti kui kvantoptika nähtust selgitada. Ka elektron ei olnud siis veel teada (avastati 1897).

Väljumistöö. Elektronil endal ei ole metallis energiat piisavalt, et väljuda metallist, sest väljumiskohal tekib ju kohe laengu ülejääk, millega tõmmatakse elektron tagasi. Kui aga elektron saab metalli pinnal energiat sinna langevalt footonilt, siis ta võib sealt lahkuda. Footon teebki sel juhul väljumistöö A .

Fotoefekti punapiir. Einsteini võrrandist on näha, et fotoefekt saab esineda vaid juhul kui $h \cdot f > 0$, st kui footonil jätkub energiat väljalöömise tööks või on seda ülegi. Piirsagedust f_p , mille puhul $h \cdot f_p = A$, st fotoefekt võib toimuda, nimetatakse fotoefekti punapiiriks või ka pikalainepiiraks.

Fotoefekti liike on kolm. Siin esitatud nimetatakse välisfotoefektiks. Esinevad veel ka sisefotoefekt (pooljuhtseadmetes) ja tõkkekihtfotoefekt (päikesepatareides).

5. kursus AINE STRUKTUUR

Aatomifüüsika

Bohri aatomimudel. 1911 esitas Ernest Rutherford aatomi planetaarse mudeli, millega kaasnesid kohe raskused. 1913 esitas Nils Bohr aatomimudeli, mis osutus vahepealseks üleminekumudeliks mehhanistlikult mudelilt tänapäevasele aatomimudelile. Bohri aatomimudel on positiivne tuum, nagu Rutherfordi mudeliski, aga elektronid saavad viibida vaid kindlatel, nn statsionaarsetel orbiitidel, kus nad ei kiirga ega neela energiat. Rutherfordi mudeli põhiraskuseks oligi see, et tiirlevad elektronid peavad kesktõmbekiirenduse tõttu energiat kiirgama ($a \rightarrow F \rightarrow A$).

Peakvantarv n tähistab elektroni statsionaarse orbiidi järjekorranumbrit, millega on määratud elektroni energia aatomis.

Energianivoo on peakvantarvule n vastav energieetiline väärtus.

Bohri postulaadid. Aksioom on ilmselge tõestust mittevajav väide. Postulaat on mittetõestatav väide. Postuleerida võib kõike. Mis aga postulaadist edasi saab, ei ole esialgu selge. Postulaate ei kritiseerita. Postulaatidele ehitatakse üles teooria, mille ülesehitamist võib kritiseerida. Kui aga valminud teooria osutub kooskõlas olevaks eksperimendiga, siis osutuvad postulaadid teooria järeldusteks, st õigeteks. Bohr postuleeriski klassikalisele füüsikale vastuvõtmatud „hullumeelsed“ ideed:

1. *statsionaarsete olekute postulaat* – aatom võib viibida ainult kindlate energiatega olekutes
2. *lubatud orbiitide postulaat* – elektronid aatomis võivad asetseda ainult kindlatel orbiitidel, mis on määratud aatomi statsionaarsete olekutega
3. *kiirguse postulaat* – üleminekul ühest statsionaarsest olekust teise aatom kiirgab või neelab energiakvanti

Bohrile tagas edu seose nägemine kahe raskuse vahel: juba nimetatud raskus Rutherfordi planetaarse aatomimudeliga ning võimetus põhjendada spektri joonte seaduspära.

Valguse kiirgumine, valguse neeldumine. Elektroni langemine aatomis kaugemalt orbiidilt lähemale orbiidile tähendab valguskvanti kiirgamist aatomist ja elektroni üleminek lähemalt orbiidilt kaugemale orbiidile toimub siis, kui aatom neelab energiat. Viimast nimetatakse aatomi ergastamiseks.

Tahkiste struktuur

Energiatasemed tahkises. Tahkis \neq tahke keha, kuigi on levinud ka nende samastamine. Tahked kehad jagunevad kristallilisteks (keedusool NaCl, jää, metall) ja amorfseteks (klaas). Kristallilised kehad on tahkised. Amorsed kehad on põhimõtteliselt vedelikud väga suure viskoossusega.

