



Füüsika
metoodilised
juhendid
ja kontrolltööde
ülesanded

insener-majandus-
erialade
kaugüliõpilastele

A-31169

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT

Füüsika kateeder

FÜÜSIKA METOODILISED JUHENDID JA KONTROLLTÖÖDE
ÜLESANDED INSENER-MAJANDUSERIALADE
KAUGÜLIÕPILASTELE

18281

Tallinn
1970

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра физики

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ
РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

На эстонском языке

Heaks kiidetud kateedri koos-
olekul 18. dets. 1969.a.

F₂



78381

ARHIIVKOGU

Vastutav toimetaja G. Peets

Trükkimisele antud 17.IV 1970. Paber 60x84/16.
Trükipg. 10,25. Tingp. 9,53. Tiraaz 500.Tell.209
TPI rotaprint, Tallinn, Koskla 2/9.

Tasuta

1. Sissejuhatus

=====

Füüsika on teadus looduse kõige üldisematest seadustest. Sellepärast on füüsikal esmajärguline tähtsus materialistliku maailmavaate kujundamisel. Füüsikal baseeruvad kõik tehnilised teadused. NLKP kongressidel on korduvalt rõhutatud, et tehnilise arengu perspektiivid on seotud füüsika peamiste suundade arenguga.

Füüsikakursuse ülesandeks on anda üliõpilastele teatud hulk teoreetilisi teadmisi, mida võib kasutada oma eriala õppimisel; tutvustada üliõpilasi kodu- ja välismaa füüsikute saavutustega; õpetada üliõpilasi rakendama õpitud seadusi konkreetsete ülesannete lahendamiseks; näidata neile uurimismeetodeid, mida läheb vaja inseneril praktilises tegevuses. Arendada üliõpilastes võimet ja püüdlust analüüsida ja mõista tehnikas kasutatavate nähtuste füüsikalist sisu.

Kaugõppeosakonna üliõpilaste töö füüsika õppimisel koosneb osavõtust loengutest, konsultatsioonidest ja laboratoorsetest tööd. Suurem osa füüsikakursusest tuleb omandada õpikute, ülesannete lahendamise ja kontrolltööde sooritamise abil. Arusaamatuks jäänud küsimuste selgitamiseks pöördub üliõpilane õppejõu poole kas suulise või kirjaliku konsultatsiooni saamiseks.

2. Töö õpikuga =====

1. Tuleb kindlaks määrata, milline materjal missuguse aja vältel läbi töötada. Õppida tuleb süstemaatiliselt iga päev.

2. Programmis esinevad küsimused tuleb raamatu abil täielikult läbi töötada.

3. Kui raamatus esitatud materjali järjekord ei ühti programmis esitatud järjekorraga, siis loogilise seose säilitamiseks tuleb kinni pidada raamatu autori esitusviisist.

4. Õppimisel tuleb kasutada võimalikult ühte valitud õpikut. Mitme õpiku samaaegsel kasutamisel kaob loogiline seos üksikute küsimuste vahel, kuid programmis nõutavate küsimuste puudumisel valitud õpikus tuleb need õppida teistest õpikutest.

5. Lugemisel on vaja põhjalikult tunda õppida küsimuste kvalitatiivset (nähtuste kirjeldamine, tingimused, millistes nad esinevad, aparaatide kirjeldused) ja ka kvantitatiivset külge. Selleks on vaja teistkordsel lugemisel tuletada valemid iseseisvalt ning joonistada ka graafikud. Füüsikat matemaatilisest küljest käsitledes ei tohi füüsikalist sisu tagaplaanile jätta, vaid seda tuleb õppida nägema igas valemis. Soovitav on teha lühike konspekt. Tuleb tähelepanu pöörata seaduste ja definitsioonide täpsele formuleerimisele ning füüsikaliste suuruste mõõtmiseks kasutatavatele mõõtühikutele.

6. Lugeda täiendavat kirjandust ja täiendada konspekti.

3. Ülesannete lahendamine =====

Õpikus toodud materjali sügavam mõistmine on võimalik ainult ülesannete lahendamise teel, mis on seotud vasta-va teoreetilise osaga. Ülesande lahendamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata mõõtühikutele. Füüsikas on kasutamisel

mitu ühikute süsteemi. Valemis esinevad füüsikalised suurused tuleb avaldada kõik ühes ja samas mõõtühikute süsteemis.

Ülesannete lahendamisel on vaja kinni pidada järgmistest juhistest.

1. Ülesande sisu selgitamiseks teha skemaatiline joonis (kui see on mõeldav).
2. Selgitada seadused, millele baseerub lahenduskaik.
3. Teha lahenduskaik alguses üldkujul, tähistega. Valemitetele peavad kaasnema lühikesed ja selged seletused.
4. Kui on saadud lõppvalemid, tuleb teha valik mõõtühikute süsteemi kohta, mis peab olema kõige kohasem antud ülesande korral. Eelistatult tuleb kasutada SI-süsteemi! Kõik suurused lõppvalemis väljendada valitud süsteemi mõõtühikutes.
5. Näidata lõpptulemuse mõõtühik, s.o. lõppvalemis esinevate suuruste tähiste asemele panna nende mõõtühikute avaldised ja leida niiviisi lõpptulemuse mõõtühik.

4. Kontrolltöö =====

Kontrolltööd võib sooritada alles pärast kontrolltööle vastava teoreetilise osa ja antud meetodilises juhendis toodud näidisülesannete läbitöötamist ning iseseisvaks lahendamiseks toodud ülesannete lahendamist.

Kontrolltöö koostamisel tuleb silmas pidada järgmisi juhendeid.

1. Kontrolltöö tuleb kirjutada puhtalt ja arusaadavalt tindiga.
2. Ülesande tekst tuleb täielikult välja kirjutada.
3. Ülesande lahendamisel tuleb loetleda kõik antud füüsikalised suurused, samuti ka lahendamisel sissetoodud suurused, formuleerides nende füüsikalise või geomeetrilise sisu.
4. Ülesande lahendus peab olema varustatud seletustega ja joonistega, mis vastavad lähteandmetele ja tulemustele.
5. Retsensendi poolt saadud märkustega varustatud töö tuleb üliõpilasel parandada ja retsensendi nõudmisel saata

parandatud töö (samam vihis) teistkordseks läbivaatamiseks.

6. Korratult ja lohakalt tehtud tööd, mis ei vasta nõuetele, ei kuulu retsenseerimisele.

7. Kontrolltöid mittesooritanud üliõpilasi ei lubata vastava kursuse eksamile.

8. Igal üliõpilasel tuleb sooritada kogu füüsikakursuse ulatuses 6 kontrolltööd. Metoodilises juhendis toodud kontrolltööde ülesannetest tuleb üliõpilasel lahendada variant, mille tähis vastab õppemärkmiku numbri kahele viimasele arvule. Vastused võib arvutada lükatiga.

9. Kontrolltööd kirjutatakse koolivihikusse, mille esikaanel peavad olema järgmised andmed (näide):

Füüsika kontrolltöö nr. 1

TPI Kaugõppeteaduskond - Narva ÕKP

Järv, Jüri

tööstusökonoomika

Matr. 642506

Kui kontrolltöö saadetakse postiga, siis tuleb lisada veel aadress.

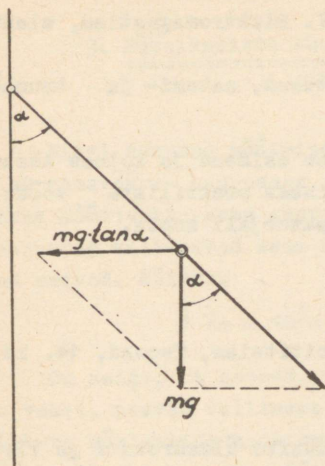
10. Kontrolltöö ülesannete lahendamise näide.

Ülesanne nr.

Niidi otsa seotud raskus pöörleb horisontaaltasapinnas mööda 10 cm raadiusega ringjoont, tehes 1 pöörde sekundis. Millise nurga moodustab niit vertikaaliga?

Lähteandmed: $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$
 $n = 1 \frac{\text{p}}{\text{s}}$

Tähistame raskusjõu $P = mg$, kus m on raskuse mass ja g vabalangemise kiirendus. Pöörlemist põhjustavaks tsentripetaaljõuks on raskusest tingitud horisontaalkomponent.



Joon. 1.

$$mg \tan \alpha = m \omega^2 R,$$

nurkkiirus $\omega = 2\pi n$.

Seega

$$\tan \alpha = \frac{m \omega^2 R}{mg} = \frac{4\pi^2 n^2 R}{g},$$

$$\tan \alpha = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 12 \cdot 0,1}{9,81} =$$

$$= 0,403 \left[\frac{1 \cdot m}{s^2 \cdot \frac{m}{s^2}} = 1 \right].$$

$$\alpha = 22^\circ.$$

Vastus: vertikaaliga moodustuv nurk on 22° .

5. Laboratoorsed tööd

Füüsika praktikumis õpitakse tundma mõõteaparatuuride käsitsemist ja füüsikalisi mõõtmismeetodeid.

Pärast laboratoorsete tööde vormistamist peab üliõpilane sooritama arvestuse.

6. Loengud

Füüsika loengute ülesandeks on juhtida üliõpilaste tähelepanu füüsika põhialustele ja olulistele seadustele. Loengutel esitatav materjali hulk sõltub loenguteks planeeritud tundide arvust.

7. Eksamid

Füüsikas tuleb vastavalt õppeplaanidele sooritada 2 või 3 eksamit. Kolme eksami korral on materjali jaotus järgmine.

1. Mehaanika füüsikalised alused. Molekulaarfüüsika ja termodünaamika.

2. Elektrostaatika, alalisvool. Elektromagnetism, elektromagnetilised lained.

3. Optika. Kvantoptilised nähtused, aatomi- ja tuumafüüsika elemente.

Kahe eksami korral sooritatakse esimene ja kolmas eksam. Teise eksami asemel on vaja anda lisaks praktiliste tööde arvestusele arvestus teoreetilise materjali kohta.

8. Kirjandus

=====

V, I. Lenin. Materialism ja empiriokrititsism, Teosed, 14. kd., V ptk.

K. Putilov. Füüsika I.

J. Lang, H. Marran, A. Mürk, A. Pae. Füüsika üldkursus I ja II.

J. A. Strauf. Füüsika II.

M. I. Korsunski. Füüsika III.

K. Schults. Füüsika.

K. Schults. Elektromagnetilised võnkumised ja lained.

K. Schults. Valguse polarisatsioon.

J. Lang, G. Mets, A. Pae. Füüsika praktikum I.

K. Schults. Mõõtühikud füüsikaliste suuruste mõõtmiseks.

Rahvusvaheline mõõtühikute süsteem - SI.

Е. А. Штрауф. Курс физики I, II.

Б. М. Яворский и др. Лекции по курсу физики I и II.

М. И. Корсунский. Оптика. Строение атома. Атомное ядро.

И. В. Савельев. Курс общей физики I, II.

Г. А. Зисман, О. М. Тодес. Курс общей физики I, II, III.

А. А. Чечулин. Волновые процессы, оптика, ядерная физика.

Геворкян, Шепель. Курс общей физики, 1959.

В. С. Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики, Гостехиздат, 1958.

А. Г. Чертов. Международная система единиц измерения.

9. Füüsikaliste suuruste mõõtmise mõõtühikute
süsteemidest

Mingi suuruse mõõtmine tähendab selle suuruse võrdlemist samaväärse suurusega, mis on võetud mõõtühikuks. Praktikas mõõdetakse sama suurust mitmesugustes mõõtühikutes. Seejuures valitsevad sama suuruse mõõtühikute vahel kindlad seosed. Näiteks

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m} = 10^5 \text{ cm} = 10^9 \mu\text{m} = 10^{13} \text{ \AA}.$$

On selge, et seosed, mis valitsevad füüsikaliste suuruste vahel, peavad valitsema ka nende mõõtühikute vahel. Mõõtühikute süsteemide koostamisel võetakse aluseks selliste füüsikaliste suuruste mõõtühikud, millede vahel ei valitse otsest seost. Näiteks mass, aeg, pikkus. Selliseid füüsikalisi suurusi nimetatakse põhisuurusteks ning nende mõõtühikuid põhiühikuteks. Füüsikalisi suurusi, mis on defineeritavad põhisuuruste kaudu, nimetatakse tuletatud suurusteks ning vastavaid mõõtühikuid tuletatud ühikuteks.

Kiiruseks nimetatakse füüsikalist suurust, mis näitab ajaühikus läbitud teed, $v = \frac{s}{t}$. Kui pikkust mõõta meetrites ja aega sekundites, siis kiiruse mõõtühikuks tuleks $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Juhul kui aga kiirust tahame saada $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, tuleb valemisse võrdetegur, mis eespool oli võrdne ühega.

$$v = 3,6 \frac{\text{s}}{\text{t}} \frac{\text{km}}{\text{h}}, \text{ kus } s \text{ on väljendatud meetrites ja aeg sekundites.}$$

Tavaliselt võetakse mõõtühikute defineerimisel võrdetegur võrdseks ühega. Mõningatel juhtudel, kui füüsikaliste suuruste mõõtühikud on varem defineeritud, on võrdeteguril paratamatult ühest erinev väärtus. Näiteks gravitatsiooniseaduses

$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ on võrdetegur } \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}.$$

Alates 1963.a. kasutatakse füüsikaliste suuruste mõõtmiseks eelistatult rahvusvahelist mõõtühikute süsteemi - SI. Selle süsteemi põhiühikuteks on meeter, kilogramm, sekund, amper, Kelvini kraad ja kandela.

Mehaaniliste suuruste mõõtmiseks kasutatakse peale SI-süsteemi järgmisi süsteeme.

1. MKS-süsteem (praktiline). Põhiühikuteks on meeter, kilogramm, sekund. MKS-süsteem ühtib SI-süsteemiga, kuna põhiühikud on samad.

2. CGS-süsteem (füüsikaline). Põhiühikuteks on sentimeeter, gramm, sekund.

3. MKGS-süsteem (tehniline). Põhiühikuteks on meeter, jõukilogramm, sekund.

Järgnevas tabelis on esitatud kasutatavamate mehaaniliste suuruste mõõtühikud.

Suuruse nimetus	Valem	SI	CGS	MKGS
Pikkus	l	m	cm	m
Aeg	t	s	s	s
Kiirus	$v = \frac{l}{t}$	$\frac{m}{s}$	$\frac{cm}{s}$	$\frac{m}{s}$
Kiirendus	$Q = \frac{v}{t}$	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{cm}{s^2}$	$\frac{m}{s^2}$
Mass	$m = \frac{F}{a}$	kg	g	$\frac{kgf \cdot s^2}{m} = mtü$
Jõud	$F = ma$	$\frac{kg \cdot m}{s^2} = N$	$\frac{g \cdot m}{s^2} = dyn$	kgf
Rõhk	$p = \frac{F}{S}$	$\frac{N}{m^2}$	$\frac{dyn}{cm^2}$	$\frac{kgf}{m^2}$
Tihedus	$\rho = \frac{m}{V}$	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{g}{cm^3}$	$\frac{mtü}{m^3}$
Erikaal	$e = \frac{F}{V}$	$\frac{N}{m^3}$	$\frac{dyn}{cm^3}$	$\frac{kgf}{m^3}$
Impulss ja liikumishulk	$Ft = mv$	$N \cdot s = \frac{kg \cdot m}{s}$	$dyn \cdot s = \frac{g \cdot cm}{s}$	$kgf \cdot s = mtü \cdot \frac{m}{s}$
Töö	$A = Fl$	$N \cdot m = J$	$dyn \cdot cm = erg$	kgf · m
Võimsus	$N = \frac{A}{t}$	$\frac{J}{s} = W$	$\frac{erg}{s}$	$\frac{kgf \cdot m}{s}$

Suuruse nimetus	Valem	SI	CGS	MKGS
Inertsimoment	$I = mr^2$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	$\text{g} \cdot \text{cm}^2$	$\text{mtü} \cdot \text{m}^2 = \text{kgf} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$
Jõumoment	$M = Fl$	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{dyn} \cdot \text{m}$	$\text{kgf} \cdot \text{m}$
Nurkkiirus	$\omega = \frac{\varphi}{t}$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$
Nurkkiirendus	$\varepsilon = \frac{\dot{\varphi}}{t}$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$	$\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$
Impulsimoment ja poorlemishulk	$Mt = I\omega$	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$	$\text{dyn} \cdot \text{cm} \cdot \text{s} = \frac{\text{g} \cdot \text{cm}^2}{\text{s}}$	$\text{kgf} \cdot \text{m} \cdot \text{s} = \frac{\text{mtü} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$

Elektriliste suuruste mõõtmisel kasutatakse järgmisi süsteeme.

1. SI-süsteem. Selle süsteemi elektriliste mõõtühikute loomisel lähtutakse voolutugevuse ühikust amprist, mis on määratud rahvusvahelise kokkuleppe alusel. SI-süsteemi kasutatakse koos ratsionaliseeritud valemitega. Ratsionaliseerimine seisneb selles, et teatud kindlates valemites jäetakse ära suurus 4π . Ratsionaliseeritud valemid võib saada mitte-ratsionaliseeritud valemitest, kui kasutatakse järgmisi üleminekuid:

$$\varepsilon^{\text{SI}} = \frac{\varepsilon}{4\pi}, \quad D^{\text{SI}} = \frac{D}{4\pi},$$

$$\mu^{\text{SI}} = 4\mu \quad \text{ja} \quad H^{\text{SI}} = \frac{H}{4\pi},$$

kus ε on elektriline läbitavus,

D - elektriline induksioon (elektriline nihe),

μ - magnetiline läbitavus ja

H - magnetvälja tugevus.

Ratsionaliseeritud suurused on märgitud tärnikestega. Näiteks:

	Mitteratsionaliseeritud valem	Ratsionaliseeritud valem
Coulombi seadus	$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon \cdot r^2}$	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon^* r^2}$
Plaatkondensaatori mahtuvus	$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$	$C = \frac{\epsilon^* S}{d}$
Sirgvoolu magnetvälja tugevus	$H = \frac{2 I}{r}$	$H^* = \frac{I}{2\pi r}$

Elektriline läbitavus $\epsilon^* = \epsilon_0^* \epsilon_s$, kus ϵ_0^* on tühjuse elektriline läbitavus (elektriline konstant) ja ϵ_s keskkonna suhteline elektriline läbitavus.

$$\epsilon_0^* = \frac{10^7}{4\pi \cdot c^2} = \frac{10^{-9}}{36\pi} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}.$$

c on valguse kiirus tühjuses. ϵ_s on mõõtühikuta suurus. Magnetiline läbitavus $\mu^* = \mu_0^* \mu_s$, kus μ_0^* on tühjuse magnetiline läbitavus (magnetiline konstant) ja μ_s keskkonna suhteline magnetiline läbitavus. $\mu_0^* = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} \cdot \mu_s$ on mõõtühikuta suurus.

2. MKSA-süsteemi põhiühikud ühtivad SI-süsteemi põhiühikutega. MKSA-süsteemi kasutatakse enamasti koos ratsionaliseeritud valemitega (elektrotehnikas). Kuid füüsikas leiab ta kasutamist ka koos mitteratsionaliseeritud valemitega.

3. CGSE-süsteem. Selle süsteemi loomisel lähtutakse Coulombi seadusest

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2},$$

mille abil defineeritakse laenguühik (lÜ). Kui võrdetegur $k = 1$, $q_1 = q_2 = q$, $r = 1 \text{ cm}$, $F = 1 \text{ dyn}$ ja laengud asuvad tühjuses ($\epsilon = 1$), siis $q = 1 \text{ lÜ}$.

4. CGSM-süsteem. Selle süsteemi loomisel lähtutakse Coulombi seadusest magnetlaengute vahel valitseva jõu kohta.

5. CGS-(Gaussi) süsteem. Gaussi süsteemis on nii elektriline kui ka magnetiline konstant võetud mõõtühikuta ja ühega võrdseks suuruseks, $\epsilon_0 = \mu_0 = 1$. Selle tulemusena esineb valemites, mis sisaldavad nii elektrilisi kui ka magnetilisi suurusi, võrdetegur, mida nimetatakse elektrodünaamiliseks konstandiks (c) ning mis on võrdne valguse kiirusega tühjuses. Näiteks sirgvoolu magnetvälja tugevuse valem Gaussi süsteemi kasutamisel oleks $H = \frac{1}{c} \frac{2I}{r}$.

Järgmises tabelis on toodud mõõtühikutevahelisi seoseid (tabelis $c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$).

Suuruse nimetus	Tähis	Seos SI, CGSE ja CGSM vahel
1	2	3
Voolutugevus	I	$1 \text{ A} = 3 \cdot 10^9 \text{CGSE}_I = 0,1 \text{ CGSM}_I$
Elektrihulk	q	$1 \text{ C} = 3 \cdot 10^9 \text{lÜ} = 0,1 \text{ CGSM}_I$
Pinge	U	$1 \text{ V} = \frac{1}{300} \text{pÜ} = 10^8 \text{CGSM}_U$
Takistus	R	$1 \Omega = \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} \text{CGSE}_R = 10^9 \text{CGSM}_R$
Mahtuvus	C	$1 \text{ F} = 9 \cdot 10^{11} \text{cm} = \frac{1}{10^9} \text{CGSM}_C$
Elektrivälja tugevus	E	$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = \frac{1}{3 \cdot 10^4} \frac{\text{pÜ}}{\text{cm}} = 10^6 \text{CGSM}_E$
Elektriline induktsioon	D	$1 \frac{\text{C}^*}{\text{m}^2} = 4\pi \frac{\text{C}}{\text{m}^2} = 3,77 \cdot 10^6 \frac{\text{lÜ}}{\text{cm}^2} =$ $= 1,26 \cdot 10^{-4} \text{CGSM}_D$
Magnetvälja tugevus	H	$1 \frac{\text{A}^*}{\text{m}} = 4\pi \frac{\text{A}}{\text{m}} = 3,77 \cdot 10^8 \text{CGSE}_H =$ $= 1,26 \cdot 10^{-2} \text{Oe}$

1	2	3
Elektriline läbitavus	ϵ	$1 \frac{F^{\text{MK}}}{m} = 4\pi \frac{F}{m} = 1,13 \cdot 10^{11} \text{ CGSE}_{\epsilon} =$ $= 1,25 \cdot 10^{-10} \text{ CGSM}_{\epsilon}$
Magnetiline induktsioon	B	$1 \text{ T} = \frac{1}{3 \cdot 10^6} \text{ CGSE}_B = 10^4 \text{ Gs}$
Magnetvoog	ϕ	$1 \text{ Wb} = \frac{1}{300} \text{ CGSE}_{\phi} = 10^8 \text{ Mx}$
Induktiivsus	L	$1 \text{ H} = \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} \text{ CGSE}_L = 10^9 \text{ cm}$
Magnetiline läbitavus	μ	$1 \frac{H^{\text{MK}}}{m} = \frac{1}{4\pi} \frac{H}{m} = 8,84 \cdot 10^{-16} \text{ CGSE}_{\mu} =$ $= 7,96 \cdot 10^5 \text{ CGSM}_{\mu}$

* Ratsionaliseeritud valemite kasutamisel.

10. Mõõtühikutevahelisi seoseid =====

1. Pikkus

$$\begin{aligned}
 1 \mu &= 10^{-6} \text{ m} = 10^{-4} \text{ cm}, \\
 1 \text{ m}\mu &= 10^{-3} \mu = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}, \\
 1 \text{ \AA} &= 0,1 \text{ m}\mu = 10^{-4} \mu = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}.
 \end{aligned}$$

2. Mass

$$\begin{aligned}
 1 \text{ t} &= 10^3 \text{ kg} = 10^6 \text{ g} = 102 \text{ mtü}, \\
 1 \text{ amü (aatori massiühik)} &= 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.
 \end{aligned}$$

3. Aeg

$$\begin{aligned}
 1 \text{ keskmine Päikese ööpäev} &= 86 \text{ 400 s}, \\
 1 \text{ aasta} &= 3,16 \cdot 10^7 \text{ s} = 365,25 \text{ ööpäeva}.
 \end{aligned}$$

4. Jõud

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ düüni} = 9,81 \text{ njuutonit.}$$

5. Töö ja energia

$$1 \text{ W}\cdot\text{h} = 3600 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^{10} \text{ ergi} = 367 \text{ kgf}\cdot\text{m},$$

$$1 \text{ l}\cdot\text{atm} = 101 \text{ J} = 1,01 \cdot 10^9 \text{ ergi} = 10,3 \text{ kgf}\cdot\text{m},$$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J} = 4,18 \cdot 10^7 \text{ ergi} = 0,427 \text{ kgf}\cdot\text{m},$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,16 \cdot 10^{-12} \text{ ergi},$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ ergi}.$$

6. Võimsus

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 10^{10} \frac{\text{ergi}}{\text{s}} = 102 \frac{\text{kgf}\cdot\text{m}}{\text{s}} = 1,36 \text{ hj},$$

$$1 \text{ hj} = 736 \text{ W} = 7,36 \cdot 10^9 \frac{\text{ergi}}{\text{s}} = 75 \frac{\text{kgf}\cdot\text{m}}{\text{s}}.$$

7. Rõhk

$$1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1,01 \cdot 10^6 \text{ bar} = 1,03 \text{ at} = 1,03 \cdot 10 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2},$$

$$1 \text{ at} = 9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 9,81 \cdot 10^5 \text{ bar} = 0,968 \text{ atm} = 10^4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2},$$

$$1 \text{ mm Hg} = 133 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ bar} = 13,6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ atm} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ at}.$$

11. Tähtsamaid füüsikalisi konstante

=====

(Ligikaudsed väärtused)

$$\text{Raskuskiirendus } g_0 = 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

$$\text{Gravitatsioonikonstant } \gamma = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{g}\cdot\text{s}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}\cdot\text{s}^2}.$$

$$\text{Avogadro arv } N = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = 6,02 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{kmol}}.$$

Ühe kilomooli (mooli) gaasi ruumala normaaltingimustel

$$V_0 = 22,4 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} = 22400 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}}.$$

$$\text{Gaasi universaalkonstant } R = 8,32 \cdot 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{deg} \cdot \text{mol}} =$$

$$= 0,082 \frac{\text{l} \cdot \text{atm}}{\text{deg} \cdot \text{mol}} = 2 \frac{\text{cal}}{\text{deg} \cdot \text{mol}} = 8320 \frac{\text{J}}{\text{deg} \cdot \text{kmol}} .$$

$$\text{Boltzmanni konstant } k = 1,38 \cdot 10^{-16} \frac{\text{erg}}{\text{deg}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{deg}} .$$

$$\text{Faraday arv } F = 9,65 \cdot 10^7 \frac{\text{C}}{\text{kg} \cdot \text{ekv}} .$$

$$\text{Valguse kiirus tühjuses } c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

$$\text{Plancki konstant } h = 6,63 \cdot 10^{-27} \text{erg} \cdot \text{s} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s} .$$

$$\text{Stefani-Boltzmanni konstant } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{deg}^4} =$$

$$= 1,36 \cdot 10^{-12} \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{deg}^4} = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{deg}^4} .$$

$$\text{Wieni nihkeseaduse konstant } b = 0,29 \text{ cm} \cdot \text{deg} = 0,29 \cdot 10^{-2} \text{m} \cdot \text{deg} .$$

$$\text{Energia (MeV) ja massi (amü) vaheline võrdetegur } k = 931 \frac{\text{MeV}}{\text{amü}} .$$

$$\text{Rydbergi konstant } R = 110000 \text{ cm}^{-1} = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} .$$

$$\text{Elementaarlaeng } e = 4,8 \cdot 10^{-10} \text{lü} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} .$$

$$\text{Elektroni mass } m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} .$$

$$\text{Esimene Bohri orbiidi raadius } r_1 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m} .$$

$$\text{Elektroni komptonlainepikkus } \lambda = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m} .$$

$$\text{Vesiniku aatomi ionisatsioonenergia } I_0 = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{J} = 13,6 \text{ eV} .$$

$$\text{Aatomi massiühik } 1 \text{ amü} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} .$$

$$\text{Maa raadius } R_0 = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m} .$$