Kristallides on aatomid või ioonid paigutunud korrapärase ruumvõrena. Naaberaatomite välised elektronkatted mõjutavad üksteist. Selle tulemuseks tahkistes on, et aatomite väliskihi elektronide ehk valentsielektronide energiatasemed muunduvad mitme elektronvoldi laiusteks *energiatsoonideks* ($1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Tahkistes tekivad ühistatud elektronid, mis kuuluvad kogu kristallile. Ka tsoonid on ühised kogu kristallile. Energiatsoonis on alatasemete energiate vahe suurusjärgus 10^{-22} eV , st üliväike ning elektronide siirdumine ühelt alatasemelt teisele on lihtne kogu energiatsooni ulatuses. Eristatakse *lubatud* energiatsoone ja *keelutsoone*. Lubatud tsoonis saavad elektronid olla, aga keelutsoonis mitte. Lubatud tsoonid on lahutatud omavahel keelutsoonidega. Probleem on selles, kas elektronil on piisavalt energiat, et keelutsoonist üle hüpata ühest lubatud tsoonist teise. Selle põhjal eristataksegi metalle, pooljuhte ja dielektrikuid.

Metallides on valentsielektronide energiatsoon vaid osaliselt elektronide poolt hõivatud. Vabade tasemete olemasolu tõttu saavad elektronid tõusta tsooni hõivamata ossa, võttes elektrivoolu põhjustavalt elektriväljalt lisaenergiat. Elektronid saavad liikuda ja seetõttu ongi metallid head elektrijuhid.

Dielektrikutes ehk isolaatorites on valentsielektronide energiatsoon elektronidega täielikult hõivatud. Elektronidel puudub liikumisvabadus, sest pole vabu naabertasemeid. Järgmine lubatud energiatsoon paikneb lootusetult laia (kuni 10 eV) keelutsooni taga. Elektrivoolu ei saa tekkida.

Pooljuhtides on valentsielektronide energiatsoon ehk *valentsitsoon* küll elektronidega täielikult hõivatud kuid keelutsoon on palju kitsam (1-2 eV) kui dielektrikutes. Elektronid suudavad minna valentsitsoonist järgmisse lubatud tsooni ehk juhtivustsooni, jättes valentsitsooni maha täitmata elektronseisundeid ehk *auke*, mis käituvad nagu positiivse laenguga osakesed, st võtavad ka osa elektrijuhtivusest. Paar elektron-auk võib pooljuhis tekkida näiteks pealelangeva valguse footoni arvel. Sellest ka nimetus pooljuht, sest tema elektrijuhtivus on muudetav mingi välisteguri (valgus, temperatuur) mõjul.

Tuumafüüsika

Aatomituum on aatomi keskel asuv aatomi koostisosa, mille läbimõõt on 100 000 korda väiksem aatomi läbimõõdust, kuid seal on peaaegu kogu aatomi mass. Seega on aatom üks suur tühjus, kus võib olla ainult kümneid tühise massiga elektrone. Aatomituum koosneb prootonitest ja neutronitest.

Prooton ja neutron on tegelikult ühe ja sama osakese nukleoni kaks erinevat olekut. Kui prooton neelab elektroni, siis laengud kompenseeruvad ja saame neutroni, mille mass on elektroni tühise massi võrra suurem ($m_{pn} \approx 1838m_e$). Ja vastupidi, kui neutron väljastab elektroni, saame prootoni. Prooton ja neutron on elementaarosakesed, kusjuures prooton on ka vesiniku aatomi tuumaks. Vaba neutroni eluiga on 15,3 minutit. Seetõttu ei ole looduses vabu neutroneid, kuid neid saab tuumareaktsioonidega.

Massiarv on prootonite ja neutronite koguarv $A = Z + N$.

Isotoobid on ühe ja sama elemendi teisendid, millel on erinev neutronite arv, st ka erinev massiarv. Laeng Z on sama, st järjekorranumber Mendelejevi tabelis sama.