12. Tabelid
=====

Aine	$\rho \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$E \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
Alumiinium	2,7	7,05
Duralumiinium	2,8	7,1
Hõbe	10,5	8,27
Jää	0,92	0,28
Konstantaan	8,9	21,0
Klaas	3,0	6,0
Kuld	19,3	7,8
Kvarts	2,65	7,3
Magneesium	1,74	4,25
Malm	7,0	11,5
Marmor	2,7	3,5
Messing	8,5	10,0
Nikkel	8,8	20,4
Plaatina	21,4	16,8
Plastmassid:		
termoplastilised	1,2	0,2
termoreaktiivsed	2,2	0,7
Plii	11,3	1,62
Puit:		
mänd	0,5	0,9
punane puu	0,8	0,88
tamm	0,7	1,3
Raud (teras)	7,8	21,2
Tsink	7,1	9,0
Vask	8,9	12,98
Vismut	9,8	3,19
Volfram	19,15	41,1

Vedelike tihedusi ($\rho \cdot 10^{+3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

Elavhõbe	13,6	Petrooleum	0,8
Glütseriin	1,26	Piiritus	0,8
Määrdeõli	0,9	Vesi (4°C juures)	1,0

Gaaside tihedusi normaaltingimustel ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

Hapnik	1,43	Vesinik	0,29
Heelium	0,18	Õhk	1,29

Joonpaisumiskoeffitsiente ($\alpha \cdot 10^{-5} \text{ deg}^{-1}$)

Messing	1,9	Tsink	2,9
Teras	1,2	Vask	1,7

Van der Waalsi võrrandi konstandid

Aine	$a \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^4 \cdot \text{N}}{\text{kmol}^2}$	$b \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$
H ₂	0,19	0,022
He	0,034	0,024
H ₂ O	5,53	0,031
N ₂	1,36	0,039
O ₂	1,37	0,032
CO ₂	3,64	0,043
SO ₂	6,83	0,056
Hg	0,82	0,017

Elektri-eritakistus ($\Omega \cdot \text{m}$)

Kroomnikkel	$1,1 \cdot 10^{-6}$	Raud	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Hõbe	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Vask	$1,7 \cdot 10^{-8}$

Suhtelisi elektrilisi läbitavusi

Klaas	7,0	Trafoõli	2,2
Parafiin	2,0	Vesi	81

Ionisatsioonipotentsiaale (eV)

Elavhõbe	10,4	Vesinik	13,6
----------	------	---------	------

Elementaarosakeste ja neutraalsete aatomite

massid (amü)

Osake või aatom	Mass	Aatom	Mass
	2		1
Elektron	0,00055	⁶ C ¹²	12,003804
Prooton	1,00757	⁶ C ¹³	13,007475
Neutron	1,00893	⁶ C ¹⁴	14,007682
α -osake	4,00280	⁷ N ¹³	13,009858
¹ H ¹	1,008142	⁷ N ¹⁴	14,007515
¹ H ²	2,014735	⁷ N ¹⁵	15,004863
¹ H ³	3,016997	⁷ N ¹⁶	16,010740
² He ³	3,016997	⁷ N ¹⁷	17,014035
² He ⁴	4,003876	⁸ O ¹⁴	14,013016
² He ⁶	6,020474	⁸ O ¹⁵	15,007763
³ Li ⁷	7,018223	⁸ O ¹⁶	16,00400
³ Li ⁸	8,025018	⁸ O ¹⁷	17,004533
⁴ Be ⁷	7,019150	⁸ O ¹⁸	18,004874
⁴ Be ⁸	8,007850	⁸ O ¹⁹	19,009482
⁴ Be ⁹	9,015043	⁹ F ¹⁷	17,007486
⁴ Be ¹⁰	10,016711	⁹ F ¹⁸	18,006670
⁵ Be ¹⁰	10,016114	⁹ F ¹⁹	19,00456
⁵ B ¹¹	11,012789	⁹ F ²⁰	20,006352
⁵ B ¹²	12,018162	¹⁰ Ne ¹⁹	19,007915
⁶ C ¹⁰	10,020605	¹⁰ Ne ²⁰	19,998860
⁶ C ¹¹	11,014916	¹⁰ Ne ²¹	21,000589

1	2	1	2
$^{10}\text{Ne}^{22}$	21,998270	$^{18}\text{Ar}^{40}$	39,975100
$^{10}\text{Ne}^{23}$	23,601980	$^{18}\text{Ar}^{41}$	40,977599
$^{11}\text{Na}^{22}$	22,001321	$^{19}\text{K}^{38}$	37,981125
$^{11}\text{Na}^{23}$	22,997139	$^{19}\text{K}^{39}$	38,975930
$^{11}\text{Na}^{24}$	23,998651	$^{19}\text{K}^{40}$	39,976578
$^{11}\text{Na}^{25}$	24,997789	$^{19}\text{K}^{41}$	40,974836
$^{12}\text{Mg}^{23}$	23,601113	$^{19}\text{K}^{42}$	41,975881
$^{12}\text{Mg}^{24}$	23,992696	$^{20}\text{Ca}^{44}$	43,96920
$^{12}\text{Mg}^{25}$	24,990871	$^{21}\text{Sc}^{45}$	44,97000
$^{12}\text{Mg}^{26}$	25,990871	$^{21}\text{Sc}^{48}$	47,96787
$^{12}\text{Mg}^{27}$	26,992946	$^{21}\text{Sc}^{49}$	48,96405
$^{13}\text{Al}^{26}$	25,996194	$^{23}\text{V}^{51}$	50,95953
$^{13}\text{Al}^{27}$	26,990140	$^{23}\text{V}^{52}$	51,96070
$^{13}\text{Al}^{28}$	27,990830	$^{24}\text{Cr}^{50}$	49,95999
$^{13}\text{Al}^{29}$	28,989747	$^{24}\text{Cr}^{52}$	51,95693
$^{14}\text{Si}^{27}$	26,995254	$^{25}\text{Mn}^{54}$	53,95756
$^{14}\text{Si}^{28}$	27,985837	$^{25}\text{Mn}^{55}$	54,95564
$^{14}\text{Si}^{29}$	28,985719	$^{25}\text{Mn}^{56}$	55,95683
$^{14}\text{Si}^{30}$	29,983313	$^{26}\text{Fe}^{59}$	58,95350
$^{15}\text{P}^{29}$	28,989618	$^{27}\text{Co}^{56}$	55,95781
$^{15}\text{P}^{30}$	29,988170	$^{27}\text{Co}^{59}$	58,95182
$^{15}\text{P}^{31}$	30,983622	$^{27}\text{Co}^{60}$	59,95250
$^{15}\text{P}^{32}$	31,984091	$^{28}\text{Ni}^{63}$	63,94733
$^{16}\text{S}^{31}$	30,988865	$^{29}\text{Cu}^{63}$	62,94862
$^{16}\text{S}^{32}$	31,982265	$^{29}\text{Cu}^{64}$	63,94913
$^{16}\text{S}^{33}$	32,981961	$^{29}\text{Cu}^{65}$	64,94749
$^{16}\text{S}^{34}$	33,978773	$^{30}\text{Zn}^{64}$	63,948880
$^{16}\text{S}^{35}$	34,980354	$^{37}\text{Rb}^{85}$	84,93100
$^{17}\text{Cl}^{35}$	34,980175	$^{37}\text{Rb}^{86}$	85,93736
$^{17}\text{Cl}^{36}$	35,979964	$^{37}\text{Rb}^{87}$	86,99295
$^{17}\text{Cl}^{37}$	36,977624	$^{38}\text{Sr}^{88}$	85,9354
$^{17}\text{Cl}^{38}$	37,980044	$^{38}\text{Sr}^{89}$	86,9352
$^{18}\text{Ar}^{36}$	35,978930	$^{38}\text{Sr}^{95}$	95,945
$^{18}\text{Ar}^{37}$	36,978499	$^{39}\text{Y}^{88}$	87,93758
$^{18}\text{Ar}^{38}$	37,974878	$^{39}\text{Y}^{89}$	88,93712

1	2	1	2
42Mo ⁹⁴	93,93522	49In ¹¹⁵	114,94207
42Mo ⁹⁶	95,93558	49In ¹¹⁴	113,94329
42Mo ⁹⁷	96,93693	49In ¹¹⁶	115,94398
42Mo ¹⁰⁰	99,93829	50Sn ¹¹⁴	113,94109
46Pd ¹⁰⁴	103,93690	50Sn ¹¹⁵	114,94154
46Pd ¹⁰⁸	107,93690	50Sn ¹¹⁶	115,93806
46Pd ¹¹⁰	109,94098	50Sn ¹¹⁷	116,94171
47Ag ¹¹⁰	109,94218	50Sn ¹²⁰	119,93904
48Cd ¹¹⁰	109,93911	50Sn ¹²¹	121,94260
48Cd ¹¹²	111,93999	54X ¹³⁹	139,955
48Cd ¹¹³	112,94906	92U ²³⁵	235,11704
48Cd ¹¹⁵	114,94363	92U ²³⁶	236,11912
48Cd ¹¹⁶	115,94212	92U ²³⁸	239,10469

13. Ligikaudsest arvutamisest

Füüsika ülesannete lahendamisel esinevate suuruste väärtused on enamasti ligikaudsed.

Niisugusteks suurusteks on paljud käsiraamatutes toodud konstandid. Näiteks võib käsiraamatutest leida, et normaalne raskuskiirendus on $981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$, ringi übermõõdu ja diameetri suhe 3,14 ja elektroni mass $9,1 \cdot 10^{-28}$ g. Täpsemal mõõtmisel või arvutamisel $g = 980,665 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$, $\pi = 3,1416$ ja $m_e = 9,106 \cdot 10^{-28}$ g.

Kuid ka need väärtused on ligikaudsed selle tõttu, et mõõtmistehnika polnud küllalt täiuslik, või siis saadi nad veel täpsemate suuruste ümardamisel. Nii on kõikide füüsikaliste suuruste mõõtmise tulemused ja füüsika ülesannete lahendamisel tehtud arvutused ligikaudsed.

Väga sageli püüab kogemusteta arvutaja ligikaudsel arvutamisel saada sellist täpsust, mida kaugelki ei võimalda kasutatavate andmete täpsus. See nõuab asjatut tööd ja aega.

Olgu näiteks vaja arvutada keha mass, mille raskus

$P = 2,4 \text{ N}$ on määratud kümnendiku njuutoni täpsusega. Kriitilise suhtumiseta arvutamisse võib saada järgmise tulemuse:

$$m = \frac{P}{g} = \frac{2,4}{9,81} = 0,244648 \text{ kg.}$$

Asjaolu, et arvud 2,4 ja 9,81 on ligikaudsed, tähendab, et viimane number nendes arvudes on kaheldav. Nende arvude asemel oleks võinud olla ka 2,5 või 2,3 (2,4 võib saada arvude 2,35 või 2,45 ümardamisel; kuid nende arvude ümardamisel oleks võinud võtta ka vastavalt 2,3 ja 2,5) ning 9,80 või 9,82. Seega oleks keha massiks võinud olla ka

$$m = \frac{P}{g} = \frac{2,5}{9,8} = 0,255102 \dots \text{ kg}$$

või

$$m = \frac{P}{g} = \frac{2,3}{9,82} = 0,234215 \dots \text{ kg.}$$

Kõigi kolme tulemuse võrdlemine näitab, et esimene kümnendkoht on kindel, teised kümnendkohad aga juba erinevad. Ülejäänud numbrid on tulemustes juhuslikud ning nende arvutus on täiesti üleliigne töö.

On kokku lepitud, et peale kindlate kohtade märgitakse tulemusse veel üks kaheldav.

Tühja töö vältimiseks tuleb ligikaudsel arvutamisel silmas pidada järgmisi reegleid.

1. Ligikaudsete arvude liitmisel ja lahutamisel ümardatakse vastust nii, et temas ei oleks kehtivaid numbreid nendes järkudes, mis puuduvad kas või ühes ligikaudses algandmes. Näiteks arvude

$$\begin{array}{r} 4,462 \\ 2,38 \\ 1,17273 \\ \hline 1,0262 \\ \hline 9,04093 \end{array}$$

liitmisel tuleb summat ümardada sajandikeni, s.t. summa on 9,04.

2. Korrutamisel tuleb ümardada korrutatavaid nii, et igaüks neist sisaldaks nii palju kehtivaid numbreid nagu kõige väiksema kehtivate numbrite arvuga korrutatav. Näiteks korrutise

$$3,723 \cdot 2,45,1846$$

asemel tuleb arvutada korrutis

$$3,7 \cdot 2,45,2 .$$

Lõpptulemusse tuleb jätta kehtivaid numbreid nii palju kui neid oli korrutatavates. Vahepealsetes arvutustulemustes tuleb säilitada üks kehtiv number rohkem. Samasuguseid reegleid tuleb kasutada arvude jagamisel.

3. Arvude ruutu või kuupi tõstmisel peab astmes olema niipalju kehtivaid numbreid kuipalju neid esineb astendatavas. Näiteks

$$1,32^2 \approx 1,74.$$

4. Ruut- ja kuupjuurte võtmisel peab tulemusel olema niipalju kehtivaid numbreid kuipalju neid esineb juuritavas:

$$\sqrt{1,17 \cdot 10^{-8}} \approx 1,08 \cdot 10^{-4} .$$

5. Keeruliste avaldiste arvutamisel tuleb kasutada eespool toodud reegleid vastavalt matemaatiliste tehete iseloomule. Näiteks

$$x = \frac{(3,2 + 17,062) \sqrt{3,7}}{5,1 \cdot 2,007 \cdot 10^3}$$

Arvus 5,1 on kehtivaid numbreid kõige vähem - 2. Seetõttu kõikide vahepealsete tulemuste väärtused tuleb anda kolme kehtiva numbriga:

$$x \approx \frac{20,3 \cdot 1,92}{10,3 \cdot 10^3} \approx \frac{39,0}{10,3 \cdot 10^3} \approx 3,79 \cdot 10^{-3} .$$

Lõplikus tulemusel võib olla ainult kaks kehtivat numbrit, $x \approx 3,8 \cdot 10^{-3} .$

Kasulik on meeles pidada ja kasutada järgmisi ligikaudseid võrdusi (tingimusel, et $a \ll 1$):

$$(1 \pm a)^2 \approx 1 \pm 2a,$$

$$(1 \pm a)^3 \approx 1 \pm 3a,$$

$$\sqrt{1 \pm a} \approx 1 \pm \frac{a}{2},$$

$$\sqrt[3]{1 \pm a} \approx 1 \pm \frac{a}{3}.$$

14. Mehaanika füüsikalised alused

Näidisülesandeid (kasutatud SI-süsteemi)

Näide 1. Materiaalne punkt liigub mööda ringjoont. Punkti liikumine on antud võrrandiga $s = t^4 + 2t^2 + 5$. Leida läbitud tee pikkus ja kiirus ajamomendil $t = 2$ s.

Lahendus. Läbitud tee pikkus määratakse toodud võrrandist

$$s = (16 + 8 + 5) = 29 \text{ m.}$$

Joonkiiruse avaldise saame diferentseerimise teel,

$$v = \frac{ds}{dt} = 4t^3 + 4t.$$

Kasutades saadud võrrandit, leiame joonkiiruse, mis on materiaalsel punktil ajamomendil $t = 2$ s.

$$v = 4 \cdot 8 + 4 \cdot 2 = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

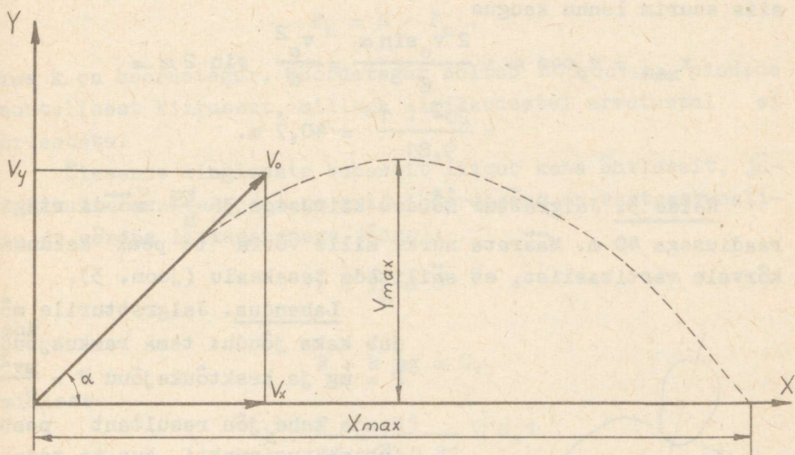
Näide 2. Horisondiga 45° nurga all visati kivi. Määrata suurim tõusu kõrgus ja lennu kaugus, kui kivi algkiirus $v_0 = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Lahendus. Joonisest 2 on näha, et kiiruse komponendid alluvad võrranditele:

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad (1)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g t, \quad (2)$$

kus g on raskuskiirendus.



Joon. 2.

Kõrgeimas punktis $v_y = 0$, siis võrrand (2) võtab kuju

$$v_0 \sin \alpha - gt = 0, \quad (3)$$

millest visatud keha maksimaalsele kõrgusele jõudmise aeg

$$t_y = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Tõusu suurim kõrgus

$$y_{max} = v_y \cdot t_y - g \frac{t_y^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{20^2 \cdot 0,5}{2 \cdot 9,81} = 10,2 \text{ m.}$$

Kivi tõusu ja languse aeg on võrdsed, s.t. kogu lennu aeg

$$t = 2t_y,$$

$$t = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}.$$

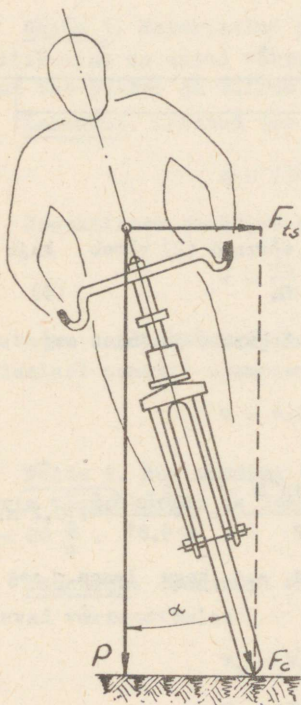
Kuna

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t,$$

siis suurim lennu kaugus

$$\begin{aligned} x_{\max} &= v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2}{g} \sin 2 \alpha = \\ &= \frac{20^2 \cdot 1}{9,81} = 40,7 \text{ m.} \end{aligned}$$

Näide 3. Jalgrattur sõidab kiirusega $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ mööda ringi raadiusega 40 m. Määrata nurk, mille võrra ta peab kalduma kõrvale vertikaalist, et säilitada tasakaalu (joon. 3).



Joon. 3.

Lahendus. Jalgratturile mõ-

jub kaks jõudu: tema raskusjõud $P = mg$ ja kesktõukejõud $F = \frac{mv^2}{R}$.

Nende kahe jõu resultant peab läbima tugipunkti, kus ta tasakaalustatakse toe reaktsiooniga. Jooniselt 3 selgub, et

$$F = P \cdot \tan \alpha$$

ehk

$$\frac{mv^2}{R} = m \cdot g \cdot \tan \alpha,$$

millest

$$\tan \alpha = \frac{v^2}{R \cdot g} = \frac{10^2}{40 \cdot 9,81} = 0,254;$$

$$\alpha = 14^{\circ} 15'.$$

Näide 4. Mööda horisontaalset pinda nihutatakse (ilma veeremata) 1 kg-se massiga keha. Leida hõõrdetegur, kui nihutav jõud on 1 N.

Lahendus. Hõõrdejõud, mis tekib ühe kuiva pinna libisemisel mööda teist, oleneb tugevasti pindade konarusest. Hõõrdejõud on võrdeline pindasid kokkusuruva normaaljõuga:

$$F_h = k \cdot F_n,$$

kus k on hõõrdetegur. Hõõrdetegur sõltub hõõrduvate pindade suhtelisest kiirusest, millega ligikaudsetel arvutustel ei arvestata.

Ülesande tingimuste kohaselt liigub keha ühtlaselt, järelilikult resultantjõud on null (hõõrdejõud on vastassuunaline ja võrdne liikumapaneva jõuga):

$$\vec{F} + \vec{F}_h = 0$$

ehk

$$F + k mg = 0,$$

millest

$$k = \frac{F}{mg} = \frac{1}{1.9,81} \approx 0,1.$$

Näide 5. Auto kiirus horisontaalsel teelõigul on $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ja mootori võimsus 70 hj. Leida veojõud.

Lahendus. Võimsust mõõdetakse ajaühikus tehtud tööga:

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

millest

$$F = \frac{N}{v} = \frac{70.736.3,6}{100} = 1,86.10^3 \text{ N.}$$

Näide 6. Veerevale kerale rakendati 1 N suurune jõud, mille tulemusel ta peatus 1-meetrise teepikkuse läbimisel. Leida kera kiirus enne pidurdamise algust, kui kera mass oli 1 kg.

Lahendus. Veereva kera kineetiline energia on kulgeva liikumise ja pöörleva liikumise kineetiliste energiatega summa:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (1)$$

kus m on kera mass, I - kera inertsimoment, v - joonkiirus ja ω - nurkkiirus.

Kera inertsimoment

$$I = \frac{2}{5} m R^2, \quad (2)$$

kus R on kera raadius. Libisemata veeremisel kera raskuskeskme kulgeva liikumise kiirus

$$v = \omega \cdot R. \quad (3)$$

Asendades võrrandis (1) I ja v väärtused avaldistega (2) ja (3) saame

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{2 m R^2 v^2}{5 \cdot 2 \cdot R^2} = \frac{7 mv^2}{10}.$$

Pidurdava jõu F töö teepikkusel s on võrdne kera kineetilise energia muutusega:

$$F \cdot s = \frac{7}{10} mv^2,$$

millest

$$v = \sqrt{\frac{10 F \cdot s}{7 m}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 1 \cdot 1}{7 \cdot 1}} = 1,2 \frac{m}{s}.$$

Näide 7. Terasest traadile on riputatud koormus, mille mass on 100 kg. Traadi pikkus on 1 m, diameeter 2 mm, Youngi moodul $20 \cdot 10^{10} \frac{N}{m^2}$ ja elastsuspiir $\sigma_e = 3,3 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2}$.

Leida: 1) kui palju pikenes traat? 2) kas tekki pinget ületab elastsuspiiri?

Lahendus. 1. Vastavalt Hooke'i seadusele on deformatsioon Δx võrdeline rakendatud jõuga F .

$$\Delta x = k F,$$

kus k on deformatsiooni liigist ja keha omadustest sõltuv suurus (jäikus). Tõmbel on sel seadusel kuju:

$$\Delta x = \frac{1}{ES} F = \frac{1 \cdot 100 \cdot 9,8}{20 \cdot 10^{10} \cdot \pi \cdot 10^{-6}} = 1,6 \cdot 10^{-3} m = 1,6 mm,$$

kus l on traadi pikkus, S - ristlõikepindala ja E - Youngi moodul (antud aine jaoks jääb suurus).

2. Rakendatud jõu ja ristlõikepindala jagatist nimetatakse pingeks.

$$\sigma = \frac{F}{S} .$$

Elastsuspiir on maksimaalne pinge, mille puhul veel säilib võrdelisuus deformatsiooni ja jõu vahel, s.t. kehtib Hooke'i seadus. Kui pinge ei ületa elastsuspiiri, siis taastab keha koormuse eemaldamisel oma endised mõõtmed. Elastsuspiiri ületamisel tekivad kehas jääkdeformatsioonid.

Traadis tekkiv pinge

$$\sigma = \frac{100 \cdot 9,8}{\pi \cdot 10^{-6}} = 3,12 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2} \text{ on antud juhul}$$

vähksem elastsuspiirist.

Näide 8. Liituvad kaks ühesihilist harmoonilist võnkumist võrdsete võnkeperioodide $T_1 = T_2 = 1,5$ s ja amplituudidega ($a_1 = a_2 = 0,02$ m). Võnkumiste algfaasid $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ ja $\varphi_2 = \frac{\pi}{3}$. Leida resultantvõnkumise amplituud ja algfaas ning kirjutada resultantvõnkumise võrrand. Konstrueerida amplituudide liitmise vektordiagramm.

Lahendus. Esimese harmoonilise võnkumise võrrand on

$$x_1 = 0,02 \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{1,5} t + \frac{\pi}{2} \right)$$

ja teise

$$x_2 = 0,02 \sin \left(\frac{2\pi}{1,5} t + \frac{\pi}{3} \right).$$

Sama sagedusega resultantvõnkumise võrrandis

$$x = a \sin \left(\frac{2\pi}{1,5} t + \varphi \right) \text{ on amplituud } a \text{ ja algfaas}$$

φ otsitavateks suurusteks.

Koostame vektordiagrammi (joon. 4) ja määrame resultantvõnkumiste amplituudi. Kolmnurgast AOC koosinuslause põhjal

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2 a_1 a_2 \cos \alpha,$$

millest

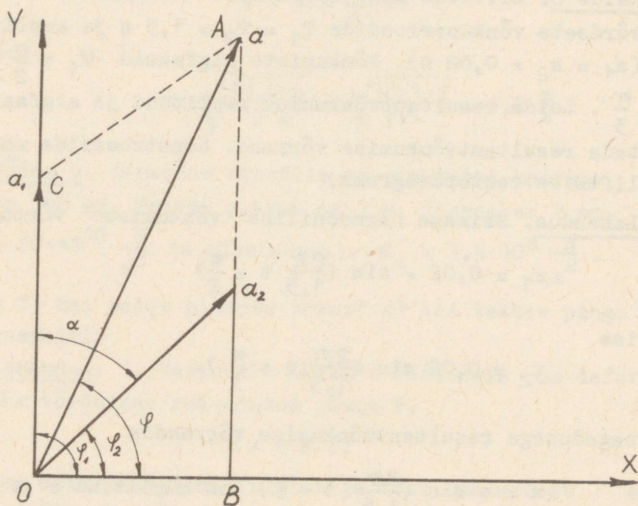
$$a = a_1 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)} = 0,02 \sqrt{2(1 + 0,866)} = 0,0386 \text{ m.}$$

Kolmnurgast AOB saame algaasi tangensi:

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= \frac{AB}{OB} = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_2 + a_2 \cos \varphi_2} = \\ &= \frac{\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2}{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2} = \frac{1 + 0,866}{0 + 0,5} = 3,73. \end{aligned}$$

Siit $\varphi = 75^\circ$. Seega on resultantvõnkumiste võrrandil kuju:

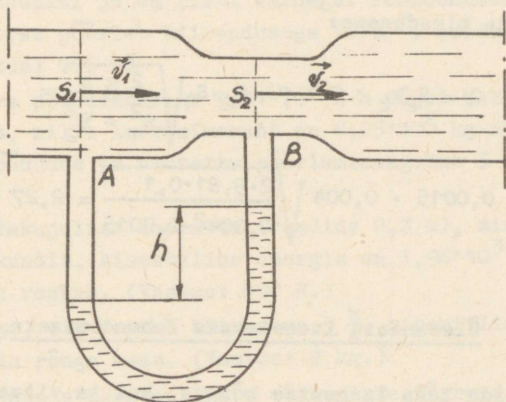
$$x = 0,0386 \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{1,5} t + 75^\circ \right).$$



Joon. 4.

Näide 9. Mööda horisontaalset toru voolab vesi. Toru ristlõikepindala on 40 cm^2 . Ühes lõigus on toru kitsam, ristlõikepindalaga 15 cm^2 . Toru laiemasse ja kitsamasse ossa

asetatud manomeetrites (joon. 5) on nivoode vahe 10 cm. Lei-
da vee kulu torus.



Joon. 5.

Lahendus. Vastavalt voolamise pidevusele on ajaühikus ristlõikeid S_1 ja S_2 läbinud vee ruumalad võrdsed, s.t. $S_1 v_1 = S_2 v_2$, kus v_1 ja v_2 on vee voolamise kiirused ristlõigetes.

Bernoulli võrrandil ideaalse kokkusurumatu vedeliku voolamise kohta horisontaalses torus on kuju:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2},$$

kus ρ on vedeliku tihedus, $\frac{\rho v^2}{2}$ - dünaamiline rõhk ja p - staatiline rõhk. Siit võib väljendada ülesande tingimustega antud staatiliste rõhkude vahe

$$\rho gh = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) = \frac{\rho}{2} \left[v_2^2 - \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 v_2^2 \right],$$

millest

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2gh}{S_1^2 - S_2^2}}$$

Vee kulu saame, kui korrutame ristlõikepindala vee voolu kiirusega ja tihedusega:

$$Q = S_2 v_2 \cdot \rho = \rho \cdot S_2 \cdot S_1 \sqrt{\frac{2gh}{S_1^2 - S_2^2}} =$$
$$= 1000 \cdot 0,0015 \cdot 0,004 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1}{0,004^2 - 0,0015^2}} = 2,27 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks

1. Leida keha langemise kõrgus, kui ta viimasel sekundil läbis teepikkuse 190 m. (Vastus: 1960 m.)
2. Kivi visatakse tornist horisontaalselt algiirusega $40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Leida aeg, mille möödumisel pärast liikumise algust on kivi kiirus $50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. (Vastus: 3 s.)
3. Mürsu trajektoori kõverusraadius kõrgeimas punktis on 16350 m. Leida mürsu kiirus trajektoori kõrgeimas punktis. (Vastus: $400 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.)
4. Auto kaalub $1,96 \cdot 10^4$ N. Leida aeg, mille jooksul auto saavutas kiiruse $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, kui veorataste tõmbejõud on $4,91 \cdot 10^3$ N ja hõõrdejõud $9,81 \cdot 10^2$ N. (Vastus: 5 s.)
5. Kehale mõjus 5 s jooksul jõud 19,62 N, mis tegi tööd $4,8 \cdot 10^3$ J. Leida keha mass. (Vastus: 1 kg.)
6. 1,96 N raskusega kera kukkus 0,7 m kõrguselt ja põrkas üles. Leida kera tõusu kõrgus, kui liikumishulk põrkel muutus $1,3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. (Vastus: 0,4 m.)
7. 1 m kõrguselt langev vasar lööb naela. Löögil mõjub jõud $1,5 \cdot 10^3$ N ja nael liigub edasi 0,02 m. Leida vasara raskus ja löögi kestus. (Vastus: 29,4 N; 0,01 s.)

8. Pidurdamisel hakkas hooratas pöörlema ühtlaselt aeglustuvalt ja, tehes 6 pöörat, peatus 3 s jooksul. Leida hooratta pöörlemise sagedus enne pidurdamise algust. (Vastus: 4 s^{-1}).

9. 3,92 N raskusega varras pöörleb ümber telje, mis läbib tema keskpunkti ja on risti vardaga. Pöördemomendi 0,1 N·m mõjul varras pöörleb kiirendusega 10 s^{-2} . Leida varda pikkus. (Vastus: 0,6 m)

10. Jäava pöördemomendi $9,81 \cdot 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}$ mõjul hakkab pöörlema hooratas, mille inertsimoment on $6,25 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Leida aeg, mille möödudes on hooratta pöörlemisagedus 5 s^{-1} . (Vastus: 20 s.)

11. Kettakujulise hooratta (raadius 0,2 m), mis teeb 10 pöörat sekundis, kineetiline energia on $1,96 \cdot 10^3 \text{ J}$. Arvutada hooratta raskus. (Vastus: 490 N.)

12. Rõnga, mis veereb kiirusega $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, kineetiline energia on 50 J. Leida rõnga mass. (Vastus: 2 kg.)

13. Kirjutada harmooniliste võnkumiste võrrand SI-süsteemis, kui amplituud on 3,5 cm, periood 0,25 s ja algfaas 120° .

14. Punkt võngub harmooniliselt. Võnkumiste amplituud on 0,1 m ja sagedus 1 s^{-1} . Leida punkti hälve momendil, mil kiirus on $0,54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. (Vastus: 0,05 m.)

15. Peene ühtlase varda kui füüsikalise pendli taandatud pikkus on 0,67 m. Varda keskpunkti läbiva telje suhtes on võnkeperiood 1,6 s. Leida varda pikkus. (Vastus: 1 m.)

16. Helihargi jala, mis võngub perioodiga 0,002 s, maksimaalne kiirendus on $980 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Leida helihargi jala võnkumise amplituud. (Vastus: 0,0001 m.)

17. Vedrul võnkuva raskuse maksimaalne kineetiline energia on 0,785 J ja võnkeamplituud 0,04 m. Leida vedru jäikus. (Vastus: $9,81 \cdot 10^2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.)

18. Leida terastraadi pikkus, kui ta jõu $1,96 \cdot 10^2 \text{ N}$ mõjumisel pikeneb 10^{-3} m võrra. Ristlõike pindala 10^{-6} m^2 . (Vastus: 1 m.)

19. Ühtlase ristlõikega kanalis on voolu kiirus $0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

20 m toru pikkuse kohta muutub staatiline rõhk $10^5 \frac{N}{m^2}$ kuni $1,2 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$. Leida kanali kalle. (Vastus: $5^{\circ}48'$.)

KONTROLLTÖÖ nr. 1

Kontrolltöö vormistamise eeskirjad on toodud lehekülgedel 5 ja 6.

Ülesanne 1.

a. Materiaalne punkt liigub mööda ringjoont, mille diameeter on 40 m. Teepikkuse sõltuvus ajast on esitatav võrrandiga

$$s = t^3 + 4t^2 - t + 8 \text{ (m)}.$$

Leida läbitud teepikkus, kiirus ning normaal-, tangentsiaal- ja kogukiirendus ajamomendil t .

Variandi number	t (s)	Variandi number	t (s)	Variandi number	t (s)
00	0,5	17	17	34	34
01	1	18	18	35	35
02	2	19	19	36	36
03	3	20	20	37	37
04	4	21	21	38	38
05	5	22	22	39	39
06	6	23	23	40	40
07	7	24	24	41	41
08	8	25	25	42	42
09	9	26	26	43	43
10	10	27	27	44	44
11	11	28	28	45	45
12	12	29	29	46	46
13	13	30	30	47	47
14	14	31	31	48	48
15	15	32	32	49	49
16	16	33	33		

b. Tuletõrjepritsist väljub veejuga horisontaali suhtes nurga all α . Juba langeb joatoru otsast x_{\max} kaugusele. Toru ava diameeter on d . Kui palju vett annab tuletõrjeprits 1 min jooksul? (Õhu takistust ei arvestata.) Esitage kiiruste vektordiagramm koos vajalike selgitustega.

Variandi number	x_{\max} (m)	α	d (cm)	Variandi number	x_{\max} (m)	α	d (cm)
50	50	35°	1	76	76	40°	2
51	51	35°	1	77	77	40°	2
52	52	35°	1	78	78	40°	2
53	53	35°	1	79	79	40°	2
54	54	35°	1	80	80	40°	2
55	55	35°	1	81	81	40°	2
56	56	35°	1	82	82	40°	2
57	57	35°	1	83	83	40°	2
58	58	35°	1	84	84	40°	2
59	59	35°	1	85	85	40°	2
60	60	35°	1	86	86	45°	3
61	61	35°	1	87	87	45°	3
62	62	35°	1	88	88	45°	3
63	63	35°	1	89	89	45°	3
64	64	35°	1	90	90	45°	3
65	65	35°	1	91	91	45°	3
66	66	40°	2	92	92	45°	3
67	67	40°	2	93	93	45°	3
68	68	40°	2	94	94	45°	3
69	69	40°	2	95	95	45°	3
70	70	40°	2	96	96	45°	3
71	71	40°	2	97	97	45°	3
72	72	40°	2	98	98	45°	3
73	73	40°	2	99	99	45°	3
74	74	40°	2				
75	75	40°	2				

Ülesanne 2.

a. Masina hooratas, mille diameeter on d cm, teeb n s⁻¹.
Leida hooratta välispinna punktide joon- ja nurkkiirus, normaalkiirendus ning massiühikule mõjuv jõud. Kiiruse, kiirenduse ja jõu suunad näidake diagrammil.

Variandi number	$n(s^{-1})$	d (m)	Variandi number	$n(s^{-1})$	d (m)
00	0,5	2	25	25	1,0
01	1	2	26	26	1,0
02	2	2	27	27	1,0
03	3	2	28	28	1,0
04	4	2	29	29	1,0
05	5	2	30	30	0,5
06	6	2	31	31	0,5
07	7	2	32	32	0,5
08	8	2	33	33	0,5
09	9	2	34	34	0,5
10	10	1,5	35	35	0,5
11	11	1,5	36	36	0,5
12	12	1,5	37	37	0,5
13	13	1,5	38	38	0,5
14	14	1,5	39	39	0,5
15	15	1,5	40	40	0,25
16	16	1,5	41	41	0,25
17	17	1,5	42	42	0,25
18	18	1,5	43	43	0,25
19	19	1,5	44	44	0,25
20	20	1,0	45	45	0,25
21	21	1,0	46	46	0,25
22	22	1,0	47	47	0,25
23	23	1,0	48	48	0,25
24	24	1,0	49	49	0,25

b. Metallist kera langeb kõrguselt h_1 laua horisontaalsele pinnale ja põrkab sealt kõrgusele h_2 . Kera mass on M . Määrata löögi keskmine jõud, kui laua ja kera kokkupuude vältas 0,01 s.

Variandi number	M (g)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Variandi number	M (g)	h_1 (cm)	h_2 (cm)
50	50	100	80	75	75	80	60
51	51	100	80	76	76	80	60
52	52	100	80	77	77	80	60
53	53	100	80	78	78	80	60
54	54	100	80	79	79	80	60
55	55	100	80	80	80	70	50
56	56	100	80	81	81	70	50
57	57	100	80	82	82	70	50
58	58	100	80	83	83	70	50
59	59	100	80	84	84	70	50
60	60	90	70	85	85	70	50
61	61	90	70	86	86	70	50
62	62	90	70	87	87	70	50
63	63	90	70	88	88	70	50
64	64	90	70	89	89	70	50
65	65	90	70	90	90	60	40
66	66	90	70	91	91	60	40
67	67	90	70	92	92	60	40
68	68	90	70	93	93	60	40
69	69	90	70	94	94	60	40
70	70	80	60	95	95	60	40
71	71	80	60	96	96	60	40
72	72	80	60	97	97	60	40
73	73	80	60	98	98	60	40
74	74	80	60	99	99	60	40

Ülesanne 3.

a. Kaldpinnal asetseb keha. Millise kaldenurga juures hakkab ta libisema mööda kaldpinda, kui hõõrdekoefitsient võrdub k-ga? Joonistada jõudude skeem.

Variandi number	k	Variandi number	k	Variandi number	k
00	0,005	17	0,17	34	0,34
01	0,01	18	0,18	35	0,35
02	0,02	19	0,19	36	0,36
03	0,03	20	0,20	37	0,37
04	0,04	21	0,21	38	0,38
05	0,05	22	0,22	39	0,39
06	0,06	23	0,23	40	0,40
07	0,07	24	0,24	41	0,41
08	0,08	25	0,25	42	0,42
09	0,09	26	0,26	43	0,43
10	0,10	27	0,27	44	0,44
11	0,11	28	0,28	45	0,45
12	0,12	29	0,29	46	0,46
13	0,13	30	0,30	47	0,47
14	0,14	31	0,31	48	0,48
15	0,15	32	0,32	49	0,49
16	0,16	33	0,33		

b. Elektrimootori võimsus pöörlemiskiirusel n min^{-1} on N kW. Leida mootori pöördemoment.

Variandi number	$n(\text{min}^{-1})$	N (kW)	Variandi number	$n(\text{min}^{-1})$	N (kW)
1	2	3	1	2	3
50	500	0,5	57	500	7
51	500	1	58	500	8
52	500	2	59	500	9
53	500	3	60	600	10
54	500	4	61	600	1
55	500	5	62	600	2
56	500	6	63	600	3

1	2	3	1	2	3
64	600	4	82	1000	2
65	600	5	83	1000	3
66	600	6	84	1000	4
67	600	7	85	1000	5
68	600	8	86	1000	6
69	600	9	87	1000	7
70	700	10	88	1000	8
71	700	1	89	1000	9
72	700	2	90	1500	10
73	700	3	91	1500	1
74	700	4	92	1500	2
75	700	5	93	1500	3
76	700	6	94	1500	4
77	700	7	95	1500	5
78	700	8	96	1500	6
79	700	9	97	1500	7
80	1000	10	98	1500	8
81	1000	1	99	1500	9

Ülesanne 4.

a. Keha massiga M veereb mööda horisontaalset tasandit kiirusega v . Leida pidurdav jõud, mille puhul pidurdumine toimub teepikkusel s .

Variandi number	M (kg)	v ($\frac{m}{s}$)	s (m)	Keha kuju
1	2	3	4	5
00	0,05	0,5	0,5	kera
01	0,1	1,0	0,5	"
02	0,2	2	0,5	"
03	0,3	3	0,5	"
04	0,4	4	0,5	"
05	0,5	5	0,5	"
06	0,6	6	0,5	"
07	0,7	7	0,5	"

1	2	3	4	5
08	0,8	8	0,5	kera
09	0,9	9	0,5	"
10	1,0	10	0,5	"
11	1,1	11	0,5	"
12	1,2	12	0,5	"
13	1,3	13	0,5	"
14	1,4	14	0,5	"
15	1,5	15	0,5	"
16	1,6	16	0,5	"
17	1,7	17	0,5	"
18	1,8	18	0,5	"
19	1,9	19	0,5	"
20	2,0	20	0,5	"
21	2,1	21	2,0	täissilinder
22	2,2	22	2,0	"
23	2,3	23	2,0	"
24	2,4	24	2,0	"
25	2,5	25	2,0	"
26	2,6	26	2,0	"
27	2,7	27	2,0	"
28	2,8	28	2,0	"
29	2,9	29	2,0	"
30	3,0	30	2,0	"
31	3,1	31	2,0	"
32	3,2	32	2,0	"
33	3,3	33	2,0	"
34	3,4	34	2,0	"
35	3,5	35	2,0	õhukeseseinali- ne silinder
36	3,6	36	1,73	"
37	3,7	37	1,73	"
38	3,8	38	1,73	"
39	3,9	39	1,73	"
40	4,0	40	1,73	"
41	4,1	41	1,73	"
42	4,2	42	1,73	"

1	2	3	4	5
43	4,3	43	1,73	õhukeseseinali- ne silinder
44	4,4	44	1,73	"
45	4,5	45	1,73	"
46	4,6	46	1,73	"
47	4,7	47	1,73	"
48	4,8	48	1,73	"
49	4,9	49	1,73	"

b. Keha veereb libisemata mööda kaldpinda, mille kõrgus on h. Leida keha kiirus pärast kaldpinnalt lahkumist.

Variandi number	n(m)	Keha kuju	Variandi number	n(m)	Keha kuju
1	2	3	1	2	3
50	50	kera	70	70	kera
51	51	"	71	71	"
52	52	"	72	72	"
53	53	"	73	73	"
54	54	"	74	74	"
55	55	"	75	75	õhukeseseina- line silin- der
56	56	"	76	76	"
57	57	"	77	77	"
58	58	"	78	78	"
59	59	"	79	79	"
60	60	"	80	80	"
61	61	"	81	81	"
62	62	"	82	82	"
63	63	"	83	83	"
64	64	"	84	84	"
65	65	"	85	85	"
66	66	"	86	86	"
67	67	"	87	87	"
68	68	"	88	88	"
69	69	"	89	89	"

1	2	3	1	2	3
90	90	õhukeseseina-	95	95	õhukeseseina-
91	91	line silinder	96	96	line silinder
92	92	"	97	97	"
93	93	"	98	98	"
94	94	"	99	99	"

Ülesanne 5.

a. 1. Kui suurt koormust kannatab molübdeenterasest traat mille diameeter on d , elastsuspiir $\sigma_e = 6 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2}$, katkemispiir $\sigma_k = 15 \cdot 10^8 \frac{N}{m^2}$ ja elastsusmoodul $E = 22 \cdot 10^{10} \frac{N}{m^2}$. Selgitage elastsus- ja katkemispiiri füüsikalist sisu.

2. Arvutada elastse deformatsiooni piirides molübdeentraadi maksimaalne suhteline pikenemine.

Variandi number	d(mm)	Variandi number	d(mm)	Variandi number	d(mm)
00	0,05	17	1,7	34	3,4
01	0,1	18	1,8	35	3,5
02	0,2	19	1,9	36	3,6
03	0,3	20	2,0	37	3,7
04	0,4	21	2,1	38	3,8
05	0,5	22	2,2	39	3,9
06	0,6	23	2,3	40	4,0
07	0,7	24	2,4	41	4,1
08	0,8	25	2,5	42	4,2
09	0,9	26	2,6	43	4,3
10	1,0	27	2,7	44	4,4
11	1,1	28	2,8	45	4,5
12	1,2	29	2,9	46	4,6
13	1,3	30	3,0	47	4,7
14	1,4	31	3,1	48	4,8
15	1,5	32	3,2	49	4,9
16	1,6	33	3,3		

b. Arvutage Maa gravitatsioonivälja raskuskiirendus punktide jaoks, mis asuvad Maa pinnast kõrgusel h . Maa mass on $5,96 \cdot 10^{24}$ kg ja raadius 6380 km.

Variandi number	h (km)	Variandi number	h (km)	Variandi number	h (km)
50	50	67	67	84	84
51	51	68	68	85	85
52	52	69	69	86	86
53	53	70	70	87	87
54	54	71	71	88	88
55	55	72	72	89	89
56	56	73	73	90	90
57	57	74	74	91	91
58	58	75	75	92	92
59	59	76	76	93	93
60	60	77	77	94	94
61	61	78	78	95	95
62	62	79	79	96	96
63	63	80	80	97	97
64	64	81	81	98	98
65	65	82	82	99	99
66	66	83	83		

Ülesanne 6.

a. Kaks harmoonilist võnkumist amplituudidega a_1 ja a_2 liituvad üheks võnkumiseks amplituudiga a . Võnkumised levivad mööda üht sirget ja neil on võrdne sagedus. Määrata liituvate võnkumiste faaside vahe. Joonistada sobivas mõõtkavas amplituudide liitmise vektordiagramm.

Variandi number	a(mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	Variandi number	a(mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)
00	0,5	25	25	25	25	25	25
01	1,0	25	25	26	26	25	25
02	2,0	25	25	27	27	25	25
03	3	25	25	28	28	25	25
04	4	25	25	29	29	25	25
05	5	25	25	30	30	25	25
06	6	25	25	31	31	25	25
07	7	25	25	32	32	25	25
08	8	25	25	33	33	25	25
09	9	25	25	34	34	25	25
10	10	25	25	35	35	25	25
11	11	25	25	36	36	25	25
12	12	25	25	37	37	25	25
13	13	25	25	38	38	25	25
14	14	25	25	39	39	25	25
15	15	25	25	40	40	25	25
16	16	25	25	41	41	25	25
17	17	25	25	42	42	25	25
18	18	25	25	43	43	25	25
19	19	25	25	44	44	25	25
20	20	25	25	45	45	25	25
21	21	25	25	46	46	25	25
22	22	25	25	47	47	25	25
23	23	25	25	48	48	25	25
24	24	25	25	49	49	25	25

b. Läbi ava voolab vesi. Ava diameeter on d ja vee taseme kõrgus ava keskpunktist lugedes h .

Määrata väljavoolanud vedeliku hulk ($\frac{m^3}{s}$), kui reaalne hulk moodustab 70% arvutatust.

Variandi number	$h(m)$	$d(cm)$	Variandi number	$h(m)$	$d(cm)$
50	50	1,0	75	75	0,5
51	51	1,0	76	76	0,5
52	52	1,0	77	77	0,5
53	53	1,0	78	78	0,5
54	54	1,0	79	79	0,5
55	55	1,0	80	80	0,5
56	56	1,0	81	81	0,5
57	57	1,0	82	82	0,5
58	58	1,0	83	83	0,5
59	59	1,0	84	84	0,5
60	60	1,0	85	85	0,5
61	61	1,0	86	86	0,5
62	62	1,0	87	87	0,5
63	63	1,0	88	88	0,5
64	64	1,0	89	89	0,5
65	65	1,0	90	90	0,5
66	66	1,0	91	91	0,5
67	67	1,0	92	92	0,5
68	68	1,0	93	93	0,5
69	69	1,0	94	94	0,5
70	70	1,0	95	95	0,5
71	71	1,0	96	96	0,5
72	72	1,0	97	97	0,5
73	73	1,0	98	98	0,5
74	74	1,0	99	99	0,5

15. Molekulaarfüüsika, termodünaamika

Näidisülesandeid

Näide 1. Millise rõhu tekitab 2 g lämmastikku, kui 7°C temperatuuril tema ruumala on 820 cm³?

Lahendus. Ideaalsed gaasid alluvad Clapeyroni-Mendelejevi võrrandile:

$$pV = \frac{m}{\mu} R T,$$

kus p on gaasi rõhk, V - gaasi ruumala, T - gaasi absoluutne temperatuur, m - gaasi mass, μ - gaasi molekulmass ja R - universaalne gaasikonstant.

Olekuvõrrandi põhjal

$$p = \frac{m R T}{\mu V} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 8,32 \cdot 10^3 \cdot 280}{28 \cdot 820 \cdot 10^{-6}} = 2,3 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 2 \text{ atm.}$$

Näide 2. Leida lämmastiku molekulide arv ühes kuupsentimeetris, kui rõhk on 3,69 atm ja ruutkeskmine kiirus 2400 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Lahendus. Gaasi molekulaar-kineetilise teooria põhi - võrrand on

$$p = \frac{1}{3} n_0 m \bar{u}^2, \quad (1)$$

kus p on rõhk, n_0 - molekulide arv gaasi ruumalaühikus, m - ühe molekuli mass ja \bar{u} - molekuli ruutkeskmine kiirus.

Ühe molekuli mass

$$m = \frac{\mu}{N}, \quad (2)$$

kus μ on gaasi ühe mooli mass, N - Avogadro arv.

Valemite (1) ja (2) põhjal saame, et

$$n_0 = \frac{3 p N}{\mu \bar{u}^2} = \frac{3 \cdot 3,69 \cdot 1,01 \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{26}}{28 \cdot 2400^2} = 4,2 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}.$$

Dimensiooni kontroll:

$$[n_0] = \frac{\text{N} \cdot \text{kmol} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{kmol} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^4} = \frac{1}{\text{m}^3}.$$

Näide 3. Vaakuumisüsteemi täitva vesiniku rõhk on 10^{-3} mm Hg. Arvutada vesiniku molekulide vaba tee pikkus, kui $t = 50^{\circ}\text{C}$.

Lahendus. Molekulide keskmise vaba tee pikkuse määrab valem

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \sigma^2 n_0},$$

kus σ on molekulide efektiivne diameeter ja n_0 - molekulide arv ruumalaühikus.

Gaaside molekulaar-kineetilisest teoriast on teada, et

$$p = n_0 kT \quad \text{või} \quad n_0 = \frac{p}{kT}.$$

Asendades saame

$$\bar{\lambda} = \frac{k T}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 p}.$$

Kuna füüsikaliste suuruste arväärtused on: Boltzmanni konstant $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{kraad}}$, temperatuur $T = 273^{\circ} + 50^{\circ} = 323^{\circ}\text{K}$, $\sigma = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{cm} = 2,3 \cdot 10^{-10} \text{m}$, $p = 10^{-3} \text{mmHg} = 0,1333 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, siis

$$\bar{\lambda} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 323}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot 5,3 \cdot 10^{-20} \cdot 0,1333} = 14,3 \text{ cm}.$$

Dimensiooni kontroll:

$$[\bar{\lambda}] = \frac{\text{J} \cdot \text{deg} \cdot \text{m}^2}{\text{deg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{N}} = \frac{\text{J}}{\text{N}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = \text{m}.$$

Näide 4. Leida vesiniku sisehõõrdetegur temperatuuril 27°C .

Lahendus. Gaaside molekulaar-kineetilise teooria põhjal avaldub sisehõõrdetegur valemiga

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{v} \bar{\lambda}, \quad (1)$$

kus ρ on gaasi tihedus, \bar{v} - molekulide keskmine kiirus ja $\bar{\lambda}$ - keskmine vaba tee pikkus.

Gaasi olekuvõrrandist võib arvutada gaasi tiheduse

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p \mu}{R T} \quad (2)$$

Molekulide keskmine kiirus

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8 R T}{\pi \mu}} \quad (3)$$

keskmine vaba tee pikkus

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n_0} \quad (4)$$

molekulide arv ruumalaühikus

$$n_0 = \frac{p}{k T} = \frac{p N}{R T} \quad (5)$$

Asetades avaldised (2), (3), (4) ja (5) võrrandisse (1), saame:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\sqrt{8 \mu R T}}{3 \sqrt{2} \pi^3 \sigma^2 N} = \frac{\sqrt{8 \cdot 2,8 \cdot 32 \cdot 10^3 \cdot 300}}{3 \sqrt{2} \cdot 3,14^3 \cdot (2,3 \cdot 10^{-10})^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{26}} = \\ &= 8,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \end{aligned}$$

Dimensiooni kontroll:

$$\begin{aligned} [\eta] &= \frac{\text{kg}^{1/2} \cdot \text{J}^{1/2} \cdot \text{deg}^{1/2} \cdot \text{kmol}}{\text{kmol}^{1/2} \cdot \text{deg}^{1/2} \cdot \text{kmol}^{1/2} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg}^{1/2} \cdot \text{N}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2}}{\text{m}^2} = \\ &= \frac{\text{kg}^{1/2} \cdot \text{kg}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2} \cdot \text{m}^{1/2}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \end{aligned}$$

Näide 5. Leida 4 kg massiga kolvi silindrist väljalendamise kiirus õhu 40-kordsel adiabaatilisel paisumisel, kui algrõhk on 115 at ja ruumala 0,283 l.

Lahendus. Adiabaatiliselts paisuva õhu töö läheb antud juhul kolvi kineetilise energia suurendamiseks, s.t.

$$A = \frac{m \cdot u^2}{2} .$$

Adiabaatiliselts paisuva gaasi töö arvutamiseks on olemas järgmised valeimid, mis tuletatakse termodünaamika esimesest seadusest ja adiabaatilise protsessi võrranditest:

$$A = \frac{1}{\gamma - 1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) ,$$

$$A = \frac{R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2) ,$$

$$A = \frac{p_1 \cdot V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] ,$$

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] ,$$

kus γ on konstantsel rõhul ja konstantsel ruumalal võetud gaasi erisoojuste suhe (õhu puhul $\gamma = 1,41$).

Vaadeldaval juhul kasutame viimast valemit:

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] =$$

$$= \frac{115 \cdot 0,283}{1,41 - 1} \left[1 - \left(\frac{1}{40} \right)^{1,41-1} \right] = 60,8 \cdot 10^2 \text{ J} .$$

Kuna $A = \frac{m u^2}{2}$, siis $u = \sqrt{\frac{2A}{m}}$, kus u on kolvi kiirus ja m tema mass.