Radioaktiivsuseks nimetatakse mingit liiki osakeste iseeneslikku kiirgumist tuumadest. Kui tuumast lahkuvad α -osakesed ehk heeliumi aatomi tuumad, mis sisaldavad kahte prootonit ja kahte neutronit, siis on tegemist α -radioaktiivsusega. Kaasneb alati ka γ -kiirgus. Kui tuumast väljub kiirete elektronide voog ($v \approx 0,99c$), siis on tegemist β -radioaktiivsusega, kusjuures tuumas muundub üks neutron prootoniks. γ -kiirgus on seni kõige lühilainelisem ja kõige läbitungivam kiirgus.

Poolestusajaks nimetatakse aega, mille jooksul vaadeldavate radioaktiivsete tuumade arv väheneb pooleni esialgsest.

Seoseenergia on energia, mis tuleb anda tuumale selleks, et tuuma lõhkuda üksikuteks nukleonideks. NB! Tuuma mass ei ole võrdne üksikute vabade nukleonide masside summaga. Seda erinevust (st nukleonide summaarse massi ja tuuma massi vahet) nimetati algul *massidefektiks* Δm .

Hiljem, kui Einstein avastas energia ja massi ekvivalentsuse (samaväärsuse) valemina $E = m \cdot c^2$ ja $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, sai selgeks, et mingit defekti ei ole, vaid see masside erinevus ehk energiatega erinevus ongi seoseenergia.

Tuumareaktsioon on aatomituumade muutumine vastastikmõjus mingi osakese või teise tuumaga. Tuumareaktsioonides kehtivad:

1. energia jäävuse seadus
2. impulsi jäävuse seadus
3. massiarvu jäävuse seadus (ülemised indeksid)
4. laenguarvu jäävuse seadus (alumised indeksid)

Tuumareaktsioone kirjeldatakse võrranditega nagu keemiaski. Seal võib samuti energia eralduda või neelduda, aga tuumareaktsioonides miljoneid kordi rohkem kui keemilistes reaktsioonides.

6. kursus KOSMOLOOGIA.

NÜÜDISAEGNE FÜÜSIKALINE MAAILMAPILT

Päike – Päikesesüsteemi tsentraalkeha, hõõguv gaasikera, tohutu kiirgusvõimsus tekib termotuumareaktsioonides tsentraalosas.

Päikesesüsteem koosneb Päikesest, selle ümber tiirlevatest *planeetidest*, nende ümber tiirlevatest *kuudest* ehk *kaaslastest*, valdavalt Marsi ja Jupiteri vahel tiirlevatest korrapärase kujuga *asteroidide* vööst, põhiliselt Päikesesüsteemi perifeerias, aga mõnikord ka Päikese lähedusse jõudvatest *komeetidest*, juhuslikult liikuvatest *meteoorkehadest* (massiga milligrammidest tonnideni), mis Maa atmosfääri sattudes põlevad meteooridena (maapinda tabades saavad nime meteoriidid).

Maa *tiirleb* ümber Päikese ja *pöörleb* ümber oma telje, pöörlemistelg on $23^{\circ}27'$ kaldu orbiidi tasandi normaali suhtes. Telje kalle säilib Maa tiirlemisel ning sellest on tingitud aastaajad.

Kogu Päikesesüsteem on ligikaudu samas tasandis ning sellest tulenevalt on aeg-ajalt *kuu-* ja *päikesevarjutused*. *Valgusaasta* ei ole ajaühik, vaid kaugus ühik, so kaugus, mille valgus läbib ühe aastaga. *Galaktikad* on tähesüsteemid (3-4 liiki oma kuju poolest). Meie *Galaktika* on kettakujuline spiraalgalaktika, kus on 100-200 miljardit tähte ehk päikest. *Linnutee* on Galaktika projektsioon taevavõlvil. *Tähed* on päikesed. Meie Päike on tüüpiline täht. *Tähtede evolutsioon* ilmneb HR-diagrammil. *Universumi evolutsioon* seisneb tema tekkimises *Suure Paugu* tagajärjel, paisumise Hubble'i seaduse järgi ja praegu prognoositavas tulevikus.