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot 60,8 \cdot 10^2}{4}} = 55,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

Näide 6. Veepiisad raadiusega $r = 1 \mu\text{m}$ liituvad üheks suureks tilgaks raadiusega $R = 1 \text{ mm}$. Leida, mitme kraadi võrra tõuseb vedeliku temperatuur selle protsessi tagajärjel. Soojusvahetust ümbritseva keskkonnaga mitte arvestada.

Lahendus. Vedeliku pindkihi vaba energia E on võrdeline vedeliku pindalaga S :

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta S, \quad (1)$$

kus α on pindpinevustegur.

Tilkade liitumisel vedeliku üldine pindala ja järelikult ka pindkihi energia vähenevad. Vabanev energia läheb kogu vedelikumassi siseenergia suurendamiseks, s.t. antud juhul temperatuuri tõstmiseks. Väikeste tilkade pindala

$$S = 4\pi r^2 n, \quad (2)$$

kus n on tilkade arv.

Kui suure tilga pindala $S_0 = 4\pi R^2$, siis

$$\Delta E = \alpha (S - S_0) = 4\pi\alpha (r^2 n - R^2). \quad (3)$$

Kuna vee ruumala tilkade liitumise protsessis ei muutu, siis

$$\frac{4}{3}\pi r^3 n = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad \text{või} \quad n = \frac{R^3}{r^3}. \quad (4)$$

Asetades n võrrandisse (3), saame

$$\Delta E = 4\pi\alpha \left(\frac{r^2 R^3}{r^3} - R^2 \right) = 4\pi\alpha R^2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right). \quad (5)$$

See energia läheb vedeliku temperatuuri tõstmiseks, s.t.

$$\Delta E = \Delta q = m \cdot c \cdot \Delta t = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \cdot c \cdot \Delta t, \quad (6)$$

kus ρ on vedeliku tihedus ja c tema erisoojus.

Võrrandite (5) ja (6) võrdsustamisel saame

$$\Delta t = \frac{3\alpha \left(\frac{R}{r} - 1 \right)}{R \rho c} = \frac{3 \cdot 73 \cdot 10^{-3} \left(\frac{10^{-3}}{10^{-6}} - 1 \right)}{10^{-3} \cdot 10^3 \cdot 4190} = 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ deg.}$$

Dimensiooni kontroll:

$$\left[\Delta t \right] = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{deg}}{\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{J}} = \frac{\text{N} \cdot \text{M} \cdot \text{deg}}{\text{N} \cdot \text{m}} = \text{deg.}$$

Näide 7. Kui palju jää tekib ühe tunni jooksul basseini, mille pindala on 10 m^2 ? Jää paksus on 15 cm , õhu temperatuur 10°C ja jää soojusjuhtivustegur

$$\lambda = 0,005 \frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{deg}} = 2,1 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{deg}}.$$

Lahendus. Loeme, et väljakujunenud protsessil on jää alumise pinna temperatuur 0°C ja ülemise pinna temperatuur võrdne õhu temperatuuriga. Soojushulk, mis antakse läbi jää, on võrdeline temperatuuri gradiendiga $\frac{\Delta t}{\Delta x}$, pindalaga S ja ajaga τ :

$$Q = \lambda \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot S \cdot \tau.$$

Tekkiva jää mass

$$m = \frac{Q}{r},$$

kus r on jää sulamissoojus

$$(r = 79,6 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}).$$

Siis

$$m = \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot S \cdot \tau = \frac{2,1 \cdot 10}{3,35 \cdot 10^5 \cdot 0,15} 10 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ s} = 15 \text{ kg}.$$

Näide 8. Hääleallikas ja vaatleja liiguvad teineteise suhtes. Vaatleme kaht erinevat juhtu:

1) hääleallikas liigub paigalseisva vaatleja suunas kiirusega $360 \frac{\text{km}}{\text{h}}$;

2) vaatleja liigub sama kiirusega paigalseisva hääleallika suunas.

Kas vaatleja kuuleb mõlemal juhul sama kõrgusega häält? Hääleallika võnkesagedus on 1000 Hz .

Lahendus. Hääle kõrgus sõltub võnkesagedusest. Vastavalt Doppleri printsiibile avaldub vaatleja poolt vastuvõetav hääle sagedus järgmiselt:

$$y' = \frac{V + v}{V - u} y,$$

kus y on hääleallika võnkesagedus, u - hääleallika kiirus, v - vaatleja kiirus ja V - hääle kiirus. u ja v on positiivsed, kui hääleallikas ja vaatleja lähenevad teineteisele.

Esimesel juhul

$$y' = \frac{340}{340 - 100} \cdot 1000 = 1415 \text{ Hz.}$$

Teisel juhul

$$y' = \frac{340 + 100}{340} \cdot 1000 = 1293 \text{ Hz.}$$

Järelikult on esimesel juhul vastuvõetav hääle kõrgem, vaatamata sellele, et suhteline liikumise kiirus on mõlemal juhul sama.

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks

1. Leida lämmastiku eriruumala temperatuuril 27°C ja rõhul $4,9 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. (Vastus: $1,82 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$.)
2. Suruõhuballoonist voolab välja teatud hulk gaasi. Kuna temperatuur voolamisel tõusis 7°C kuni 17°C , siis rõhk 50 at ei muutunud. Ballooni ruumala on 10 l. Kui palju gaasi voolas välja? (Vastus: 1,48 g)
3. Leida vesiniku ja hapniku ruutkeskmiste kiiruste suhe, kui nende temperatuur on sama. (Vastus: 4.)
4. Leida C_p/C_v gaasi segu jaoks, mis koosneb 3 kilomoolist argoonist ja 5 kilomoolist hapnikust. (Vastus: 1,47.)
5. Hapniku erisoojus konstantsel rõhul on $0,25 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$. Leida hapniku atomaarseks hapnikuks dissotsieerumise aste. (Vastus: 33%.)
6. Leida gaasi ühe kilomooli mass, kui gaasi ruutkeskmise kiirus 27°C juures on $500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. (Vastus: $30 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$.)
7. Suletud anum asub 10 g lämmastikku temperatuuril 7°C . Kui suur soojushulk tuleb anda gaasile, et tema molekulide ruutkeskmise kiirus suureneks 2 korda? Mitu korda muutuvad sel puhul temperatuur ja rõhk? (Vastus: 1,5 cal; $T_2 = 4 T_1$; $P_2 = 4 P_1$.)

8. Leida hapniku molekulide keskmine vaba tee pikkus normaalingimustel. (Vastus: $9,5 \cdot 10^{-6}$ cm.)

9. Millise rõhu juures on lämmastiku molekulide keskmine vaba tee pikkus 1 mm, kui see normaalingimustel on $6 \cdot 10^{-6}$ cm? (Vastus: $6,14 \frac{N}{m^2}$ ehk $4,6 \cdot 10^{-2}$ mm Hg.)

10. Leida õhu soojusjuhtivustegur rõhul 1 at ja temperatuuril $10^{\circ}C$. (Vastus: $0,0131 \frac{W}{m \cdot deg}$.)

11. Isotermilisel paisumisel vähenes lämmastiku rõhk 2,5 atmosfäärilt ühe atmosfäärini. Lämmastiku mass oli 10,5 g ja temperatuur $253^{\circ}K$. Leida paisumise töö. (Vastus: 721 J.)

12. Õhk, mille ruumala on 10 l, rõhk 1 at ja temperatuur $10^{\circ}C$, suruti adiabaatilisel kokku. Kokkusurumise tagajärjel vähenes ruumala 0,834 liitrini. Leida lõpptemperatuur ja rõhk ning kokkusurumisel tehtud töö. (Vastus: 32,4 at = $3,18 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$; $t = 491^{\circ}C$; $A = 4300$ J.)

13. Väga väikesele sügavusele on piiritusse lastud kapillaar, mille sisekanali diameeter on 0,5 mm. Kui suur on kapillaari tõusva piirituse mass? (Vastus: 0,0036 g.)

14. Klaastorusse on paigutatud klaaspulk. Toru diameeter on 2 mm ja pulga diameeter 1,5 mm. Leida, millisele kõrgusele tõuseb vesi selles süsteemis. (Vastus: 5,7 cm.)

15. Tinast plaadike, paksusega 0,5 cm ja pindalaga 10 cm^2 , eraldab jääd keevast veest. 1 minutiga sulab 2,1 kg jääd. Leida tina soojusjuhtivustegur. (Vastus: $\lambda = 0,14 \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm} \cdot \text{deg}} = 58,5 \frac{W}{m \cdot \text{deg}}$.)

16. Leida hääle kiirus vases. (Vastus: $3660 \frac{m}{s}$.)

17. Leida hääle kiirus õhus temperatuuril $20^{\circ}C$. (Vastus: $343 \frac{m}{s}$.)

18. Hääleallika sagedus on 100 Hz. Milline on vastuvõtja poolt registreeritav sagedus:

1) kui hääleallikas a) eemaldub temast hääle kiirusega?
b) ligineb talle hääle kiirusega?

2) kui vastuvõtja a) ligineb hääleallikale hääle kiirusega? b) eemaldub hääleallikast sama kiirusega? (Vastus: 1) a) 50 Hz; b) ∞ ; 2) a) 200 Hz; b) 0.)

Ülesanne 1.

a. Leida gaasi temperatuur ($^{\circ}\text{K}$ ja $^{\circ}\text{C}$), kui gaas asub anumus ruumalaga V rõhu all p . Gaasi mass on m .

Arvutada Clapeyroni-Mendelejevi ja van der Waalsi võrrandite järgi. Saadud tulemustele anda selgitus.

Variandi number	Gaas	$p(\text{atm})$	$V (\text{l})$	$m(\text{g})$
00	vesinik	10	0,5	3
01	"	10,5	1	6
02	"	11,0	2	12
03	"	11,5	3	18
04	"	12,0	4	14
05	heelium	1,5	5	5,5
06	"	1,6	6	6,5
07	"	1,7	7	7,5
08	"	1,8	8	8,5
09	"	1,9	9	10,0
10	veeaur	10	10	44
11	"	11	11	50
12	"	12	12	55
13	"	13	13	60
14	"	14	14	65
15	lämmastik	35	15	1400
16	"	36	16	1500
17	"	37	17	1600
18	"	38	18	1700
19	"	39	19	1800
20	"	40	20	1900
21	"	41	21	2000
22	"	42	22	2100
23	"	43	23	2200
24	"	44	24	2300

b. Suurtel rõhkudel gaasid ei allu Boyle'i-Mariotte'i seadusele. Kõrvalekaldumist sellest iseloomustatakse suhtega $\Delta = \frac{p_0 V_0}{pV}$, kus p_0 ja V_0 on vastavalt gaasi rõhk ja ruumala normaaltingimustel. Teades p ja Δ väärtusi, leida gaasi tihedus.

Märkus. Gaaside tihedused normaaltingimustel on antud juhendi tabelites.

Variandi number	Gaas	p(atm)	Δ
25	vesinik	1,0	1,000
26	"	248	0,879
27	"	505	0,788
28	"	1015	0,619
29	"	2790	0,361
30	hapnik	1,0	1,000
31	"	254	0,972
32	"	517	0,864
33	"	1010	0,590
34	"	1354	0,485
35	õhk	1,0	1,000
36	"	252	0,933
37	"	504	0,785
38	"	1047	0,512
39	"	2790	0,260

c. Gaasi molekuli mass on $5 \cdot 10^{-23}$ g, molekulide arv ruumalaühikus n_0 ja rõhk p . Leida molekulide ruutkeskmine kiirus.

Variandi number	p(atm)	$n_0(\text{cm}^{-3})$	Variandi number	p(atm)	$n_0(\text{cm}^{-3})$
1	2	3	1	2	3
40	40	10^{21}	43	43	$1,3 \cdot 10^{21}$
41	41	$1,1 \cdot 10^{21}$	44	44	$1,4 \cdot 10^{21}$
42	42	$1,2 \cdot 10^{21}$	45	45	$1,5 \cdot 10^{21}$

1	2	3		1	2	3
46	46	$1,6 \cdot 10^{21}$		53	53	$2,3 \cdot 10^{21}$
47	47	$1,7 \cdot 10^{21}$		54	54	$2,4 \cdot 10^{21}$
48	48	$1,8 \cdot 10^{21}$		55	55	$2,5 \cdot 10^{21}$
49	49	$1,9 \cdot 10^{21}$		56	56	$2,6 \cdot 10^{21}$
50	50	$2,0 \cdot 10^{21}$		57	57	$2,7 \cdot 10^{21}$
51	51	$2,1 \cdot 10^{21}$		58	58	$2,8 \cdot 10^{21}$
52	52	$2,2 \cdot 10^{21}$		59	59	$2,9 \cdot 10^{21}$

d. Lugesdes elektrone kõrgetel temperatuuridel sarnaseks ideaalse gaasi molekulidega, leida ühe elektroni keskmine energia temperatuuril $T^{\circ}\text{K}$.

Variandi number	$T(^{\circ}\text{K})$		Variandi number	$T(^{\circ}\text{K})$
60	$6,0 \cdot 10^4$		70	$7,0 \cdot 10^4$
61	$6,1 \cdot 10^4$		71	$7,1 \cdot 10^4$
62	$6,2 \cdot 10^4$		72	$7,2 \cdot 10^4$
63	$6,3 \cdot 10^4$		73	$7,3 \cdot 10^4$
64	$6,4 \cdot 10^4$		74	$7,4 \cdot 10^4$
65	$6,5 \cdot 10^4$		75	$7,5 \cdot 10^4$
66	$6,6 \cdot 10^4$		76	$7,6 \cdot 10^4$
67	$6,7 \cdot 10^4$		77	$7,7 \cdot 10^4$
68	$6,8 \cdot 10^4$		78	$7,8 \cdot 10^4$
69	$6,9 \cdot 10^4$		79	$7,9 \cdot 10^4$

e. Leida ühe kilomooli gaasi siseenergia temperatuuril $T^{\circ}\text{K}$.

Variandi number	Gaas	$T(^{\circ}\text{K})$		Variandi number	Gaas	$T(^{\circ}\text{K})$
1	2	3		1	2	3
80	heelium	800		85	vesinik	850
81	"	810		86	"	860
82	"	820		87	"	870
83	"	830		88	lämmastik	880
84	vesinik	840		89	"	890

1	2	3	1	2	3
90	lämmastik	900	95	hapnik	950
91	"	910	96	süsinik-	960
92	hapnik	920	97	dioksiid	970
93	"	930	98	"	980
94	"	940	99	"	990

Ülesanne 2.

a. Suletud reservuaaris, mille ruumala on V , asub normaaltingimustel gaas. Leida soojushulk, mis on vajalik gaasi temperatuuri tõstmiseks Δt kraadi võrra.

Variandi number	Gaas	$V(l)$	$\Delta t(\text{deg})$	Variandi number	Gaas	$V(l)$	$\Delta t(\text{deg})$
00	lämmastik	100	60°	13	heelium	113	100°
01	"	101	60°	14	"	114	100°
02	"	102	60°	15	"	115	100°
03	"	103	60°	16	"	116	100°
04	"	104	60°	17	hapnik	117	60°
05	vesinik	105	60°	18	"	118	60°
06	"	106	60°	19	"	119	60°
07	"	107	60°	20	"	120	60°
08	"	108	60°	21	süsinik-	121	50°
09	õhk	109	60°	22	dioksiid	122	50°
10	"	110	60°	23	"	123	50°
11	"	111	60°	24	"	124	50°
12	"	112	60°				

b. Leida gaasi mool- ja erisoojused konstantsel rõhul ja ruumalal.

Variandi number	Gaas	Variandi number	Gaas
25	lämmastik	31	heelium
26	"	32	"
27	hapnik	33	hapnik
28	"	34	"
29	õhk	35	süsinikdioksiid
30	"	36	"

c. Leida gaasi molekulide tõenäoseim keskmine kiirus ja ruutkeskmine kiirus, kui gaasi temperatuur on T.

Variandi number	T(°K)	Gaas	Variandi number	T(°K)	Gaas
37	370	lämmastik	52	520	heelium
38	380	"	53	530	"
39	390	"	54	540	"
40	400	"	55	550	"
41	410	"	56	560	"
42	420	vesinik	57	570	hapnik
43	430	"	58	580	"
44	440	"	59	590	"
45	450	"	60	600	"
46	460	"	61	610	"
47	470	õhk	62	620	süsinikdioksiid
48	480	"	63	630	"
49	490	"	64	640	"
50	500	"	65	650	"
51	510	"	66	660	"

d. Leida gaasi molekulide keskmine vaba tee pikkus, kui gaasi temperatuur on $t^{\circ}\text{C}$ ja rõhk p.

Variandi number	$t(^{\circ}\text{C})$	P (atm)	Gaas	Variandi number	$t(^{\circ}\text{C})$	P (atm)	Gaas
67	67	1	vesinik	84	84	5	hapnik
68	68	2	"	85	85	6	"
69	69	3	"	86	86	1	heelium
70	70	4	"	87	87	2	"
71	71	5	"	88	88	3	"
72	72	6	"	89	89	4	"
73	73	7	"	90	90	5	"
74	74	1	lämmastik	91	91	6	"
75	75	2	"	92	92	7	"
76	76	3	"	93	93	1	"
77	77	4	"	94	94	2	"
78	78	5	"	95	95	3	"
79	79	6	"	96	96	4	"
80	80	1	hapnik	97	97	5	"
81	81	2	"	98	98	6	"
82	82	3	"	99	99	7	"
83	83	4	"				

Ülesanne 3.

Leida gaasi üks ülekandetegureist, kui gaasi temperatuur on t.

Märkus. Difusiooniteguri leidmisel arvestada, et rõhk on 1 atm.

Variandi number	$t(^{\circ}\text{C})$	Gaas	Leitav tegur
1	2	3	4
00	0	lämmastik	difusiooni (D)
01	1	"	sisehõrdumise (η)
02	2	"	soojusjuhtivuse (λ)
03	3	argoon	difusiooni (D)
04	4	"	sisehõrdumise (η)

1	2	3	4
05	5	argoon	soojusjuhtivuse (λ)
06	6	vesinik	difusiooni (D)
07	7	"	sisehõõrdumise (η)
08	8	"	soojusjuhtivuse (λ)
09	9	heelium	difusiooni (D)
10	10	"	sisehõõrdumise (η)
11	11	"	soojusjuhtivuse (λ)
12	12	hapnik	difusiooni (D)
13	13	"	sisehõõrdumise (η)
14	14	"	soojusjuhtivuse (λ)
15	15	lämmastik	difusiooni (D)
16	16	"	sisehõõrdumise (η)
17	17	"	soojusjuhtivuse (λ)
18	18	argoon	difusiooni (D)
19	19	"	sisehõõrdumise (η)
20	20	"	soojusjuhtivuse (λ)
21	21	vesinik	difusiooni (D)
22	22	"	sisehõõrdumise (η)
23	23	"	soojusjuhtivuse (λ)
24	24	heelium	difusiooni (D)
25	25	"	sisehõõrdumise (η)
26	26	"	soojusjuhtivuse (λ)
27	27	hapnik	difusiooni (D)
28	28	"	sisehõõrdumise (η)
29	29	"	soojusjuhtivuse (λ)
30	30	lämmastik	difusiooni (D)
31	31	"	sisehõõrdumise (η)
32	32	"	soojusjuhtivuse (λ)
33	33	argoon	difusiooni (D)
34	34	"	sisehõõrdumise (η)
35	35	"	soojusjuhtivuse (λ)
36	36	vesinik	difusiooni (D)
37	37	"	soojusjuhtivuse (λ)
38	38	"	sisehõõrdumise (η)

1	2	3	4
39	39	heelium	difusiooni (D)
40	40	"	sisehõõrdumise (η)
41	41	"	soojusjuhtivuse (λ)
42	42	hapnik	difusiooni (D)
43	43	"	sisehõõrdumise (η)
44	44	"	soojusjuhtivuse (λ)
45	45	lämmastik	difusiooni (D)
46	46	"	sisehõõrdumise (η)
47	47	"	soojusjuhtivuse (λ)
48	48	argoon	difusiooni (D)
49	49	"	sisehõõrdumise (η)
50	50	"	soojusjuhtivuse (λ)
51	51	vesinik	difusiooni (D)
52	52	"	sisehõõrdumise (η)
53	53	"	soojusjuhtivuse (λ)
54	54	heelium	difusiooni (D)
55	55	"	sisehõõrdumise (η)
56	56	"	soojusjuhtivuse (λ)
57	57	hapnik	difusiooni (D)
58	58	"	sisehõõrdumise (η)
59	59	"	soojusjuhtivuse (λ)
60	60	lämmastik	difusiooni (D)
61	61	"	sisehõõrdumise (η)
62	62	"	soojusjuhtivuse (λ)
63	63	argoon	difusiooni (D)
64	64	"	sisehõõrdumise (η)
65	65	"	soojusjuhtivuse (λ)
66	66	vesinik	difusiooni (D)
67	67	"	sisehõõrdumise (η)
68	68	"	soojusjuhtivuse (λ)
69	69	heelium	difusiooni (D)
70	70	"	sisehõõrdumise (η)
71	71	"	soojusjuhtivuse (λ)
72	72	hapnik	difusiooni (D)
73	73	"	sisehõõrdumise (η)
74	74	"	soojusjuhtivuse (λ)

1	2	3	4
75	75	lämmastik	difusiooni (D)
76	76	"	sisehõõrdumise (η)
77	77	"	soojusjuhtivuse (λ)
78	78	argoon	difusiooni (D)
79	79	"	sisehõõrdumise (η)
80	80	"	soojusjuhtivuse (λ)
81	81	vesinik	difusiooni (D)
82	82	"	sisehõõrdumise (η)
83	83	"	soojusjuhtivuse (λ)
84	84	heelium	difusiooni (D)
85	85	"	sisehõõrdumise (η)
86	86	"	soojusjuhtivuse (λ)
87	87	hapnik	difusiooni (D)
88	88	"	sisehõõrdumise (η)
89	89	"	soojusjuhtivuse (λ)
90	90	lämmastik	difusiooni (D)
91	91	"	sisehõõrdumise (η)
92	92	"	soojusjuhtivuse (λ)
93	93	argoon	difusiooni (D)
94	94	"	sisehõõrdumise (η)
95	95	"	soojusjuhtivuse (λ)
96	96	vesinik	difusiooni (D)
97	97	"	sisehõõrdumise (η)
98	98	"	soojusjuhtivuse (λ)
99	99	"	difusiooni (D)

Ülesanne 4.

a. Õhku, mille mass on m , rõhk p_1 ja temperatuur t_1 , soojendati konstantsel ruumalal. Soojendamise lõppedes oli rõhk p_2 . Leida ülekantav soojushulk. Õhu soojusmahtuvus lugeda konstantseks.

$$c_v = 0,17 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$$

Variandi number	m (kg)	p_1 (atm)	t_1 (°C)	p_2 (atm)
00	0,5	0,5	0,5	5
01	1	1	1	6
02	2	2	2	7
03	3	3	3	8
04	4	4	4	9
05	5	5	5	10
06	6	6	6	11
07	7	7	7	12
08	8	8	8	13
09	9	9	9	14
10	10	10	10	15
11	11	11	11	16
12	12	12	12	17
13	13	13	13	18
14	14	14	14	19
15	15	15	15	20
16	16	16	16	21
17	17	17	17	22
18	18	18	18	23
19	19	19	19	24

b. Õhku, mille mass on m , rõhk p_1 ja temperatuur t_1 , soojendati konstantsel rõhul. Lõpptemperatuur on t_2 . Leida gaasile antud soojushulk, siseenergia muutus ja sooritatud töö. Mitu protsenti üleantud soojust kulus siseenergia muutuseks ja mitu tööks?

Variandi number	m (kg)	p_1 (atm)	t_1 (°C)	t_2 (°C)
1	2	3	4	5
20	20	1,20	20	120
21	21	1,21	21	121
22	22	1,22	22	122
23	23	1,23	23	123

1	2	3	4	5
24	24	1,24	24	124
25	25	1,25	25	125
26	26	1,26	26	126
27	27	1,27	27	127
28	28	1,28	28	128
29	29	1,29	29	129
30	30	1,30	30	130
31	31	1,31	31	131
32	32	1,32	32	132
33	33	1,33	33	133
34	34	1,34	34	134
35	35	1,35	35	135
36	36	1,36	36	136
37	37	1,37	37	137
38	38	1,38	38	138
39	39	1,39	39	139

c. Õhk, mille mass on m_1 , rõhk p_1 ja temperatuur t_1 , paisus isotermiliselt; lõpprõhk oli p_2 . Leida üleantud soojushulk, tehtud töö ja gaasi ruumala enne ja pärast paisumist.

Variandi number	m_1 (kg)	p_1 (atm)	t_1 (°C)	p_2 (atm)
1	2	3	4	5
40	40	40	40	1,40
41	41	41	41	1,41
42	42	42	42	1,42
43	43	43	43	1,43
44	44	44	44	1,44
45	45	45	45	1,45
46	46	46	46	1,46
47	47	47	47	1,47
48	48	48	48	1,48
49	49	49	49	1,49
50	50	50	50	1,50
51	51	51	51	1,51

1	2	3	4	5
52	52	52	52	1,52
53	53	53	53	1,53
54	54	54	54	1,54
55	55	55	55	1,55
56	56	56	56	1,56
57	57	57	57	1,57
58	58	58	58	1,58
59	59	59	59	1,59

d. Õhk, mille mass on m , temperatuur t_1 ja rõhk p_1 , surutakse adiabaatiliselt kokku rõhuni p_2 . Leida lõpptemperatuur ja kulutatud töö. Adiabaadi astendaja $\gamma = 1,41$.

Variandi number	m (kg)	p_1 (atm)	t_1 (atm)	p_2 (atm)
60	60	1,60	10	60
61	61	1,61	11	61
62	62	1,62	12	62
63	63	1,63	13	63
64	64	1,64	14	64
65	65	1,65	15	65
66	66	1,66	16	66
67	67	1,67	17	67
68	68	1,68	18	68
69	69	1,69	19	69
70	70	1,70	20	70
71	71	1,71	21	71
72	72	1,72	22	72
73	73	1,73	23	73
74	74	1,74	24	74
75	75	1,75	25	75
76	76	1,76	26	76
77	77	1,77	27	77
78	78	1,78	28	78
79	79	1,79	29	79

e. Mitu % muutub Carnot' otsetsükli kasutegur, kui soojendaja temperatuur on T_1 , jahutaja temperatuur aga muutub T_2 -st T_2' -ni.

Variandi number	$T_1(^{\circ}\text{K})$	$T_2(^{\circ}\text{K})$	$T_2'(^{\circ}\text{K})$
80	880	480	380
81	881	481	381
82	882	482	382
83	883	483	383
84	884	484	384
85	885	485	385
86	886	486	386
87	887	487	387
88	888	488	388
89	889	489	389
90	890	490	390
91	891	491	391
92	892	492	392
93	893	493	393
94	894	494	394
95	895	495	395
96	896	496	396
97	897	497	397
98	898	498	398
99	899	499	399

Ülesanne 5.

a. Leida energia, mis vabaneb väikeste vedelikutilkade (raadius r) ühinemisel üheks suureks tilgaks (raadius R).

Variandi number	r (mm)	R (mm)	Variandi number	r(mm)	R (mm)
00	$0,5 \cdot 10^{-3}$	0,5	10	$10 \cdot 10^{-3}$	1,10
01	$1 \cdot 10^{-3}$	1,01	11	$11 \cdot 10^{-3}$	1,11
02	$2 \cdot 10^{-3}$	1,02	12	$12 \cdot 10^{-3}$	1,12
03	$3 \cdot 10^{-3}$	1,03	13	$13 \cdot 10^{-3}$	1,13
04	$4 \cdot 10^{-3}$	1,04	14	$14 \cdot 10^{-3}$	1,14
05	$5 \cdot 10^{-3}$	1,05	15	$15 \cdot 10^{-3}$	1,15
06	$6 \cdot 10^{-3}$	1,06	16	$16 \cdot 10^{-3}$	1,16
07	$7 \cdot 10^{-3}$	1,07	17	$17 \cdot 10^{-3}$	1,17
08	$8 \cdot 10^{-3}$	1,08	18	$18 \cdot 10^{-3}$	1,18
09	$9 \cdot 10^{-3}$	1,09	19	$19 \cdot 10^{-3}$	1,19

b. Leida veetilga raadius, kui vesi voolab välja vertikaalsest klaastorust, mille raadius on r. Lahtirebimise momendil võib tilga lugeda sfääriliseks. Vee pindpinevustegur on $0,073 \frac{N}{m}$.

Variandi number	r (mm)	Variandi number	r (mm)
20	1,20	30	1,30
21	1,21	31	1,31
22	1,22	32	1,32
23	1,23	33	1,33
24	1,24	34	1,34
25	1,25	35	1,35
26	1,26	36	1,36
27	1,27	37	1,37
28	1,28	38	1,38
29	1,29	39	1,39

c. Kui kõrgele tõuseb vesi klaastorus, mille raadius on r. Vee pindpinevustegur on $0,073 \frac{N}{m}$. Äärenurk on 15° .

Variandi number	r (mm)	Variandi number	r (mm)
40	0,40	50	0,50
41	0,41	51	0,51
42	0,42	52	0,52
43	0,43	53	0,53
44	0,44	54	0,54
45	0,45	55	0,55
46	0,46	56	0,56
47	0,47	57	0,57
48	0,48	58	0,58
49	0,49	59	0,59

d. Mitu korda on keha 1 erisoojus suurem kui kehal 2? Lahendamisel kasutada Dulong'i-Petit' seadust.

Variandi number	Keha 1	Keha 2
60	volfram	alumiinium
61	raud	"
62	kuld	"
63	kaalium	"
64	kaltsium	"
65	vask	"
66	molübdeen	"
67	nikkel	"
68	tina	"
69	plaatina	"
70	hõbe	magneesium
71	uraan	"
72	volfram	"
73	raud	"
74	vask	"
75	molübdeen	"
76	nikkel	"
77	tina	"
78	plaatina	"
79	hõbe	"

e. Leida soojuskadu telliskiviseina iga ruutmeetri kohta tunnis, kui seina pindade temperatuurid on t_1 ja t_2 , seinna paksus aga d . Seina soojusjuhtivustegur on $0,8 \frac{W}{m \cdot \text{deg}}$.

Variandi number	d(cm)	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$t_2(^{\circ}\text{C})$	Variandi number	d(cm)	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$t_2(^{\circ}\text{C})$
80	80	-8,0	+8,0	90	90	-9,0	+9,0
81	81	-8,1	+8,1	91	91	-9,1	+9,1
82	82	-8,2	+8,2	92	92	-9,2	+9,2
83	83	-8,3	+8,3	93	93	-9,3	+9,3
84	84	-8,4	+8,4	94	94	-9,4	+9,4
85	85	-8,5	+8,5	95	95	-9,5	+9,5
86	86	-8,6	+8,6	96	96	-9,6	+9,6
87	87	-8,7	+8,7	97	97	-9,7	+9,7
88	88	-8,8	+8,8	98	98	-9,8	+9,8
89	89	-8,9	+8,9	99	99	-9,9	+9,9

Ülesanne 6.

a. Leida hääle levimiskiirus antud tahkes kehas.

Variandi number	Materjal	Variandi number	Materjal
00	alumiinium	13	mangaan
01	vismut	14	vask
02	volfram	15	marmor
03	raud	16	nikkel
04	tamm	17	termoplastiline plastmass
05	mänd	18	termoaktiivne plastmass
06	punane puu	19	plaatina
07	duralumiinium	20	seatina
08	kuld	21	hõbe
09	kvarts	22	klaas
10	konstantaan	23	tsink
11	messing	24	malm
12	jää		

b. Leida hääle levimiskiirus antud gaasis temperatuuril t.

Variandi number	Gaas	t(°C)	Variandi number	Gaas	t(°C)
25	lämmastik	25	38	õhk	38
26	"	26	39	"	39
27	"	27	40	heelium	40
28	"	28	41	"	41
29	"	29	42	"	42
30	vesinik	30	43	"	43
31	"	31	44	"	44
32	"	32	45	hapnik	45
33	"	33	46	"	46
34	"	34	47	"	47
35	õhk	35	48	"	48
36	"	36	49	"	49
37	"	37			

c. Määrata liikumatu seadme abil registreeritav võnkesagedus, kui temale läheneb kiirusega u hääleallikas, mis saadab 10 000 Hz-lise sagedusega akustilisi võnkumisi. Hääle kiirus on $331 \frac{m}{s}$.

Variandi number	u($\frac{m}{s}$)	Variandi number	u($\frac{m}{s}$)
50	50	63	63
51	51	64	64
52	52	65	65
53	53	66	66
54	54	67	67
55	55	68	68
56	56	69	69
57	57	70	70
58	58	71	71
59	59	72	72
60	60	73	73
61	61	74	74
62	62		

d. Arvutada hääle tugevus detsibellides, kui hääle intensiivsus on I. Kuulmislävele vastav hääle tugevus on $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$.

Variandi number	$I \cdot 10^{12} \left(\frac{W}{m^2} \right)$	Variandi number	$I \cdot 10^{12} \left(\frac{W}{m^2} \right)$
75	75	88	88
76	76	89	89
77	77	90	90
78	78	91	91
79	79	92	92
80	80	93	93
81	81	94	94
82	82	95	95
83	83	96	96
84	84	97	97
85	85	98	98
86	86	99	99
87	87		

16. Elektrostaatika, alalisvool

Näidisülesandeid

Näide 1. Kahel ühesugusel õlitilgal ($\rho = 0,78 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$) puudub kummalgi 1 elektron. Tilkadevaheline elektrostaatiline tõukejõud F_e on võrdne nende vahelise gravitatsioonijõuga F_g . Kui suur on tilkade raadius? Eeldame, et tilkadevaheline kaugus on tunduvalt suurem tilkade joonmõõtmetest.

Lahendus. Elektrostaatiline jõud

$$F_e = \frac{e^2}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot r^2},$$

kus e on elektroni laeng, ϵ - aine suhteline elektriline läbitavus, ϵ_0 - elektriline konstant ja r - tilkadevaheline kaugus.

Gravitatsioonijõud

$$F_g = \gamma \frac{m^2}{r^2},$$

kus γ on gravitatsioonikonstant ja m - tilga mass. Võrdsustades need avaldised, saame

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon \cdot \epsilon_0} = \gamma m^2.$$

Tilga massi avaldame tema tiheduse ρ ja ruumala V kaudu:

$$m = \rho V = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho.$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}} = \sqrt[3]{\frac{3e}{4\pi\rho \cdot 2\sqrt{\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \gamma}}} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{4\pi \cdot 0,78 \cdot 10^3 \sqrt{\pi \cdot 1,8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11}}}} = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Näide 2. Kaks ühesugust punktlaengut $q_1 = q_2 = 10^{-6} \text{ C}$ asuvad teineteisest $r_0 = 0,6 \text{ m}$ kaugusel.

Määrata väljatugevus:

1) punktis O , mis asub laenguid ühendava lõigu keskpunktis (joon. 6);

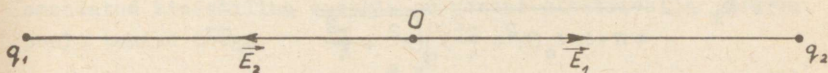
2) punktis A , mis asub laenguid ühendavale sirglõigule punktist O tõmmatud ristsirgel, punktist O $h = 4 \text{ cm}$ kaugusel (joon. 7).

Lahendus. 1. Punktlaengute poolt tekitatud väljatugevus \vec{E} on kummagi laengu poolt antud punktis tekitatud elektrivälja tugevuste vektorsumma: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Punktlaengu väljatugevus

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

kus q on välja tekitav laeng, r - vaadeldava punkti kaugus

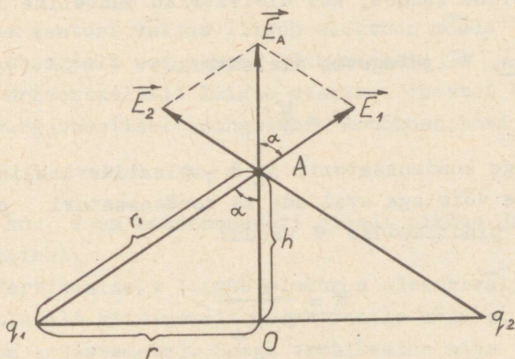
laengust, ϵ - keskkonna suhteline elektriline läbitavus ja ϵ_0 - elektriline konstant. Elektrivälja tugevuse arvuliseks määramiseks punktis O tuleb esmalt joonestada väljatugevuste vektorid. Kuna laengud on positiivsed, siis punktis O on väljatugevuste vektorid suunatud laengutest eemale piki sirget, mis ühendab punkti O antud laenguga (joon. 6).



Joon. 6.

Kuna $q_1 = q_2$ ja $r_1 = r_2$, siis $E_1 + E_2 = 0$.

2. Punktis A leitakse väljatugevus analoogiliselt ning ta kujutab parallelogrammi diagonaali (joon. 7).



Joon. 7.

Väljatugevus punktis A: $E_A = 2 E_1 \cos \alpha$, sest $q_1 = q_2$.

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi \epsilon \cdot \epsilon_0 r_1^2}, \quad r_1^2 = h^2 + \frac{r^2}{4}.$$

$$\Delta Aq_1 O\text{-st leiame } \cos \alpha = \frac{h}{r_1} = \frac{h}{\sqrt{h^2 + \frac{r^2}{4}}},$$

$$\begin{aligned} \text{siis } E_A &= 2 \frac{q_1 h}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 (h^2 + \frac{r^2}{4}) \sqrt{h^2 + \frac{r^2}{4}}} = \\ &= \frac{10^{-6} \cdot 0,04}{2\pi \cdot 1,8,85 \cdot 10^{12} (0,04 + \frac{0,06^2}{4}) \sqrt{0,04^2 + \frac{0,06^2}{4}}} = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{V}}{\text{m}}. \end{aligned}$$

Näide 3. Tasakondensaatori plaatidel on pinge 10 000 V. Pindlaengu tihedus plaatidel $\sigma = 3,20 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$. Leida plaatidevaheline kaugus, kui dielektriku suhteline läbitavus on 6.

Lahendus. Väljatugevus dielektrikus

$$E = \frac{U}{d},$$

kus U on pinge kondensaatoril ja d - plaatidevaheline kaugus. Väljatugevuse võib aga avaldada ka kondensaatori plaatidel asuva laengu pindtiheduse σ kaudu:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \cdot \epsilon_0}.$$

Võrdsustades võrduste paremad pooled, saame

$$\begin{aligned} d &= \frac{U \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0}{\sigma} = \frac{10^4 \cdot 6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{3,2 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ m.} \end{aligned}$$

$$[d] = \frac{\text{V} \cdot \text{F} \cdot \text{m}^2}{\text{m} \cdot \text{C}} = \text{m}.$$

Näide 4. Elektron, olles läbinud potentsiaalide vahe $U = 10\ 000\ \text{V}$, lendab tasakondensaatorisse. Elektron asub võrdsele kaugusele kummastki plaadist ning tema liikumissuund on plaatidega paralleelne. Kondensaatori plaatidele on rakendatud potentsiaalide vahe $U_1 = 300\ \text{V}$. Plaatidevaheline kaugus on $2\ \text{cm}$ ja kondensaatori pikkus $10\ \text{cm}$. Määrata elektroni vertikaalne nihe kondensaatorist väljumisel.

Lahendus. Energia jäävuse seaduse põhjal elektroni poolt omandatud kineetiline energia on võrdne elektrivälja jõudude poolt tehtud tööga

$$e U = \frac{m v^2}{2}, \quad (1)$$

kus e on elektroni laeng, U - kiirendav potentsiaalide vahe, m - elektroni mass ja v - elektroni kiirus. Sellest võrdusest määrame kiiruse, millega elektron lendab kondensaatorisse.

$$v = \sqrt{\frac{2 e U}{m}}. \quad (2)$$

Kondensaatori väljas liigub elektron mööda parabooli, võttes samaaegselt osa kahest liikumisest.

1. Horisontaalselt liigub elektron inertsiga tõttu ühtlaselt ja sirgjooneliselt ning läbib kondensaatori aja

$$t_1 = \frac{\ell}{v} \quad (3)$$

jooksul, kus ℓ on kondensaatori plaadi pikkus ja v - elektroni algkiirus.

2. Vertikaalselt liigub elektron elektrivälja jõudude mõjul ühtlaselt kiirenevalt (elektronile mõjuva raskusjõu võib jätta arvestamata). Seega vertikaalne nihe

$$s = \frac{a t_2^2}{2}, \quad (4)$$

kus t_2 on elektroni vertikaalse liikumise aeg ja a - elektroni vertikaalne kiirendus. Jõudude mõjumise sõltumatuse tõttu on elektroni vertikaalse liikumise aeg võrdne tema horisontaalse liikumise ajaga:

$$t_1 = t_2 = \frac{\ell}{v}.$$

Elektrivälja jõud annavad Newtoni II seaduse kohaselt elektronile vertikaalse kiirenduse

$$a = \frac{F_e}{m}, \quad (5)$$

kus F_e on elektronile mõjuv jõud.

Elektronile mõjuv jõud on võrdne laengu ja kondensaatori väljatugevuse korrutisega:

$$F_e = e \cdot E. \quad (6)$$

Väljatugevus on omakorda määratud potentsiaali gradientiga:

$$E = \frac{U_1}{d}. \quad (7)$$

Kasutades valemeid (2) ja (7) saame, et

$$\delta = \frac{U_1 \cdot e^2}{2d \cdot 2U} = \frac{300 \cdot 0,1^2}{2,0 \cdot 0,2 \cdot 2 \cdot 10^4} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Näide 5. Laetud kondensaatori energia tihedus on $300 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$. Kui suur jõud mõjub kondensaatori plaatide vahel, kui nende pindala on 100 cm^2 .

Lahendus. Kondensaatori plaadile mõjuv jõud

$$F = q \cdot E_1 = q \frac{E}{2}, \quad (1)$$

kus q on kondensaatori plaadi laeng, E_1 - ühe plaadi poolt tekitatud väljatugevus ja E - summaarne väljatugevus. Teiselt poolt

$$E = \frac{\delta}{\epsilon \cdot \epsilon_0}. \quad (2)$$

Väljendame q kondensaatori plaadi laengutiheduse δ ja plaadi pindala kaudu:

$$q = \delta \cdot S. \quad (3)$$

Kasutades valemeid (2) ja (3) saame, et

$$F = \frac{\delta S E}{2} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S E^2}{2}.$$

Laetud kondensaatori energiatihedus

$$w = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E^2}{2}$$

Viimaste valemite võrdlus näitab, et

$$F = w S = 300 \cdot 10^{-2} = 3 \text{ N.}$$

Näide 6. Õhktasakondensaatori mahtuvus $C = 900 \text{ cm}$ ja plaatidevaheline kaugus $d = 4 \text{ mm}$. Kondensaatori plaatide vahele paigutatud laengule $q = 4,9 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ mõjub jõud $F = 0,01 \text{ gf}$. Kondensaatori plaatide pindala on 100 cm^2 . Leida: 1) kondensaatori elektrivälja tugevus ja pinge, 2) plaatidele mõjuv jõud, 3) kondensaatori välja energia ja energiatihedus.

Lahendus. 1. Väli kondensaatori plaatide vahel on homogeenne. Väljatugevus on leitav avaldisest

$$F = q \cdot E,$$

kus E on kondensaatori välja tugevus ja F - kondensaatori plaatide vahele paigutatud laengule mõjuv jõud.

$$E = \frac{9,8 \cdot 10^{-5}}{4,9 \cdot 10^{-9}} = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Kondensaatori pinge

$$U = Ed = 2 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 80 \text{ V.}$$

2. Plaadile mõjuv jõud (vt. eelmine ülesanne)

$$F = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S \cdot V^2}{2 d^2} = \frac{1,8 \cdot 8 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2} \cdot 80^2}{2 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2} =$$
$$= 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ N.}$$

$$[F] = \frac{F \cdot V^2 \cdot \text{m}^2}{\text{m}^3} = \frac{C \cdot V^2}{V \cdot \text{m}} = \frac{\text{J}}{\text{m}} = \text{N.}$$

3. Kondensaatori energia

$$W = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S \cdot V^2}{2d} = F \cdot d =$$

$$= 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-7} \text{ J.}$$

Energiatihedus

$$w = \frac{W}{V} = \frac{Fd}{Sd} = \frac{F}{S} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 1,8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}.$$

Näide 7. Tasakondensaatori plaatidele on rakendatud pinge 250 V. Plaatidevahelist ruumi kiiritatakse ultravioletse valgusega. Kondensaatori ahelasse lülitatud galvanomeeter näitab voolu $I = 10^{-9}$ A. Küllastumist ei esine. Määrata 1 m^3 õhus sisalduvate ioonipaaride arv (ioonide kontsentratsioon), kui kummagi plaadi pindala on 150 cm^2 , nendevaheline kaugus aga 3 cm .

Positiivsete ioonide liikuvus on $1,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ ja negatiivsetel $1,9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$.

Lahendus. Voolutihedus $j = \frac{I}{S} = n_0 e (u^+ + u^-) E$, (1)

kus e on 1 iooni laeng (võtame võrdseks elektroni laenguga), n_0 - ioonipaaride arv ruumalaühikus, u^\pm - ioonide liikuvus ja E - väljatugevus. Homogeense välja korral

$$E = \frac{U}{d}, \quad (2)$$

kus U on pinge kondensaatori plaatidel ja d - plaatidevaheline kaugus.

Kasutades valemeid (1) ja (2) saame, et

$$n_0 = \frac{I d}{S e (u^+ + u^-) U} = \frac{10^{-9} \cdot 0,03}{0,015 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot 250} =$$

$$= 1,6 \cdot 10^{11} \frac{1}{\text{m}^3}.$$

$$[n_0] = \frac{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{V}} = \frac{1}{\text{m}^3}.$$

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks

1. Kahe väikestel kuulikestel asetäeva $2,4 \cdot 10^{-4}$ kuloni-lise laengu vahel mõjub jõud $5 \cdot 10^{-4}$ N. Kui suur on kuulikes-tevaheline kaugus? (Vastus: 0,1 m.)

2. Vesiniku aatomis mõjub tuuma ja elektroni vahel tõm-bejõud $2,3 \cdot 10^{-9}$ N. Leida vesiniku aatomi läbimõõt, kui tuuma laeng on $1,6 \cdot 10^{-19}$ kulonit. (Vastus: $2 \cdot 10^{-10}$ m.)

3. Mitu korda on kahe prootoni vaheline gravitatsiooni-jõud väiksem elektrostaatilisest tõukejõust? Prootoni laeng on arvuliselt võrdne elektroni laenguga, prootoni mass on võrdne vesiniku aatomi massiga. (Vastus: $1,25 \cdot 10^{36}$ korda.)

4. Elektrivälja tugevus kaht punktlaengut ühendava sirg-lõigu keskpunktis on $5,04 \cdot 10^4$ V·m⁻¹. Leida laengutevaheline kaugus, kui laeng $q_1 = 6 \cdot 10^{-9}$ C ja $q_2 = 8 \cdot 10^{-9}$ C. (Vastus: $r = 10$ cm.)

5. Leida kahe punktlaengu $q_1 = 7,5 \cdot 10^{-9}$ C ja $q_2 = 14,65 \cdot 10^{-9}$ C vaheline kaugus, kui väljatugevus punktis, mis asub positiiv-sest laengust 3 cm ja negatiivsest 4 cm kaugusel, on $1,12 \cdot 10^5$ V·m⁻¹. (Vastus: $r = 0,05$ m.)

6. Lugesdes Maa raadiuseks 6400 km, arvutada elektriväl-ja tugevus Maa pinna läheduses, kui Maa laeng $q = 6 \cdot 10^{25}$ C. (Vastus: $E = 130$ V·m⁻¹.)

7. Õõnsale metallkerale, mille raadius on 0,05 m, anti laeng $1,66 \cdot 10^{-6}$ C. Leida potentsiaal kera sisemuses, kera pinnal ja 1 m kaugusel kera keskpunktist. (Vastus: kera si-semuses ja pinnal $3,3 \cdot 10^{-7}$ V, 1 m kaugusel $1,66 \cdot 10^{-8}$ V.)

8. Kaks kera laengutega $1,66 \cdot 10^{-8}$ C ja $1 \cdot 10^{-8}$ C asuvad teineteisest 1 m kaugusel. Kui palju tuleb teha tööd, et lähendada kerad 20 cm kauguseni? (Vastus: $6 \cdot 10^{-6}$ J.)

9. Tasakondensaator on valmistatud õhukestest stanniol-lehekestest, mis on asetatud vaheldumisi vilgukiviplaadikes-tega. Mahtuvuse $1 \mu\text{F}$ saamiseks võeti 270 lehte stanniolpa-berit. Leida vilgukiviplaadi paksus, kui tema pindala on 60 cm^2 ? (Vastus: 0,1 mm.)

10. Elektrilambi volframniidi takistus 20°C juures on 35,8 oomi. Lambile lülitatakse pinge 120 V. Kui suur vool läbib lampi, kui niidi temperatuur on 2200°C . Volframi takistuse temperatuuritegur on $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ deg}^{-1}$. (Vastus: 0,33 A.)

11. Generator, mille emj. on 6 V, annab maksimaalselt 3 A voolu. Leida aeg, mille jooksul välisahela takistusel võib eralduda 1 kJ soojust. (Vastus: $t = 3,71 \text{ min.}$)

12. Kroomnikkeltraadist ($\rho = 1 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$) tuleb valmistada keedukannu küttespiraal. Traadi pikkus on 5,6 m. Milline peab olema traadi ristlõikepindala, et 2 l vett kuume-neks 15 min jooksul 10°C -st 100°C -ni? Keedukannule rakendatav pinge on 120 V, tema kasutegur 70%. (Vastus: $S = 0,5 \text{ mm}^2$.)

13. Voolutihedus lambi hõõgniidis on $4,4 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$, voolutugevus 0,125 A. Leida hõõgniidi diameeter. (Vastus: $d = 0,019 \text{ mm}$.)

14. Vasevitriolilahusega elektrolüüsivannis eraldus 20 min jooksul 1,92 g vaske. Määrata elektrolüüsil tarbitud võimsus, kui vanni takistus on 0,8 oomi. (Vastus: $N = 18,6 \text{ W.}$)

KONTROLLTÖÖ nr. 3

Ülesanne 1.

a. Kahel kuulikesel massiga m on võrdsed laengud: $q_1 = q_2 = q \text{ C}$. Leida laengute tõukejõudude ja masside külgetõmbejõudude suhe eeldusel, et kuulikestevaheline kaugus on palju suurem nende diameetrist ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$).

Variandi number	$q(\text{C})$	$m(\text{ng})$	 	Variandi number	$q(\text{C})$	$m(\text{ng})$
1	2	3	 	1	2	3
00	$0,5 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	07	$4,0 \cdot 10^{-7}$	0,5
01	$1,0 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	08	$4,5 \cdot 10^{-7}$	0,5
02	$1,5 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	09	$5,0 \cdot 10^{-7}$	0,5
03	$2,0 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	10	$5,5 \cdot 10^{-7}$	4,0
04	$2,5 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	11	$6,0 \cdot 10^{-7}$	1,0
05	$3,0 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	12	$6,5 \cdot 10^{-7}$	1,0
06	$3,5 \cdot 10^{-7}$	0,5	 	13	$7,0 \cdot 10^{-7}$	1,0

1	2	3		1	2	3
14	$7,5 \cdot 10^{-7}$	1,0		17	$9,0 \cdot 10^{-7}$	1,0
15	$8,0 \cdot 10^{-7}$	1,0		18	$9,5 \cdot 10^{-7}$	1,0
16	$8,5 \cdot 10^{-7}$	1,0		19	$10,0 \cdot 10^{-7}$	1,0

b. Kahe punktlaengu $q_1 = 8 \cdot 10^{-9} \text{C}$ ja $q_2 = 2 \cdot 10^{-9} \text{C}$ vaheline kaugus on r . Millisel kaugusel esimesest laengust asub punkt, kus antud laengute summaarne väli on null?

Variandi number	$r(\text{m})$		Variandi number	$r(\text{m})$
20	0,05		30	0,55
21	0,10		31	0,60
22	0,15		32	0,65
23	0,20		33	0,70
24	0,25		34	0,75
25	0,30		35	0,80
26	0,35		36	0,85
27	0,40		37	0,90
28	0,45		38	0,95
29	0,50		39	1,00

c. Elektron lendab tasakondensaatori plaatide vahele, jäädes plaatidest võrdsele kaugusele. Elektroni kiirus u on plaatidega paralleelne. Leida plaatidele rakendatud minimaalne pinge, mille puhul elektron ei välju kondensaatorist. Plaatidevaheline kaugus on 0,8 cm ja pikkus l .

Variandi number	$u(\frac{\text{km}}{\text{s}})$	$\ell(\text{cm})$	Variandi number	$u(\frac{\text{km}}{\text{s}})$	$\ell(\text{cm})$
40	1000	5	50	10 000	10
41	2000	5	51	20 000	2,5
42	3000	5	52	1 000	2,5
43	4000	5	53	2 000	2,5
44	5000	5	54	3 000	2,5
45	6000	5	55	4 000	2,5
46	7000	5	56	5 000	2,5
47	8000	5	57	6 000	2,5
48	9000	5	58	7 000	2,5
49	10 0000	5	59	8 000	2,5

d. Oõnsa metallkera pinnal asub laeng $q = 10^{-7}$ C, kera raadius on 8 cm. Määrata elektrivälja tugevus E ja potentsiaal V punktis, mis asub kera keskpunktist kaugusel r .

Variandi number	$r(\text{m})$	Variandi number	$r(\text{m})$
60	0,05	70	0,25
61	0,06	71	0,30
62	0,06	72	0,35
63	0,07	73	0,40
64	0,07	74	0,45
65	0,08	75	0,50
66	0,09	76	0,55
67	0,10	77	0,60
68	0,15	78	0,65
69	0,20	79	0,70

e. Väga pikast, ühtlaselt laetud sirgest juhist kaugusel r on väljatugevus E . Leida juhi laengu joontihedus.

Variandi number	$r(m)$	$E(\frac{V}{m})$	Variandi number	$r(m)$	$E(\frac{V}{m})$
80	0,05	1	90	0,50	0,05
81	0,10	1	91	0,50	0,10
82	0,15	1	92	0,50	0,15
83	0,20	1	93	0,50	0,20
84	0,25	1	94	0,50	0,25
85	0,30	1	95	0,50	0,30
86	0,35	1	96	0,50	0,35
87	0,40	1	97	0,50	0,40
88	0,45	1	98	0,50	0,45
89	0,50	1	99	0,50	0,50

Ülesanne 2.

a. Kahe punktlaengu q_1 ja q_2 vaheline kaugus on 0,5 m. Kui suur on töö teise laengu eemaldumisel esimesest 0,04 m võrra?

Variandi number	$q_1 \cdot 10^9(C)$	$q_2 \cdot 10^9(C)$	Variandi number	$q_1 \cdot 10^9(C)$	$q_2 \cdot 10^9(C)$
00	0,5	3,0	10	5,0	3,5
01	1,0	3,0	11	5,0	4,0
02	1,5	3,0	12	5,0	4,5
03	2,0	3,0	13	5,0	5,0
04	2,5	3,0	14	5,0	5,5
05	3,0	3,0	15	5,0	6,0
06	3,5	3,0	16	5,0	6,5
07	4,0	3,0	17	5,0	7,0
08	4,5	3,0	18	5,0	7,5
09	5,0	3,0	19	5,0	8,0

b. Tasakondensaatori plaatide vahel asub laeng $q = 10^{-9} \text{C}$. Kondensaatori väli mõjub laengule jõuga F . Määrata kondensaatori plaatidevaheline tõmbejõud, kui kummagi plaadi pindala on S .

Variandi number	$F \cdot 10^2 (N)$	$S (\text{cm}^2)$	Variandi number	$F \cdot 10^2 (N)$	$S (\text{cm}^2)$
20	0,5	200	30	6,0	200
21	1,0	200	31	6,5	200
22	1,5	200	32	7,0	200
23	2,0	200	33	7,5	250
24	2,5	200	34	8,0	250
25	3,0	200	35	8,5	300
26	3,5	200	36	9,0	300
27	4,0	200	37	9,5	300
28	4,5	200	38	10,0	300
29	5,0	200	39	10,5	400

c. Heeliumi aatomi tuum (α -osake) koosneb kahest prootonist ja kahest neutronist. Kui suur on α -osakese energia pärast potentsiaalide vahe U läbimist? α -osakese algkiirus lugeda nulliks; osakese mass on 4 korda suurem prootoni massist.

Variandi number	V (kV)	Variandi number	V (kV)
40	5	50	55
41	10	51	60
42	15	52	65
43	20	53	70
44	25	54	75
45	30	55	80
46	35	56	85
47	40	57	80
48	45	58	95
49	50	59	100

d. Tolmukübe massiga m ja laenguga q asub tasakaalus õhktasakondensaatori plaatide vahel. Plaatidevaheline kaugus on d ja potentsiaalide vahe 460 V. Leida tolmu kübeme laeng.

Variandi number	$m(g)$	$d(mm)$	Variandi number	$m(g)$	$d(mm)$
60	$2,4 \cdot 10^{-9}$	1	70	$2,4 \cdot 10^{-10}$	4
61	$2,4 \cdot 10^{-9}$	2	71	$4,8 \cdot 10^{-10}$	4
62	$2,4 \cdot 10^{-9}$	3	72	$7,2 \cdot 10^{-10}$	4
63	$2,4 \cdot 10^{-9}$	4	73	$9,6 \cdot 10^{-10}$	4
64	$2,4 \cdot 10^{-9}$	5	74	$12,0 \cdot 10^{-10}$	4
65	$2,4 \cdot 10^{-9}$	6	75	$14,4 \cdot 10^{-10}$	4
66	$2,4 \cdot 10^{-9}$	7	76	$16,8 \cdot 10^{-10}$	4
67	$2,4 \cdot 10^{-9}$	8	77	$19,2 \cdot 10^{-10}$	4
68	$2,4 \cdot 10^{-9}$	9	78	$21,6 \cdot 10^{-10}$	4
69	$2,4 \cdot 10^{-9}$	10	79	$21,6 \cdot 10^{-10}$	10

e. Veetilga raadius on r ja laeng $5 \cdot 10^{-10}$ C. n veetilga liituvad üheks suureks tilgaks. Leida suure tilga potentsiaal eeldusel, et tilgad on sfäärilised.

Variandi number	n	$r(mm)$	Variandi number	n	$r(mm)$
80	15	0,2	90	55	0,1
81	10	0,2	91	60	0,1
82	25	0,2	92	65	0,1
83	20	0,2	93	70	0,1
84	25	0,2	94	75	0,1
85	30	0,2	95	80	0,1
86	35	0,2	96	85	0,1
87	40	0,2	97	90	0,1
88	45	0,2	98	95	0,1
89	50	0,2	99	100	0,1

Ülesanne 3.

a. Leida laetud kerakujulise kosmilise keha mahtuvus ja energia. Keha raadius on R ja laeng $10^{-3}C$. Keha lugeda juhiks.

Variandi number	R(km)	Variandi number	R(km)
00	6305	10	6355
01	6310	11	6360
02	6315	12	6365
03	6320	13	6370
04	6325	14	6375
05	6330	15	6380
06	6335	16	6385
07	6340	17	6390
08	6345	18	6395
09	6350	19	6400

b. Tasakondensaatori pinge on U ja laeng $10^{-8}C$. Leida kondensaatori energia ja plaatidele mõjuv jõud, kui plaatidevaheline kaugus on d m.

Variandi number	U (V)	d(m)	Variandi number	U (V)	d(m)
20	8000	0,01	30	5500	0,02
21	5050	0,01	31	5550	0,02
22	5100	0,01	32	5600	0,02
23	5150	0,01	33	5650	0,02
24	5200	0,01	34	5700	0,02
25	5250	0,02	35	5750	0,04
26	5300	0,02	36	5800	0,04
27	5350	0,02	37	5850	0,04
28	5400	0,02	38	5900	0,04
29	5450	0,02	39	5950	0,04

c. Leida tasakondensaatori mahtuvus, kui kondensaatori plaatide pindala on S . Dielektrikuks on klaasplaat (paksus d_1), mis on mõlemalt poolt kaetud parafiiniga (paksus d_2).

Variandi number	S (cm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
40	350	1,5	0,10
41	345	1,5	0,10
42	340	1,5	0,10
43	335	1,5	0,10
44	330	1,5	0,10
45	325	1,0	0,15
46	320	1,0	0,15
47	315	1,0	0,15
48	310	1,0	0,15
49	305	1,0	0,15
50	300	1,5	0,20
51	295	1,5	0,20
52	290	1,5	0,20
53	285	1,5	0,20
54	280	1,5	0,20
55	275	1,0	0,25
56	270	1,0	0,25
57	265	1,0	0,25
58	260	1,0	0,25
59	255	1,0	0,25

d. Tasakondensaatori plaatide vahel asub klaasplaat, mille paksus on d ja pindala S . Kondensaator laeti pingeni 75 V, pärast seda aga eraldati pingeallikast. Leida töö, mis kulub klaasplaadi eemaldamiseks kondensaatori plaatide vahelt.

Variandi number	d (mm)	S (cm ²)	Variandi number	d (mm)	S (cm ²)
60	0,5	200	70	1,5	300
61	0,5	200	71	1,5	300
62	0,5	200	72	1,5	300
63	0,5	200	73	1,5	300
64	0,5	200	74	1,5	300
65	0,5	200	75	1,5	300
66	0,5	200	76	1,5	300
67	0,5	200	77	1,5	300
68	0,5	200	78	1,5	300
69	0,5	200	79	1,5	300

e. Patarei koosneb kahest kondensaatorist, millede mahutuvused on $C_1 = 100$ cm ja C_2 . Patarei laeng on 10^{-6} C. Leida patarei mahtuvus, kui kondensaatorid on ühendatud: a) paralleelselt, b) järjestikku.

Variandi number	C_2 (cm)	Variandi number	C_2 (cm)
80	500	90	250
81	575	91	225
82	450	92	200
83	425	93	175
84	400	94	150
85	375	95	125
86	350	96	100
87	325	97	75
88	300	98	50
89	275	99	25

Ülesanne 4.

a. Vaskjuhtme, mille pikkus on l , otstele on rakendatud pinge U . Leida voolutihedus juhhis.

Variandi number	U (V)	l (m)	Variandi number	U (V)	l (m)
00	1,5	5	10	1,0	55
01	1,5	10	11	1,0	60
02	1,5	15	12	1,0	65
03	1,5	20	13	1,0	70
04	1,5	25	14	1,0	75
05	1,5	30	15	1,0	80
06	1,5	35	16	1,0	85
07	1,5	40	17	1,0	90
08	1,5	45	18	1,0	95
09	1,5	50	19	1,0	100

b. Mitu lampi võimsusega $P = 300$ W ja pingega $U = 110$ V võib asetada hoonesse, kui hoonesse viivate vaskjuhtmete üldpikkus on ℓ ja ristlõikepindala $S = 9$ mm². Toitepinge juhtmete otstel $U_0 = 122$ V.

Variandi number	ℓ (m)	Variandi number	ℓ (m)
20	50	30	100
21	55	31	105
22	60	32	110
23	65	33	115
24	70	34	120
25	75	35	125
26	80	36	130
27	85	37	135
28	90	38	140
29	95	39	145

c. Tarbija asub 400 V pingega generaatorist kaugusel l .
 Kui suur peab olema kahejuhtmelise liini juhtme ristlõike-
 pindala, et 20 A voolutugevusel pingelang ei ületaks 5%?

Variandi number	l (m)	Variandi number	l (m)
40	100	50	1100
41	200	51	1200
42	300	52	1300
43	400	53	1400
44	500	54	1500
45	600	55	1600
46	700	56	1700
47	800	57	1800
48	900	58	1900
49	1000	59	2000

d. Keedukannu mähis on mähitud 15 cm läbimõõduga portselan-
 torule. Keedukannu kasutegur on 60% ja 10°C vesi läheb keema
 10 min. jooksul. Vee hulk kannus on m ja kann töötab pingel
 U . Leida, mitu keerdu nikkeltraati on mähises, kui traadi
 läbimõõt on 0,2 mm.

Variandi number	m (g)	U (V)	Variandi number	m (g)	U (V)
60	200	120	70	200	220
61	210	120	71	210	220
62	220	120	72	220	220
63	230	120	73	230	220
64	240	120	74	240	220
65	250	120	75	250	220
66	260	120	76	260	220
67	270	120	77	270	220
68	280	120	78	280	220
69	290	120	79	290	220

e. Galvanomeetriga, mille sisetakistus on R , on ühendatud vismut-raud termopaar. Termopaari takistus on r ja konstant $c = 92 \cdot 10^{-6} \frac{V}{\text{deg}}$. Kui suurt voolutugevust näitab galvanomeeter, kui üks termopaari jootekoht on sulavas jääs ja teine keevas vees?

Variandi number	$r (\Omega)$	$R (\Omega)$	Variandi number	$r (\Omega)$	$R (\Omega)$
80	5	10,0	90	15	110
81	6	10,0	91	15	120
82	7	10,0	92	15	130
83	8	10,0	93	15	140
84	9	10,0	94	15	150
85	10	10,0	95	15	160
86	11	10,0	96	15	170
87	12	10,0	97	15	180
88	13	10,0	98	15	190
89	14	100	99	15	200

Ülesanne 5.

a. Leida voolutihedus raudjuhtmes, mille pikkus on 1 m ja potentsiaalide vahe otstel 8 V. Traadi temperatuur on t .

Variandi number	$t (^{\circ}\text{C})$	Variandi number	$t (^{\circ}\text{C})$
00	505	10	555
01	510	11	560
02	515	12	565
03	520	13	570
04	525	14	575
05	530	15	580
06	535	16	585
07	540	17	590
08	545	18	595
09	550	19	600

b. Pingel 120 V on lambi võimsus N. Kõlmalt on lambi takistus r. Leida lambi hõõgniidi temperatuur, kui takistuse temperatuuritegur volframil $\alpha = 5 \cdot 10^{-3} \text{ deg}^{-1}$.

Variandi number	N(W)	r(Ω)	Variandi number	N(W)	r(Ω)
20	40	15,00	30	60	17,50
21	40	15,25	31	60	17,75
22	40	15,50	32	60	18,00
23	40	15,75	33	60	18,25
24	40	16,00	34	60	18,50
25	40	16,25	35	60	18,75
26	40	16,50	36	60	19,00
27	40	16,75	37	60	19,25
28	40	17,00	38	60	19,50
29	40	17,25	39	60	19,75

c. Elektriijaama võimsus on N ja pingel $U_0 = 140 \text{ V}$. Kui suure ristlõikepindalaga tuleb võtta vaskjuhe, et 5 km kaugusel asuval tarbijal oleks pingel $U = 120 \text{ V}$?

Variandi number	N(kW)	Variandi number	N(kW)
40	5050	50	5550
41	5100	51	5600
42	5150	52	5650
43	5200	53	5700
44	5250	54	5750
45	5300	55	5800
46	5350	56	5850
47	5430	57	5900
48	5450	58	5950
49	5500	59	6000

d. Generaatori emj. on 240 V. Leida koguvõimsus, kasulik võimsus ning generaatori kasutegur, kui välistakistus on R ja generaatori sisetakistus r .

Variandi number	$R (\Omega)$	$r (\Omega)$	Variandi number	$R (\Omega)$	$r (\Omega)$
60	40	15,00	70	60	17,50
61	40	15,25	71	60	17,75
62	40	15,50	72	60	18,00
63	40	15,75	73	60	18,25
64	40	16,00	74	60	18,50
65	40	16,25	75	60	18,75
66	40	16,50	76	60	19,00
67	40	16,75	77	60	19,25
68	40	17,00	78	60	19,50
69	40	17,25	79	60	19,75

e. Patarei emj. on E ja vool ahelas 2 A. Kui suur on patarei kasutegur välisahela takistuse R korral?

Variandi number	$E(V)$	$R(\Omega)$	Variandi number	$E(V)$	$R(\Omega)$
80	5	3,0	90	15	2,0
81	6	2,9	91	16	1,9
82	7	2,8	92	17	1,8
83	8	2,7	93	18	1,7
84	9	2,6	94	19	1,6
85	10	2,5	95	20	1,5
86	11	2,4	96	21	1,4
87	12	2,3	97	22	1,3
88	13	2,2	98	23	1,2
89	14	2,1	99	24	1,1

Ülesanne 6.

a. Elektrolüüsivanni elektroodidele on rakendatud pinge 6 V. Leida vasevitriolist eraldunud vase mass, kui kulutatud energia oli A.

Variandi number	A(kWh)	Variandi number	A(kWh)
00	1	10	11
01	2	11	12
02	3	12	13
03	4	13	14
04	5	14	15
05	6	15	16
06	7	16	17
07	8	17	18
08	9	18	19
09	10	19	20

b. 120 cm^2 pindalaga eseme katmine nikliga kestis t min. Leida niklikihi paksus, kui nikli valents on 2 ja voolutugevus elektrolüüsil 0,3 A.

Variandi number	t (min)	Variandi number	t (min)
20	200	30	300
21	210	31	310
22	220	32	320
23	230	33	330
24	240	34	340
25	250	35	350
26	260	36	360
27	270	37	370
28	280	38	380
29	290	39	390

c. Keskmise ioonide kontsentratsioon, mis tingib atmosfääris juhtivuse, on n . Maa keskmise elektrivälja tugevus võrdub $130 \frac{V}{m}$. Leida atmosfääri juhtivusvoolu tihedus.

Variandi number	$n(\text{cm}^{-3})$		Variandi number	$n(\text{cm}^{-3})$
40	605		50	655
41	610		51	660
42	615		52	665
43	620		53	670
44	625		54	675
45	630		55	680
46	635		56	685
47	640		57	690
48	645		58	695
49	650		59	700

d. Kondensaatori plaatidevahelist õhku ioniseeritakse. Plaatide pindala on S , kaugus teineteisest $0,5 \text{ cm}$. Mitu ioonipaari moodustub 1 sekundis 1 cm^3 -s, kui küllastusvoolu tugevus on $2 \cdot 10^{-10} \text{ A}$?

Variandi number	$S(\text{cm}^2)$		Variandi number	$S(\text{cm}^2)$
60	100		70	150
61	105		71	155
62	110		72	160
63	115		73	165
64	120		74	170
65	125		75	175
66	130		76	180
67	135		77	185
68	140		78	190
69	145		79	195

e. Elektron liigub kiirusega v . Kui suure kiirendava potentsiaalide vahe peab läbima prooton, et omada elektroniga võrdset kiirust?

Variandi number	$v(\frac{\text{km}}{\text{h}})$	Variandi number	$v(\frac{\text{km}}{\text{h}})$
80	1000	90	11000
81	2000	91	12000
82	3000	92	13000
83	4000	93	14000
84	5000	94	15000
85	6000	95	16000
86	7000	96	17000
87	8000	97	18000
88	9000	98	19000
89	10000	99	20000

17. Elektromagnetism. Elektromagnetilised võnkumised ja lained

Näidisülesandeid

Näide 1. Ringvoolu raadius $r = 10$ cm, voolutugevus $I_1 = 10$ A. Ringvoolu tasandis asetseb pikk isoleeritud sirgjuhe vooluga $I_2 = 6,28$ A. Voolu suund sirgjuhtmes ühtib ringvoolu puutuja suunaga. Leida väljatugevus ringvoolu keskpunktis.

Lahendus. Otsitav väljatugevus on ringvoolu ja sirgvoolu väljatugevuste geomeetriline summa:

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 .$$

Kuna antud juhul väljatugevused ringvoolu keskpunktis on samasihilised, siis võib geomeetrilise summa asendada aritmee-

tilisega. Kui sirgvoolu suund ühtib kokkupuute kohas ring-
 voolu suunaga, siis H_1 ja H_2 on samasuunalised:

$$H = H_1 + H_2 = \frac{I_1}{2r} + \frac{I_2}{2\pi r} =$$

$$= \frac{10}{2 \cdot 0,1} + \frac{6,28}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1} = 60 \frac{A}{m}.$$

Näide 2. Homogeenses vertikaalses magnetväljas, mille induktsioon $B = 100$ Gs, ripub vabalt vaskjuhe. Kui suure kiirendusega hakkab juhe eemalduma väljast, kui juhtme ristlõikepindala $S = 4 \text{ mm}^2$ ja voolutugevus $I = 8,9$ A?

Lahendus. Magnetväljas, mille induktsioon on B , mõjub Ampere'i seaduse kohaselt $d\ell$ pikkusega ja I voolutugevusega juhtmele jõud

$$dF = BI \cdot d\ell \cdot \sin \alpha.$$

Et antud juhul on väli homogeenne ning $\sin \alpha = 1$, siis ℓ pikkusega juhtmele mõjuv jõud

$$F = B I \ell.$$

Kasutades Newtoni teist seadust saame, et

$$a = \frac{F}{m} = \frac{B I \ell}{\rho \ell S} = \frac{B I}{\rho S} = \frac{10^{-2} \cdot 8,9}{8900 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 2,5 \frac{m}{s^2},$$

kus ρ on juhtme tihedus.

Dimensiooni kontroll:

$$[a] = \frac{[B] [I]}{[\rho] [S]} = \frac{kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1} \cdot A}{kg \cdot m^{-3} \cdot m^2} = \frac{m}{s^2}.$$

Näide 3. Autol on vertikaalne 1,5 m pikkune antenn. Lei-
 da indutseeritud potentsiaalide vahe antenni otstel, kui auto sõidab kiirusega $72 \frac{km}{h}$. Maa magnetvälja tugevuse horisontaalkomponent $H = 0,2$ Oe.

Lahendus. Elektromagnetilise induktsiooni emj. E_1 on määratud magnetvoo muutumise kiirusega:

$$E_1 = - \frac{d\phi}{dt}.$$

Arvestades, et antenn lõikab välja jõujooni täisnurga all, leiame magnetvoo, mida antenn lõikab nihkumisel dh võrra:

$$d\phi = \mu \mu_0 H \ell \cdot dh,$$

kus $\ell \cdot dh$ on pindala, mida läbib magnetvoog.

Seega

$$E_i = \frac{\mu \mu_0 H \ell \cdot dh}{dt} = \mu \mu_0 H \ell u = 1,1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot 79,6 \cdot 1,5 \cdot 20 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ V.}$$

Dimensiooni kontroll:

$$[E_i] = [\mu_0] [H] [\ell] [u]$$

$$E_i = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{A}}{\text{m} \cdot \text{m}} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{A} \cdot \text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V.}$$

Näide 4. Ühekihilise mähisega solenoidi traadi läbimõõt on 0,4 mm. Keerud asetsevad tihedalt üksteise vastas. Solenoidi ruumala on 1500 cm³ ja südamik mittemagnetiline. Leida solenoidi magnetvälja energia, kui solenoidi läbib vool 2 A.

Lahendus. Solenoidi magnetvälja energia

$$W = \frac{L I^2}{2}.$$

Solenoidi induktiivsus

$L = \mu \mu_0 n^2 V$, kus μ on magnetiline läbitavus, μ_0 - magnetiline konstant, V - solenoidi ruumala ja n - solenoidi pikkusühiku kohta tulev keerdude arv.

Kui traadi läbimõõt on d , siis $n = \frac{1}{d}$ ja

$$W = \frac{\mu \mu_0 I^2}{2 d^2} V = \frac{1,1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2^2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (4 \cdot 10^{-4})^2} = 0,024 \text{ J.}$$

Dimensiooni kontroll:

$$[W] = \frac{[\mu_0] [I^2]}{[d^2]} [V] = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{A}^2 \cdot \text{m}^3}{\text{m} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{J}.$$

Näide 5. Pärast kiirendava potentsiaalide vahe $3,52 \cdot 10^3 \text{ V}$ läbimist liigub elektron risti magnetvälja induktsioonijoonetega. Välja induktsioon on $0,01 \text{ T}$. Leida elektroni erilaeng, kui trajektoori raadius $r = 2 \text{ cm}$.

Lahendus. Elektroni erilaenguks nimetatakse elektroni laengu ja massi suhet. Magnetväljas, mille induktsioon on B , risti induktsioonijoonetega, kiirusega v liikuva laengule mõjub Lorentzi jõud:

$$F = B \cdot e \cdot v.$$

See on kesktõmbejõud, mis sunnib laengut liikuma mööda ringi kaart. Seega

$$Bev = \frac{m v^2}{r}.$$

Elektroni kiirus määratakse kiirendava potentsiaalide vahe U kaudu. Eeldades, et kogu elektrivälja jõudude töö läheb elektroni kineetiliseks energiaks, saame:

$$\frac{m v^2}{2} = e U.$$

Teisendades kahte viimast valemit, saame:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 U}{B^2 r^2} = \frac{2 \cdot 3,52 \cdot 10^3}{10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

Dimensiooni kontroll:

$$\begin{aligned} \left[\frac{e}{m} \right] &= \frac{[U]}{[B^2][r^2]} = \frac{V}{T^2 m^2} = \frac{J \cdot C^{-1}}{\text{kg}^2 \cdot s^{-4} \cdot A^{-2} \cdot m^2} = \\ &= \frac{J \cdot C^{-1}}{\text{kg} \cdot m^2 \cdot s^{-2} (A \cdot s)^{-2} \cdot \text{kg}} = \frac{J \cdot C^{-1}}{J \cdot C^{-2} \cdot \text{kg}} = \frac{C}{\text{kg}}. \end{aligned}$$

Näide 6. Kaks elektroni liiguvad sirgjooneliselt ühes suunas, vastavalt kiirustega $v_1 = 4000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ja $v_2 = 8000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Leida magnetvälja tugevus punktis, mis asub esimese elektroni kohal 2 mm kaugusel trajektoorist ajamomendil, mil teine

elektron on esimesest 2 mm kaugusel. Laengute vastastikust mõju mitte arvestada.

Lahendus. Liikuva laengu magnetvälja tugevus

$$H = \frac{e \cdot v \cdot \sin \alpha}{4 \pi r^2},$$

kus e on laengu väärtus, v - laengu kiirus, r - raadiusvektor, mis suundub välja antud punkti, ning α - nurk raadiusvektori ja kiiruse vahel.

Väljatugevuse vektor on risti r ja v tasandiga. Antud juhul väljade suunad ühtivad, s.t. otsitav väljatugevus on liikuvate laengute väljatugevuste summa:

$$\begin{aligned} H &= \frac{e}{4 \pi} \left(\frac{v_1 \sin \alpha_1}{r_1^2} + \frac{v_2 \sin \alpha_2}{r_2^2} \right) = \\ &= \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 3,14} \left(\frac{4 \cdot 10^6 \cdot 1}{4 \cdot 10^{-6}} + \frac{8 \cdot 10^6 \cdot 0,707}{8 \cdot 10^{-6}} \right) = \\ &= 2,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{A}}{\text{m}}. \end{aligned}$$

Dimensiooni kontroll:

$$[H] = \frac{[e][v]}{[r^2]} = \frac{\text{C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}^2} = \frac{\text{A}}{\text{m}}.$$

Näide 7. Vônkering koosneb poolist ja kondensaatorist. Maksimaalsel voolul 1 A on magnetvälja energia poolis 10 000 ergi. Leida vônkeringi periood, kui maksimaalne pinge kondensaatoril ei ületa 1000 V.

Lahendus. Vônkeringi perioodi arvutame Thomsoni valemi-
ga:

$$T = 2 \pi \sqrt{L C}.$$

Maksimaalse voolu I_0 korral on kogu vônkeringi energiaks pooli magnetvälja energia:

$$W = \frac{L I_0^2}{2}.$$

Maksimaalse pingega U_0 korral on kogu võnkeringi energia koon-
dunud kondensaatorisse (elektrivälja energia):

$$W = \frac{C U_0^2}{2} .$$

Kadude puudumisel saab võrdsustada magnetvälja ja elektriväl-
ja maksimaalsed energiad:

$$\frac{L I_0^2}{2} = \frac{C U_0^2}{2} ,$$

millest pärast teisendusi

$$\sqrt{L C} = \frac{2 W}{I_0 U_0} .$$

Seega periood

$$T = \frac{4\pi W}{I_0 U_0} =$$

$$= \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^3} = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$$

Dimensiooni kontroll:

$$[T] = \frac{[W]}{[I][U]} = \frac{J}{\frac{J}{m}} = \text{s.}$$

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks

1. Kaks poolringikujulist juhet asetsevad ühes tasandis ning neil on ühine keskpunkt. Leida väljatugevus poolringide keskpunktis järgmistel tingimustel: esimese poolringi raadius on 10 cm ja teisel 20 cm; samasuunalised voolud on vastavalt 1 A ja 4 A. (Vastus: $30 \frac{A}{m}$.)

2. Kaks pikka sirgjuhet vastavalt vooludega 6 A ja 28 A asetsevad kahes paralleeltasandis nii, et voolude suunad on risti. Leida väljatugevus juhtmete vahele tõmmatud ristsirge keskkohas. Ristsirge pikkus on 10 cm. (Vastus: $24,2 \frac{A}{m}$.)

3. Pika südamikuta solenoidi keskosas, risti tema teljega, asetseb 2 cm pikkune juhe, mida läbib vool 4 A. Juhtmele mõjub jõud $1,0 \cdot 10^{-5}$ N. Leida voolutugevus solenoidis, kui solenoidi 1 cm pikkuse kohta tuleb 10 keerdu. (Vastus: 0,1 A.)

4. 20 g massiga sirgjuhe, mida läbib vool 100 A, hakkab liikuma homogeense magnetvälja mõjul risti väljaga ja lõikab magnetvoo 10^{-4} Wb. Leida juhtme kiirus, kui soojuskadusid mitte arvestada. (Vastus: $1 \frac{m}{s}$.)

5. Millise nurga moodustab sirgjuhe magnetvälja indukttsioonijoontega, kui talle mõjub jõud 0,001 N? Välja indukttsioon on 10 Gs, juhtme pikkus 10 cm, vool juhtmes 10 A. (Vastus: 30° .)

6. Kuidas muutub kahe paralleelse sirgjuhtme vahel mõjuv jõud, kui nad viia õhust keskkonda, mille suhteline magnetiline läbitavus on 0,8 ning juhtmetevahelist kaugust vähendada 2 korda. (Vastus: suureneb 1,6 korda.)

7. Ruudukujuline vooluraam pindalaga 20 cm^2 koosneb 1000 keerust. Raam asub risti homogeenses magnetväljas, mille indukttsioon on 10 Gs. Raami eemaldamiseks väljast kulus 0,02 sekundit. Leida raamis tekkinud emj. väärtus. (Vastus: 0,1 V.)

8. Leida eelmise ülesande andmeil raamis indutseeritud elektriühik, kui mähise vasktraadi läbimõõt on 1 mm. (Vastus: $5,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$.)

9. Prooton liigub risti magnetvälja jõujoontega. Kui suur on trajektoori kõverusraadius, kui välja indukttsioon on 0,1 T? Enne magnetvälja sattumist läbis prooton 1000 V potentsiaalide vahe. (Vastus: 14,4 cm.)

10. Elektron liigub tühjuses sirgjoonelisel kiirusega $2 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$. Kui kaugel trajektoorist on elektroni poolt tekitatud väljatugevus $10^{-6} \frac{A}{m}$? (Vastus: 0,51 mm.)

11. Võnkeringi mahtuvus on $10 \mu F$ ja induktiivsus 0,01 H. Leida võnkeringi periood ja võnkesagedus. (Vastus: 0,002 s ; 500 Hz.)

Ülesanne 1.

a. Kahte pikka paralleelset juhet, millede kaugus teineteisest on 10 cm, läbivad samasuunalised voolud I_1 ja I_2 . Lei-da väljatugevus punktis, mis asub esimesest juhtmest kaugusel r_1 ja teisest kaugusel r_2 . Joonistada vektordiagramm.

Variandi number	$I_1(A)$	$I_2(A)$	$r_1(cm)$	$r_2(cm)$
00	0,5	10	10	10
01	1	11	10	10
02	2	12	10	10
03	3	13	10	10
04	4	14	10	10
05	5	15	10	14
06	6	16	10	14
07	7	17	10	14
08	8	18	10	14
09	9	19	10	14
10	10	20	5,8	11,6
11	11	21	5,8	11,6
12	12	22	5,8	11,6
13	13	23	5,8	11,6
14	14	24	5,8	11,6
15	15	25	5,8	11,6
16	16	26	5,8	11,6
17	17	27	5,8	11,6
18	18	28	5,8	11,6
19	19	29	5,8	11,6

b. Ringvoolu tugevuse I korral on väljatugevus ringvoolu tsentris H. Leida pinge juhtme otstel, kui ristlõikepindala on S.

Variandi number	Juhtme materjal	I (A)	H ($\frac{A}{m}$)	S (mm ²)
20	raud	20	20	2,0
21	"	21	21	2,1
22	"	22	22	2,2
23	"	23	23	2,3
24	"	24	24	2,4
25	nikroom	25	25	2,5
26	"	26	26	2,6
27	"	27	27	2,7
28	"	28	28	2,8
29	"	29	29	2,9
30	vask	30	30	3,0
31	"	31	31	3,1
32	"	32	32	3,2
33	"	33	33	3,3
34	"	34	34	3,4
35	hõbe	35	35	3,5
36	"	36	36	3,6
37	"	37	37	3,7
38	"	38	38	3,8
39	"	39	39	3,9

c. Ringvoolu I_1 raadius on r . Paralleelselt ringvoolu ta-
sandiga, ringvoolu tsentrist kaugusel r_2 asetseb sirgjuhe,
mida läbib vool I_2 . Leida väljatugevus ringvoolu tsentris.

Variandi number	$I_1(A)$	$I_2(A)$	$r_1(cm)$	$r_2(cm)$
40	40	20	10	2,0
41	41	21	11	2,1
42	42	22	12	2,2
43	43	23	13	2,3
44	44	24	14	2,4
45	45	25	15	2,5
46	46	26	16	2,6
47	47	27	17	2,7
48	48	28	18	2,8
49	49	29	19	2,9
50	50	30	20	3,0
51	51	31	21	3,1
52	52	32	22	3,2
53	53	33	23	3,3
54	54	34	24	3,4
55	55	35	25	3,5
56	56	36	26	3,6
57	57	37	27	3,7
58	58	38	28	3,8
59	59	39	29	3,9

d. Mõõda kahte rõngasjuhet, millel on ühine tsepter, voolavad samasuunalised voolud 5 A ja 8 A. Rõngaste raadiused on r_1 ja r_2 . Rõngaid läbivate tasandite vaheline nurk on α . Leida väljatugevus rõngaste tseptris.

Variandi number	r_1 (cm)	r_2 (cm)	α ($^\circ$)
1	2	3	4
60	6,0	8,0	20
61	6,1	8,1	20
62	6,2	8,2	20
63	6,3	8,3	20
64	6,4	8,4	20
65	6,5	8,5	25
66	6,6	8,6	25
67	6,7	8,7	25
68	6,8	8,8	25
69	6,9	8,9	25
70	7,0	9,0	30
71	7,1	9,1	30
72	7,2	9,2	30
73	7,3	9,3	30
74	7,4	9,4	30
75	7,5	9,5	35
76	7,6	9,6	35
77	7,7	9,7	35
78	7,8	9,8	35
79	7,9	9,9	35
80	8,0	10,0	40
81	8,1	10,1	40
82	8,2	10,2	40
83	8,3	10,3	40
84	8,4	10,4	40

1	2	3	4
85	8,5	10,5	45
86	8,6	10,6	45
87	8,7	10,7	45
88	8,8	10,8	45
89	8,9	10,9	45
90	9,0	11,0	50
91	9,1	11,1	50
92	9,2	11,2	50
93	9,3	11,3	50
94	9,4	11,4	50
95	9,5	11,5	55
96	9,6	11,6	55
97	9,7	11,7	55
98	9,8	11,8	55
99	9,9	11,9	55

Ülesanne 2.

a. Neljakihilist solenoidi, mille juhtme ristlõikepindala on S , läbib vool I . Arvutada magnetvälja tugevus solenoidi tsentris.

Variandi number	$I(A)$	$S(mm^2)$	Variandi number	$I(A)$	$S(mm^2)$
00	0,5	1	15	15	4
01	1	1	16	16	4
02	2	1	17	17	4
03	3	1	18	18	4
04	4	1	19	19	4
05	5	2	20	20	5
06	6	2	21	21	5
07	7	2	22	22	5
08	8	2	23	23	5
09	9	2	24	24	5
10	10	3			
11	11	3			
12	12	3			
13	13	3			
14	14	3			

b. Katseseadeldisele on vajalik solenoid, mille keskkohas magnetvälja tugevus oleks $40\,000 \frac{A}{m}$. Mähise valmistamiseks kasutatakse traati läbimõõduga d , mis kannatab voolu kuni I . Mitmekihiline peab olema mähis, kui traadi keerud on tihedalt üksteise vastas?

Variandi number	d (mm)	I (A)	Variandi number	d (mm)	I (A)
25	0,25	1,50	40	0,40	2,30
26	0,26	1,55	41	0,41	2,35
27	0,27	1,60	42	0,42	2,40
28	0,28	1,70	43	0,43	2,45
29	0,29	1,75	44	0,44	2,50
30	0,30	1,80	45	0,45	2,55
31	0,31	1,85	46	0,46	2,60
32	0,32	1,90	47	0,47	2,65
33	0,33	1,95	48	0,48	2,70
34	0,34	2	49	0,49	2,75
35	0,35	2,05			
36	0,36	2,10			
37	0,37	2,15			
38	0,38	2,20			
39	0,39	2,25			

c. Sirgjuhet läbib vool I . Juhtme tasandis asetseb raam, mille pikemad küljed on juhtmega paralleelsed. Raami pindala on S ja raami keskpunkti kaugus juhtmest r . Leida raami läbiv magnetvoog.

Variandi number	I (A)	S (cm ²)	r (m)	Variandi number	I (A)	S (cm ²)	r (m)
50	50	0,5	1	60	60	10	10
51	51	1	1	61	61	11	11
52	52	2	2	62	62	12	12
53	53	3	3	63	63	13	13
54	54	4	4	64	64	14	14
55	55	5	5	65	65	15	15
56	56	6	6	66	66	16	16
57	57	7	7	67	67	17	17
58	58	8	8	68	68	18	18
59	59	9	9	69	69	19	19

d. Ringvoolu, mille raadius on r ja vool I_1 , keskel asetseb väike raam nii, et raami ja ringvoolu tasandite vaheline nurk on α . Leida raamile mõjuv pöördemoment, kui raami pindala on 1 cm^2 ning teda läbib vool 1 A . Raami piirkonnas olev väli lugeda homogeenseks. Keskkonnaks on õhk.

Variandi number	I_1 (A)	r (cm)	α (°)	Variandi number	I_1 (A)	r (cm)	α (°)
70	7,0	7,5	20	85	8,5	15,0	50
71	7,1	8,0	22	86	8,6	15,5	52
72	7,2	8,5	24	87	8,7	16,0	54
73	7,3	9,0	26	88	8,8	16,5	56
74	7,4	9,5	28	89	8,9	17,0	58
75	7,5	10,0	30	90	9,0	17,5	60
76	7,6	10,5	32	91	9,1	18,0	62
77	7,7	11,0	34	92	9,2	18,5	64
78	7,8	11,5	36	93	9,3	19,0	66
79	7,9	12,0	38	94	9,4	19,5	68
80	8,0	12,5	40	95	9,5	20,0	70
81	8,1	13,0	42	96	9,6	20,5	72
82	8,2	13,5	44	97	9,7	21,0	74
83	8,3	14,0	46	98	9,8	21,5	76
84	8,4	14,5	48	99	9,9	22,0	78

Ülesanne 3.

a. Kui tugev peab olema homogeenne (vertikaalne) magnetväli, et tasakaalustada vaba horisontaalset sirgjuhet, mida läbib vool I . Traadi läbimõõt on d .

Variandi number	I (A)	d (mm)	Variandi number	I (A)	d (mm)
1	2	3	1	2	3
00	0,5	1	05	5	2
01	1	1	06	6	2
02	2	1	07	7	2
03	3	1	08	8	2
04	4	1	09	9	2

1	2	3		1	2	3
10	10	3		20	20	5
11	11	3		21	21	5
12	12	3		22	22	5
13	13	3		23	23	5
14	14	3		24	24	5
15	15	4				
16	16	4				
17	17	4				
18	18	4				
19	19	4				

b. Pika solenoidi sees, risti tema teljega, asetseb 5 cm pikkune sirgjuhe, mida läbib vool 10 A. Milline jõud mõjub juhtmele, kui solenoidi 1 cm kohta tuleb n keerdu ja voolutugevus mähises on I ?

Variandi number	$n(\frac{\text{keerd}}{\text{cm}})$	I(A)		Variandi number	$n(\frac{\text{keerd}}{\text{cm}})$	I (A)
25	25	5		40	40	2
26	26	5		41	41	2
27	27	5		42	42	2
28	28	5		43	43	2
29	29	5		44	44	2
30	30	4		45	45	1
31	31	4		46	46	1
32	32	4		47	47	1
33	33	4		48	48	1
34	34	4		49	49	1
35	35	3				
36	36	3				
37	37	3				
38	38	3				
39	39	3				

c. Horisontaalselt kinnitatud sirgjuhet läbib vool I_1 . Kui suur vool peab läbima esimese juhtme all kaugusel r asetsevat teist paralleelset juhet, et ta võiks toetuseta õhus püsida? 1 m pikkuse juhtme raskus on P .

Variandi number	$r(\text{cm})$	$P(\frac{\text{N}}{\text{m}})$	$I_1(\text{A})$	Variandi number	$r(\text{cm})$	$P(\frac{\text{N}}{\text{m}})$	$I_1(\text{A})$
50	5,0	0,10	1000	65	6,5	0,10	1150
51	5,1	0,10	1010	66	6,6	0,10	1160
52	5,2	0,10	1020	67	6,7	0,10	1170
53	5,3	0,10	1030	68	6,8	0,10	1180
54	5,4	0,10	1040	69	6,9	0,10	1190
55	5,5	0,15	1050	70	7,0	0,15	1200
56	5,6	0,15	1060	71	7,1	0,15	1210
57	5,7	0,15	1070	72	7,2	0,15	1220
58	5,8	0,15	1080	73	7,3	0,15	1230
59	5,9	0,15	1090	74	7,4	0,15	1240
60	6,0	0,20	1100				
61	6,1	0,20	1110				
62	6,2	0,20	1120				
63	6,3	0,20	1130				
64	6,4	0,20	1140				

d. Ringikujuline raam, mille raadius on r ja vool I , asub homogeenses magnetväljas. Raami tasapind moodustab välja suunaga nurga α . Kui palju tuleb teha tööd raami pööramisel risti välja suunaga, kui magnetvälja tugevus on H ? Keskkonnaks on õhk.

Variandi number	$H(\frac{\text{A}}{\text{m}})$	$r(\text{cm})$	$I(\text{A})$	$\alpha(^{\circ})$	Variandi number	$H(\frac{\text{A}}{\text{m}})$	$r(\text{cm})$	$I(\text{A})$	$\alpha(^{\circ})$
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
75	75	2,0	1	10	80	80	2,0	2	15
76	76	2,5	1	11	81	81	2,5	2	16
77	77	3,0	1	12	82	82	3,0	2	17
78	78	3,5	1	13	83	83	3,5	2	18
79	79	4,0	1	14	84	84	4,0	2	19

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
85	85	2,0	3	20	95	95	2,0	5	30
86	86	2,5	3	21	96	96	2,5	5	31
87	87	3,0	3	22	97	97	3,0	5	32
88	88	3,5	3	23	98	98	3,5	5	33
89	89	4,0	3	24	99	99	4,0	5	34
90	90	2,0	4	25					
91	91	2,5	4	26					
92	92	3,0	4	27					
93	93	3,5	4	28					
94	94	4,0	4	29					

Ülesanne 4.

a. Elektron, mille energia on W , liigub tühjuses läbi magnetvälja, mille tugevus on H , risti välja suunaga. Arvuta elektronikiirus, Lorentzi jõud ja elektroni trajektoori raadius.

Variandi number	$W(\text{MeV})$	$H(\frac{\text{A}}{\text{m}})$	Variandi number	$W(\text{MeV})$	$H(\frac{\text{A}}{\text{m}})$
1	2	3	1	2	3
00	0,5	1000	15	15	4000
01	1	1000	16	16	4000
02	2	1000	17	17	4000
03	3	1000	18	18	4000
04	4	1000	19	19	4000
05	5	2000	20	20	5000
06	6	2000	21	21	5000
07	7	2000	22	22	5000
08	8	2000	23	23	5000
09	9	2000	24	24	5000
10	10	3000	25	25	6000
11	11	3000	26	26	6000
12	12	3000	27	27	6000
13	13	3000	28	28	6000
14	14	3000	29	29	6000

1	2	3	1	2	3
30	30	7000	40	40	9000
31	31	7000	41	41	9000
32	32	7000	42	42	9000
33	33	7000	43	43	9000
34	34	7000	44	44	9000
35	35	8000	45	45	10000
36	36	8000	46	46	10000
37	37	8000	47	47	10000
38	38	8000	48	48	10000
39	39	8000	49	49	10000

b. Solenoidi keskele lendas läbi spetsiaalse ava elektron risti välja suunaga. Solenoidil on 50 keerdu 1 cm kohta ja ta asub tühjuses. Voolutugevus mähises on I ja elektroni kiirus solenoidi sisenemisel u. Arvutada Lorentzi jõud.

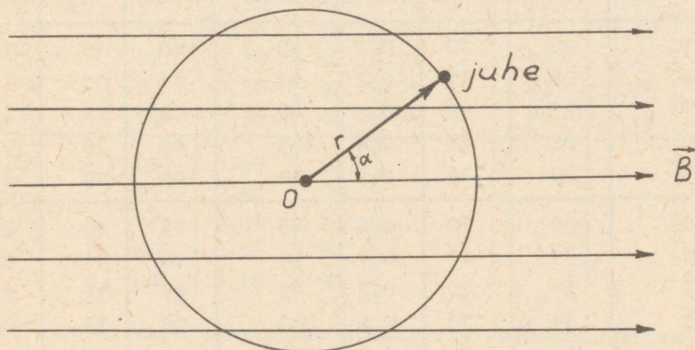
Variandi number	$u(\frac{m}{s})$	I(A)	Variandi number	$u(\frac{m}{s})$	I(A)
50	5000	1	65	6500	4
51	5100	1	66	6600	4
52	5200	1	67	6700	4
53	5300	1	68	6800	4
54	5400	1	69	6900	4
55	5500	2	70	7000	5
56	5600	2	71	7100	5
57	5700	2	72	7200	5
58	5800	2	73	7300	5
59	5900	2	74	7400	5
60	6000	3			
61	6100	3			
62	6200	3			
63	6300	3			
64	6400	3			

c. Kaks elektroni liiguvad ühes suunas sirgjooneliselt ja paralleelselt kiirustega u_1 ja u_2 . Määrata magnetvälja tugevus lõigu keskel, mis on risti trajektooridega ja mida mõlemad elektronid läbivad samaaegselt. Lõigu pikkus on l .

Variandi number	$u_1 (\frac{m}{s})$	$u_2 (\frac{m}{s})$	l (cm)
75	$75 \cdot 10^3$	$15 \cdot 10^3$	0,1
76	$76 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$	0,1
77	$77 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	0,1
78	$78 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^3$	0,1
79	$79 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^3$	0,1
80	$80 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	0,2
81	$81 \cdot 10^3$	$21 \cdot 10^3$	0,2
82	$82 \cdot 10^3$	$22 \cdot 10^3$	0,2
83	$83 \cdot 10^3$	$23 \cdot 10^3$	0,2
84	$84 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$	0,2
85	$85 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$	0,3
86	$86 \cdot 10^3$	$26 \cdot 10^3$	0,3
87	$87 \cdot 10^3$	$27 \cdot 10^3$	0,3
88	$88 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^3$	0,3
89	$89 \cdot 10^3$	$29 \cdot 10^3$	0,3
90	$90 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	0,4
91	$91 \cdot 10^3$	$31 \cdot 10^3$	0,4
92	$92 \cdot 10^3$	$32 \cdot 10^3$	0,4
93	$93 \cdot 10^3$	$33 \cdot 10^3$	0,4
94	$94 \cdot 10^3$	$34 \cdot 10^3$	0,4
95	$95 \cdot 10^3$	$35 \cdot 10^3$	0,5
96	$96 \cdot 10^3$	$36 \cdot 10^3$	0,5
97	$97 \cdot 10^3$	$37 \cdot 10^3$	0,5
98	$98 \cdot 10^3$	$38 \cdot 10^3$	0,5
99	$99 \cdot 10^3$	$39 \cdot 10^3$	0,5

Ülesanne 5.

a. Homogeenses magnetväljas, mille induksioon on $0,04\text{ T}$, tiirleb mööda ringjoont sirge juhtmelõik nii, et ta on kogu aeg risti induksioonijoontega. Juhtme pikkus on l ja liikumiskiirus u . Leida juhtme otstevaheline pinge momendil, mil nurk raadiusvektori ja induksioonijoonte vahel on α (joon.8).



Joon. 8.

Variandi number	$u(\frac{m}{s})$	$l(\text{cm})$	$\alpha(^{\circ})$	Variandi number	$u(\frac{m}{s})$	$l(\text{cm})$	$\alpha(^{\circ})$
00	0,5	10	20	15	15	25	50
01	1	11	20	16	16	26	50
02	2	12	20	17	17	27	50
03	3	13	20	18	18	28	50
04	4	14	20	19	19	29	50
05	5	15	30	20	20	30	60
06	6	16	30	21	21	31	60
07	7	17	30	22	22	32	60
08	8	18	30	23	23	33	60
09	9	19	30	24	24	34	60
10	10	20	40				
11	11	21	40				
12	12	22	40				
13	13	23	40				
14	14	24	40				

b. Sirge juhe, mille pikkus on l , liigub homogeeneses magnetväljas kiirusega u risti induksioonijoonetega. Induksioon on $0,05$ T. Sirge juhtme ja sulgeva juhtme takistus on R . Leida indutseeritud voolu tugevus, eeldades, et sulgev juhe välja ei löika.

Variandi number	$l(\text{cm})$	$u(\frac{\text{m}}{\text{s}})$	$R (\Omega)$	Variandi number	$l(\text{cm})$	$u(\frac{\text{m}}{\text{s}})$	$R (\Omega)$
25	25	10	0,1	40	40	10	1,6
26	26	11	0,2	41	41	11	1,7
27	27	12	0,3	42	42	12	1,8
28	28	13	0,4	43	43	13	1,9
29	29	14	0,5	44	44	14	2,0
30	30	10	0,6	45	45	10	2,1
31	31	11	0,7	46	46	11	2,2
32	32	12	0,8	47	47	12	2,3
33	33	13	0,9	48	48	13	2,4
34	34	14	1,0	49	49	14	2,5
35	35	10	1,1				
36	36	11	1,2				
37	37	12	1,3				
38	38	13	1,4				
39	39	14	1,5				

c. Homogeeneses magnetväljas, mille induksioon on $0,01$ T, asub ruudukujuline raam. Raami külje pikkus on a ning tema tasand moodustab välja joontega nurga α . Raam pöörati välja jaga risti. Kui suur elektrihulk indutseeritakse seejuures raamis? Raam on valmistatud vaskjuhtmest, mille diameeter on d .

Variandi number	a(cm)	d(mm)	$\alpha(^{\circ})$	Variandi number	a(cm)	d(mm)	$\alpha(^{\circ})$
50	50	0,20	30	65	65	0,50	60
51	51	0,22	30	66	66	0,52	60
52	52	0,24	30	67	67	0,54	60
53	53	0,26	30	68	68	0,56	60
54	54	0,28	30	69	69	0,58	60
55	55	0,30	40	70	70	0,60	70
56	56	0,32	40	71	71	0,62	70
57	57	0,34	40	72	72	0,64	70
58	58	0,36	40	73	73	0,66	70
59	59	0,38	40	74	74	0,68	70
60	60	0,40	50				
61	61	0,42	50				
62	62	0,44	50				
63	63	0,46	50				
64	64	0,48	50				

d. On vaja valmistada südamikuta solenoid, mille induktiivsus on L ja ristlõikepindala S . Kui palju kulub selleks juhet, mille diameeter on d ?

Variandi number	$S(\text{cm}^2)$	d(mm)	L(H)	Variandi number	$S(\text{cm}^2)$	d(mm)	L(H)
75	7,5	0,1	0,001	90	9,0	0,4	0,004
76	7,6	0,1	0,001	91	9,1	0,4	0,004
77	7,7	0,1	0,001	92	9,2	0,4	0,004
78	7,8	0,1	0,001	93	9,3	0,4	0,004
79	7,9	0,1	0,001	94	9,4	0,4	0,004
80	8,0	0,2	0,002	95	9,5	0,5	0,005
81	8,1	0,2	0,002	96	9,6	0,5	0,005
82	8,2	0,2	0,002	97	9,7	0,5	0,005
83	8,3	0,2	0,002	98	9,8	0,5	0,005
84	8,4	0,2	0,002	99	9,9	0,5	0,005
85	8,5	0,3	0,003				
86	8,6	0,3	0,003				
87	8,7	0,3	0,003				
88	8,8	0,3	0,003				
89	8,9	0,3	0,003				

Ülesanne 6.

a. Vônkering koosneb kondensaatorist (mahtuvus C) ja südamikuta poolist (induktiivsus L). Hiljem asetati pooli ferriitsüdamik, mille suhteline magnetiline läbitavus on 1000. Arvutada vônkeringi periood mõlemal juhul. Kui suured on nendele perioodidele vastavad lainepikkused?

Variandi number	$C(\text{pF})$	$L(\mu\text{H})$	Variandi number	$C(\text{pF})$	$L(\mu\text{H})$
00	200	0,5	25	200	25
01	300	1	26	300	26
02	400	2	27	400	27
03	500	3	28	500	28
04	600	4	29	600	29
05	200	5	30	200	30
06	300	6	31	300	31
07	400	7	32	400	32
08	500	8	33	500	33
09	600	9	34	600	34
10	200	10	35	200	35
11	300	11	36	300	36
12	400	12	37	400	37
13	500	13	38	500	38
14	600	14	39	600	39
15	200	15	40	200	40
16	300	16	41	300	41
17	400	17	42	400	42
18	500	18	43	500	43
19	600	19	44	600	44
20	200	20	45	200	45
21	300	21	46	300	46
22	400	22	47	400	47
23	500	23	48	500	48
24	600	24	49	600	49

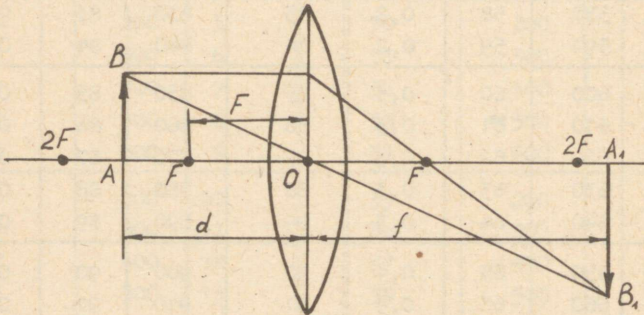
b. Vônkering, mille periood on T, koosneb induktiivsusest ja mahtuvusest C. Leida vônkeringi energia ajamomendil, mil vool poolis saavutab maksimaalväärtuse I_{\max} .

Variandi number	C(pF)	T(ns)	I_{\max} (A)	Variandi number	C(pF)	T(ns)	I_{\max} (A)
50	500	50	0,1	75	750	75	0,1
51	510	51	0,1	76	760	76	0,1
52	520	52	0,1	77	770	77	0,1
53	530	53	0,1	78	780	78	0,1
54	540	54	0,1	79	790	79	0,1
55	550	55	0,2	80	800	80	0,2
56	560	56	0,2	81	810	81	0,2
57	570	57	0,2	82	820	82	0,2
58	580	58	0,2	83	830	83	0,2
59	590	59	0,2	84	840	84	0,2
60	600	60	0,3	85	850	85	0,3
61	610	61	0,3	86	860	86	0,3
62	620	62	0,3	87	870	87	0,3
63	630	63	0,3	88	880	88	0,3
64	640	64	0,3	89	890	89	0,3
65	650	65	0,4	90	900	90	0,4
66	660	66	0,4	91	910	91	0,4
67	670	67	0,4	92	920	92	0,4
68	680	68	0,4	93	930	93	0,4
69	690	69	0,4	94	940	94	0,4
70	700	70	0,5	95	950	95	0,5
71	710	71	0,5	96	960	96	0,5
72	720	72	0,5	97	970	97	0,5
73	730	73	0,5	98	980	98	0,5
74	740	74	0,5	99	990	99	0,5

Näidisülesandeid

Näide 1. Millisele kaugusele esemest tuleb paigutada ekraan, et tasakumer lääts kõverusraadiusega $R = 20$ cm ja murdumisnäitajaga $n = 1,5$ annaks esemest kaks korda suurendatud kujutise?

Lahendus. Kuna kujutis on suurendatud ja tõeline, siis peab ese asuma peafookuse ja kahekordse fookuskauguse vahel. Seda arvestades teeme joonise ja määrame d ja f suhte (joon. 9).



Joon. 9.

Kolmnurkade $\triangle ABO$ ja $\triangle A_1B_1O$ sarnasusest ja ülesande tingimustest saame, et $\frac{f}{d} = 2$, millest

$$f = 2d. \quad (1)$$

Määrame läätsse optilise tugevuse õhukese läätsse valemi järgi.

$$D = \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (2)$$

kus n on läätsse suhteline murdumisnäitaja ja R_1 ning R_2 - läätsse pinna kõverusraadiused.

Ülesande tingimuste järgi $R_1 = 20 \text{ cm}$ ja $R_2 \rightarrow \infty$ ning $n = 1,5$. Andmete paigutamisel võrrandisse (2) saame

$$\frac{1}{F} = (1,5 - 1) \left(\frac{1}{20} + 0 \right)$$

$$\frac{1}{F} = 0,5 \cdot \frac{1}{20} \text{ cm}^{-1} = \frac{1}{40} \text{ cm}^{-1}$$

$$F = 40 \text{ cm.}$$

Kasutame võrrandit

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

ja kuna $f = 2 \text{ d}$, siis

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{2d}$$

või

$$2d = 3F, \quad \text{s.o.}$$

$$d = 60 \text{ cm}, \quad f = 2d = 120 \text{ cm.}$$

Kaugus ekraani ja eseme vahel on seega

$$f + d = 120 + 60 = 180 \text{ cm.}$$

Näide 2. Autolambi hõõgniit on silindrikujuline spiraal, mille diameeter on 1 mm ja pikkus 0,8 cm. Spiraal tekitab 1 m kaugusel teljega ristiolevas suunas valgustustugevuse 12 lx. Leida antud suunas valgustustugevus ja heledus.

Lahendus. Autolambi hõõgniiti võib lugeda punktvalgusallikaks, kuna tema mõõtmed on väikesed, võrreldes kaugusega kohani, kus määrati valgustustugevus. Valgustustugevuse määramise valemist $E = \frac{I}{r^2}$, millest $I = E r^2 = 12 \cdot 1^2 = 12 \text{ cd}$. Heledus on võrdne valgustustugevusega pinnaühiku kohta tema normaali suunas, s.o.

$$B = \frac{I}{S},$$

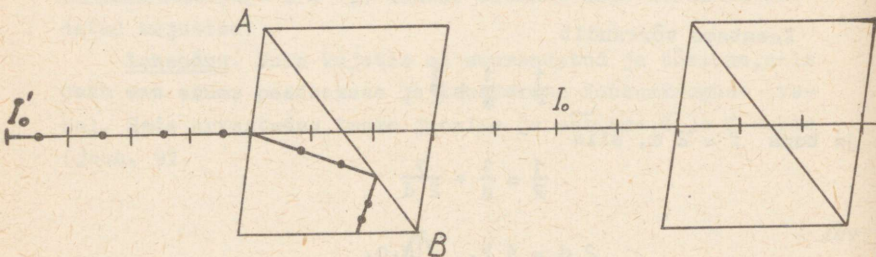
kus S on spiraali projektsiooni pindala. Projektsioon tuleb leida kiirega ristiolevale pinnale. Selle väärtuseks on siis spiraali pikkus ja diameetri korrutis:

$$S = \ell \cdot d.$$

Seega

$$B = \frac{I}{S} = \frac{I}{1 \cdot d} = \frac{12}{0,8 \cdot 0,1} = 150 \text{ stilbi} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ nitti.}$$

Näide 3. Mitu korda väheneb loomuliku valguse intensiivsus, kui ta läbib kaks nikolit, mille polarisatsioonipinnad moodustavad 60° nurga? Kumbki nikol neelab 10% temale langevast valgusest (joon.10).



Joon. 10.

Lahendus. Loomulik valgus prisma jaguneb harilikuks ja ebaharilikuks kiireks. Mõlemad kiired on polariseeritud teineteise suhtes rist-suundades. Harilik kiir allub murdumisestadustele ja, sattudes kanada palsami kihile, teeb läbi täieliku sisepeegeldumise ning neeldub prisma mustal külgtahul. Ebaharilik kiir läbib prisma kõrvalekaldumata ja tema intensiivsus väheneb neeldumise tõttu.

Polarisaatori läbinud valguse intensiivsus on

$$I_0 = 0,5(1 - k) I_0' = 0,5(1 - 0,1)I_0' = 0,45 I_0'$$

kus $k = 0,10$ (10%) on suhteline valgusekadu prisma, I_0' on polarisaatorile langeva valguse intensiivsus.

Polariseeritud valgus neeldub analüsaatoris (teine nikol) veel kI_0 võrra ja peale selle nõrgeneb seetõttu, et nikolite polarisatsioonipinnad ei ühti. Maluse seaduse järgi

$$\begin{aligned} I &= I_0 (1 - k) \cos^2 \alpha = \\ &= 0,5 I_0' \cdot 0,9 \cdot \cos^2 60^\circ = 0,101 I_0' . \end{aligned}$$

Intensiivsuse suhteline nõrgenemine

$$n = \frac{I'_0}{I} = \frac{I'_0}{0,1 I'_0} = 10.$$

Näide 4. Mitu maksimumi annab difraktsioonivõre, millel on 500 joont 1 mm kohta. Langeva valguse lainepikkus on 0,598 μm .

Lahendus. Võrekonstant

$$a + b = \frac{1}{500} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 2 \mu\text{m}.$$

Maksimumide asukohta määrab seos

$$(a + b) \sin \varphi = k \lambda,$$

kus $a + b$ on võrekonstant, φ - maksimumi põhjustavate kiirte kõrvalekaldenurk, λ - lainepikkus ja k - spektri järk.

Sellest seosest määrame maksimumide kõrgeima järgu. Piir-
nurgaks on $\varphi_{\max} = 90^\circ$, järelikult $\sin \varphi_{\max} = 1$. Seetõttu

$$k = \frac{(a + b) \sin \varphi}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1}{0,598} = 3,4.$$

Kuna k peab olema täisarv, siis järelikult $k_{\max} = 3$. Sel-
lele vastava nurga siinus

$$\sin \varphi = \frac{k \lambda}{a + b} = \frac{3 \cdot 0,598}{2,000} = 0,883 \text{ ja nurk } \alpha = 62^\circ.$$

Näide 5. Kiirendaja annab elektronidele energia $4,08 \cdot 10^6$ eV. Leida elektroni kiirus ja massi muutus.

Lahendus. Relatiivsusteooria järgi elektroni kineetiline energia

$$W_k = m c^2 - m_0 c^2, \quad (1)$$

kus $m c^2$ on elektroni koguenergia ja $m_0 c^2$ - elektroni sel-
senergia. Elektroni korral $m_0 c^2 = 0,51 \text{ MeV}$.

Mass sõltub kiirusest

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

kus m_0 on paigalseisva osakese mass, m - liikuva osakese mass, u - osakese kiirus ja c - valguse kiirus tühjuses.

Asetame seose (2) võrrandisse (1):

$$W_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - m_0 c^2 . \quad (3)$$

Jagame mõlemad pooli liikmega $m_0 c^2$:

$$\frac{W_k}{m_0 c^2} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - 1. \quad (4)$$

Arvutame võrrandi (4) vasaku poole väärtuse:

$$\frac{W_k}{m_0 c^2} = \frac{4,08 \cdot 10^6 \text{ eV}}{0,51 \cdot 10^6 \text{ eV}} = 8.$$

Paigutame saadud väärtuse võrrandisse (4), saame

$$8 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - 1 \quad \text{ehk}$$

$$9 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}},$$

millest $\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} = \frac{1}{9}$. Tõstes mõlemad pooled ruutu,

saame $\frac{u^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{81}$ ehk

$$\frac{u^2}{c^2} = \frac{80}{81},$$

millest määrame elektroni kiiruse

$$u = \sqrt{\frac{80}{81}} c = 0,98 c.$$

Seega elektroni kiirus on lähedane valguse kiirusele, kuid siiski sellest väiksem.

Teades elektroni kiirust, määrame valemi (2) abil nende massi muutuse

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{80^2 c^2}{81 c^2}}},$$

millest $m = 9 m_0$.

Järelikult on elektroni mass, mille kiirus on 0,98 c, 9 korda suurem elektroni seisumassist.

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks

1. Üleminekul veest klaasi murdus kiir 26° nurga all. Leida langemisnurk. (Vastus: 30° .)
2. Koondava läätses optiline tugevus õhus on 10 dioptriat. Kui suur on see vees? (Vastus: 0,025 dioptriat.)
3. Teleskoobi objektiivi fookuskaugus on 4 m ja okulaaril 3,2 cm. Millise nurksuurenduse annab teleskoop? (Vastus: 125.)
4. Mikroskoobi objektiivi fookuskaugus on 2,5 cm, okulaaril 50 mm, Okulaari ja objektiivi fookustevaheline kaugus on 15 cm. Leida mikroskoobi suurendus. (Vastus: 300.)
5. Teleskoobi objektiiv koosneb kahest kokkupuutuvast õhukesest läätsest: koondav ($F_1 = 1$ m) ja hajutav ($F_2 = 3$ m). Leida okulaari fookuskaugus, kui teleskoobi suurendus on 60. (Vastus: 1,8 m.)
6. Kui suure valgustugevusega lamp tuleb riputada 5 m kõrgusele postile, et valgustustugevus 5 m kaugusel posti jalast oleks 2 lx? (Vastus: 100 cd.)
7. Kui suure valgustustugevuse annab piimklaasist kera ($d = 40$ cm) 10 m kaugusel, kui ta pinna heledus on 2000 nitti? (Vastus: 2,5 lx.)
8. Võrrelge hõõguva metallkera (heledus 10^6 nitti) valgustugevust piimklaasist kera (heledus 10^3 nitti) valgustu-

gevusega, kui kera raadius on 0,1 cm ja klaaskeral 0,1 m. (Vastus: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{10}$.)

9. Seebikile vaatlemisel 30° nurga all (normaali suhtes) paistab ta peegeldunud valguses violetset värvi ($\lambda = 0,4 \mu\text{m}$). Kui suur on kile minimaalne paksus? (Vastus: 81 nm.)

10. Difraktsioonivõrele, mille konstant on $4 \mu\text{m}$, langeb monokromaatiline valgus. Teist järku spektrite vaheline nurk on 36° . Leida langeva valguse lainepikkus. (Vastus: $\lambda = 602 \text{ nm}$.)

11. Difraktsioonivõrele, millel on 500 joont 1 nm kohta, langeb valgus, mille lainepikkus on 600 nm. Leida spektri kõrgem järk, mida võib selle võrega saada. (Vastus: 3.)

12. Leida täieliku polarisatsiooni nurk mustalt peeglit peegeldumisel. Peegli murdumisnäitaja $n = 1,327$. (Vastus: 53° .)

13. Millise nurga all horisondi suhtes asub Päike, kui päikesekiirte peegeldumisel veepinnalt on polarisatsioon maksimaalne? (Vastus: 37° .)

14. Leida klaasi murdumisnäitaja, kui valguse peegeldumisel sellelt klaasilt on peegeldunud kiir täielikult polariseeritud murdumisnurga 30° juures. (Vastus: $n = 1,73$.)

15. Mitu korda väheneb loomuliku valguse intensiivsus tema läbiminekul kahest nikolist, mille polarisatsioonipinnad moodustavad 60° ? (Vastus: 8.)

KONTROLLTÖÖ nr. 5

Ülesanne 1.

a. Luubi fookuskaugus on F. Leida suurendus, mille annab luup. Parima nägemise kaugus: normaalsel silmal 25 cm, kaugelenägiljal 40 cm, lühinägiljal 10 cm.

Variandi number	F(cm)	Variandi number	F(cm)
00	1,0	10	6,0
01	1,5	11	6,5
02	2,0	12	7,0
03	2,5	13	7,5
04	3,0	14	8,0
05	3,5	15	8,5
06	4,0	16	9,0
07	4,5	17	9,5
08	5,0	18	9,75
09	5,5	19	10,0

b. Leida luubi, mis koosneb kahest tihedalt kokkupuutes olevast läätsesest, optiline tugevus. Esimese läätses fookuskaugus on F ja teise läätses optiline tugevus D. Leida selle luubi suurenendus eeldusel, et silma parima nägemise kaugus on 25 cm.

Variandi number	F(cm)	D(dptr)	Variandi number	F(cm)	D(dptr)
20	10	0,1	30	20	0,1
21	10	0,25	31	20	0,2
22	10	0,5	32	20	0,5
23	10	1,0	33	20	0,8
24	10	2,5	34	20	1,0
25	10	5,0	35	20	1,5
26	10	10,0	36	20	2,0
27	10	20,0	37	20	5,0
28	10	25,0	38	20	10,0
29	10	50,0	39	20	20,0

c. Kui suur on õhukese kaksikkumera klaasläätse ($n = 1,5$) fookuskaugus, kui tema pindade kõverusraadiused on $R_1=R_2=R$?

Variandi number	R(cm)	Variandi number	R(cm)	Variandi number	R(cm)
40	40	47	47	54	54
41	41	48	48	55	55
42	42	49	49	56	56
43	43	50	50	57	57
44	44	51	51	58	58
45	45	52	52	59	59
46	46	53	53		

d. Eseme ja ekraani vahel on kaksikkumer lääts, mille kõverusraadiused on $R_1 = R_2 = R$ ja suurendus on k . Läätse materjali murdumisnäitaja $n = 1,5$. Leida eseme kaugus ekraanist.

Variandi number	R(cm)	k	Variandi number	R(cm)	k
60	60	60	70	70	70
61	61	61	71	71	71
62	62	62	72	72	72
63	63	63	73	73	73
64	64	64	74	74	74
65	65	65	75	75	75
66	66	66	76	76	76
67	67	67	77	77	77
68	68	68	78	78	78
69	69	69	79	79	79

e. Hajutava läätse fookuskaugus on F. Esemee ja läätse vaheline kaugus on d. Leida eseme ja kujutise vaheline kaugus. Konstrueerige kujutis.

Variandi number	F(cm)	d(cm)	Variandi number	F(cm)	d(cm)
80	10	7	90	20	10
81	11	10	91	20	24
82	12	10	92	19	22
83	13	10	93	18	20
84	14	10	94	17	20
85	15	10	95	16	20
86	16	10	96	15	20
87	17	10	97	14	16
88	18	10	98	13	16
89	19	19	99	12	16

Ülesanne 2.

a. Kerakujulise piimklaasist valgusallika diameeter on d ja valgustugevus I. Leida valgusvoog, heledus ja valgusvoo tihedus.

Variandi number	d(cm)	I(cd)	Variandi number	d(cm)	I(cd)
00	16	40	10	20	40
01	16	60	11	20	60
02	16	80	12	20	80
03	16	100	13	20	100
04	16	120	14	20	120
05	16	140	15	20	140
06	16	160	16	20	160
07	16	180	17	20	180
08	16	200	18	20	200
09	16	240	19	20	240

b. Kui suure võimsusega lamp tuleb riputada postile, mille kõrgus on h , et valgustustugevus lambi all oleks E , kui lamp annab $20 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$?

Variandi number	$h(\text{m})$	$E(\text{lx})$	Variandi number	$h(\text{m})$	$E(\text{lx})$
20	2	15	30	3	20
21	3	15	31	4	20
22	4	15	32	5	20
23	5	15	33	6	20
24	6	15	34	7	20
25	7	15	35	8	20
26	8	15	36	9	20
27	9	15	37	10	20
28	10	15	38	3,5	20
29	2	20	39	4,5	20

c. Laua kohal kõrgusel h on lamp, mille valgustugevus on I . Lambi all laual asetseb leht valget mattpaberit. Paberi peegelduskoefitsient on $0,8$. Leida paberi valgustustugevus, heledus ja valgusvoo tihedus.

Variandi number	$h(\text{m})$	$I(\text{cd})$	Variandi number	$h(\text{m})$	$I(\text{cd})$
40	0,15	20	50	0,25	40
41	0,20	20	51	0,30	40
42	0,25	20	52	0,35	40
43	0,30	20	53	0,40	40
44	0,35	20	54	0,15	60
45	0,40	20	55	0,20	60
46	0,45	20	56	0,25	60
47	0,50	20	57	0,30	60
48	0,15	40	58	0,35	60
49	0,20	40	59	0,40	60

d. Silindrikujulise päevavalguslambi, mille pikkus on l ja diameeter d , valgustugevus silindri teljega risti ole-
vas suunas on I . Leida lambi heledus.

Variandi number	l (cm)	d (mm)	I (cd)	Variandi number	l (cm)	d (mm)	I (cd)
60	60	20	80	70	90	20	90
61	60	20	100	71	90	20	100
62	60	20	105	72	90	20	110
63	60	20	110	73	90	20	120
64	60	20	120	74	90	20	130
65	60	20	130	75	90	20	140
66	60	20	140	76	90	20	150
67	60	20	150	77	90	20	160
68	60	20	160	78	90	20	180
69	60	20	180	79	90	20	200

e. Millist vähimat valgustustugevust peab peegeldama Maa kunstlik kaaslane, mis lendab kõrgusel h , et teda saaks vi-
devikus jälgida palja silmaga. Vähim valgusvoog, mida silm
tajub, on 10^{-13} lm. Silmaava pindala on vaatlusel $0,3 \text{ cm}^2$.

Variandi number	h (km)	Variandi number	h (km)	Variandi number	h (km)
80	160	86	300	93	370
81	180	87	310	94	380
82	200	88	320	95	390
83	220	89	330	96	400
84	240	90	340	97	410
85	280	91	350	98	420
		92	360	99	430

Ülesanne 3.

a. Arvutada n -nda Fresneli tsooni raadius, kui kaugus vaateleja ja tasapinnalise laine frondi vahel on R . Valguse lainepikkus $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$. Märkus: liikmeid, mis sisaldavad λ^2 , mitte arvestada.

Variandi number	R(m)	n	Variandi number	R(m)	n
00	0,5	1	10	10	1
01	1,0	2	11	11	2
02	2	3	12	12	3
03	3	4	13	13	4
04	4	5	14	14	5
05	5	1	15	15	1
06	6	2	16	16	2
07	7	3	17	17	3
08	8	4	18	18	4
09	9	5	19	19	5

b. Vahemaa 4-nda ja 5-nda Newtoni rõnga vahel peegeldunud valguses on 1 mm. Milline on vahemaa N ja $N+1$ rõnga vahel?

Variandi number	N	Variandi number	N
20	1	30	12
21	2	31	13
22	3	32	14
23	5	33	15
24	6	34	16
25	7	35	17
26	8	36	18
27	9	37	19
28	10	38	20
29	11	39	21

c. Seebikelmele, mille murdumisnäitaja $n = 1,3$, langeb normaali suunas monokromaatiline valgus. Leida kile vähim paksus, mille puhul kile heledus peegeldunud valguses on maksimaalne. Valguse lainepikkus on λ .

Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)
40	400	47	470	54	580
41	410	48	480	55	600
42	420	49	490	56	650
43	430	50	500	57	700
44	440	51	520	58	750
45	450	52	540	59	760
46	460	53	560		

d. Seebikelmele, mille murdumisnäitaja $n = 1,3$, langeb normaali suunas monokromaatiline valgus. Leida kile vähim võimalik paksus, mille puhul on kelme heledus interferentsi tõttu maksimaalne.

Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)
60	400	67	580	74	710
61	450	68	600	75	720
62	480	69	620	76	730
63	500	70	640	77	740
64	520	71	660	78	760
65	540	72	680	79	630
66	560	73	700		

e. Monokromaatilise valguse lainepikkus tühjuses on λ . Mitu antud valguse lainepikkust mahub keskkonnas, mille murdumisnäitaja on n , ühemeetrisele lõigule?

Variandi number	λ (nm)	n	Variandi number	λ (nm)	n
80	400	1,5	90	600	1,3
81	420	1,5	91	620	1,3
82	440	1,5	92	640	1,3
83	460	1,5	93	660	1,3
84	480	1,5	94	680	1,3
85	500	1,5	95	700	1,3
86	520	1,5	96	720	1,3
87	540	1,5	97	740	1,3
88	560	1,5	98	760	1,3
89	580	1,5	99	780	1,3

Ülesanne 4.

a. Pilule, mille laius on $5 \mu\text{m}$, langeb normaali suunas valge valgus. Leida lainepikkuse λ jaoks esimest järku difraktsioonimaksimumide vaheline kaugus pilust 100 cm kaugusel asuval ekraanil.

Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)
00	760	10	560
01	740	11	580
02	750	12	600
03	730	13	420
04	720	14	440
05	710	15	460
06	700	16	480
07	500	17	620
08	520	18	650
09	540	19	680

b. Pilule, mille laius on a , langeb normaali suunas monokromaatiline valgus. Leida esimesele difraktsioonimaksimumile vastav kaldenurk, kui valguse lainepikkus on λ .

Variandi number	λ (nm)	a (mm)	Variandi number	λ (nm)	a (mm)
20	400	0,25	30	500	0,12
21	410	0,25	31	550	0,12
22	420	0,25	32	600	0,12
23	430	0,25	33	650	0,12
24	440	0,25	34	700	0,12
25	450	0,25	35	720	0,12
26	460	0,25	36	740	0,12
27	470	0,25	37	750	0,12
28	480	0,25	38	760	0,12
29	490	0,25	39	770	0,12

c. Difraktsioonivõrel on N kriipsu ühe mm kohta. Leida esimest järku spektri pikkus võrest 2 m kaugusel asuval ekraanil. Punase valguse lainepikkus $\lambda = 780$ nm, violetsel valgusel $\lambda = 400$ nm.

Variandi number	$N(\frac{1}{\text{mm}})$	Variandi number	$N(\frac{1}{\text{mm}})$
40	15	50	150
41	20	51	200
42	25	52	250
43	30	53	300
44	35	54	350
45	40	55	400
46	50	56	450
47	60	57	500
48	80	58	550
49	100	59	600

d. Monokromaatiline valgus, mille lainepikkus on λ nm, langeb risti $2,5 \mu\text{m}$ laiusele pilule. Mitu maksimumi tekib ekraanil?

Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)
60	400	68	560	76	720
61	420	69	580	77	740
62	440	70	600	78	760
63	460	71	620	79	780
64	480	72	640		
65	500	73	660		
66	520	74	680		
67	540	75	700		

e. Difraktsioonivõrele, millel on 200 kriipsu ühe mm kohta, langeb monokromaatiline valgus (lainepikkus λ). Lei-da esimest järku spektrite vaheline nurk.

Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)
80	400	90	600
81	420	91	620
82	440	92	640
83	460	93	660
84	480	94	680
85	500	95	700
86	520	96	720
87	540	97	740
88	560	98	760
89	580	99	780

Ülesanne 5.

a. Mitu korda väheneb valguse intensiivsus islandi põstnikoli läbimisel? Valguse neeldumistegur on k.

Variandi number	k(%)	Variandi number	k(%)
00	9,0	10	10,0
01	9,1	11	10,1
02	9,2	12	10,2
03	9,3	13	10,3
04	9,4	14	10,4
05	9,5	15	10,5
06	9,6	16	10,6
07	9,7	17	10,7
08	9,8	18	10,8
09	9,9	19	10,9

b. Leida kahe polaroidi polarisatsioonitasandite vaheline nurk, kui valguse intensiivsus polaroidide läbides väheneb n korda. Valguse neeldumist polaroidides mitte arvestada.

Variandi number	n	Variandi number	n	Variandi number	n
20	1,5	27	5,0	34	8,5
21	2,0	28	5,5	35	9,0
22	2,5	29	6,0	36	9,5
23	3,0	30	6,5	37	10,0
24	3,5	31	7,0	38	10,5
25	4,0	32	7,5	39	11,0
26	4,5	33	8,0		

c. Loomulik valgus langeb kahe keskkonna lahutuspinnale. Millise langemisnurga korral on peegeldunud kiir täielikult polariseeritud? Keskkondade suhteline murdumisnäitaja on n.

Variandi number	n	Variandi number	n
40	1,40	50	1,50
41	1,41	51	1,51
42	1,42	52	1,52
43	1,43	53	1,53
44	1,44	54	1,54
45	1,45	55	1,55
46	1,46	56	1,56
47	1,47	57	1,57
48	1,48	58	1,58
49	1,49	59	1,59

d. Polariseeritud valgus läbis 12 cm paksuse glükoosi vesilahuse kihi, mille tulemusena polarisatsioonitasand pöör-
 dus nurga α võrra. Määrata lahuse kontsentratsioon, kui on
 teada, et lahuse kontsentratsiooniga 4,5 g glükoosi 100 cm³
 lahuse kohta ja paksusega 10 cm pöörab polarisatsioonitasan-
 dit 52,76° ($\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ ja $t = 20^\circ\text{C}$ korral).

Variandi number	α (°)	Variandi number	α (°)	Variandi number	α (°)
60	60	67	67	74	74
61	61	68	68	75	75
62	62	69	69	76	76
63	63	70	70	77	77
64	64	71	71	78	78
65	65	72	72	79	79
66	66	73	73		

e. Mitme protsendi võrra nõrgeneb valgus, kui ta läbib
 kahte nikolit, millede polarisatsioonitasandid moodustavad
 nurga α ? Valguse peegeldumist mitte arvestada.

Variandi number	$\alpha (^{\circ})$	Variandi number	$\alpha (^{\circ})$	Variandi number	$\alpha (^{\circ})$
80	80	87	87	94	94
81	81	88	88	95	95
82	82	89	89	96	96
83	83	90	90	97	97
84	84	91	91	98	98
85	85	92	92	99	99
86	86	93	93		

Ülesanne 6.

a. Elektron lendab kiirusega k (valguse kiiruse osades).

Mitu korda on tema mass suurem seisva elektroni omast?

Variandi number	$k = \frac{v}{c}$	Variandi number	$k = \frac{v}{c}$	Variandi number	$k = \frac{v}{c}$	Variandi number	$k = \frac{v}{c}$
00	0,05	05	0,5	10	0,10	15	0,15
01	0,1	06	0,6	11	0,11	16	0,16
02	0,2	07	0,7	12	0,12	17	0,17
03	0,3	08	0,8	13	0,13	18	0,18
04	0,4	09	0,9	14	0,14	19	0,19

b. Millise kiirusega (valguse kiiruse osades) liigub

osake, kui tema mass on n korda suurem osakese seisumassist?

Variandi number	n	Variandi number	n
20	1,2	30	3,2
21	1,4	31	3,4
22	1,6	32	3,6
23	1,8	33	3,8
24	2,0	34	4,0
25	2,2	35	4,2
26	2,4	36	4,4
27	2,6	37	4,6
28	2,8	38	4,8
29	3,0	39	5,0

c. Päikese mass $m = 2 \cdot 10^{33}$ g. Ta kiirgab maailmaruumi igas sekundis $4 \cdot 10^{26}$ J. Mitu kg massi kaotab Päike t aastaga ja millise osa moodustab see kaotus tema massist?

Variandi number	t(a)	Variandi number	t(a)
40	40	50	50
41	41	51	51
42	42	52	52
43	43	53	53
44	44	54	54
45	45	55	55
46	46	56	56
47	47	57	57
48	48	58	58
49	49	59	59

d. Leida prootoni kiirus, kui ta kineetiline energia on W MeV. Arvestada massi muutust.

Variandi number	W(MeV)	Variandi number	W(MeV)	Variandi number	W(MeV)
60	60	67	67	74	74
61	61	68	68	75	75
62	62	69	69	76	76
63	63	70	70	77	77
64	64	71	71	78	78
65	65	72	72	79	79
66	66	73	73		

e. Prooton liigub kiirusega $k = \frac{u}{c}$, kus u on prootoni kiirus, c - valguse kiirus. Leida prootoni kineetiline energia.

Variandi number	$k = \frac{u}{c}$	Variandi number	$k = \frac{u}{c}$
80	0,1	90	0,09
81	0,2	91	0,80
82	0,25	92	0,85
83	0,50	93	0,86
84	0,75	94	0,60
85	0,15	95	0,55
86	0,05	96	0,65
87	0,04	97	0,70
88	0,05	98	0,72
89	0,08	99	0,74

19. Kvantoptika nähtused. Aatomi- ja

tuumafüüsika

Näidisülesandeid

Näide 1. Päikese pinna kiirgusvõime maksimum langeb lainepikkusele 482 nm. Leida: 1) Päikese pinna temperatuur; 2) Päikese pinna kogukiirguse võimsus; 3) valguse rõhk Maa pinnal (peegeldumise koefitsient lugeda võrdseks 0,6-ga).

Lahendus. 1. Päikest võib lugeda absoluutselt mustaks kehaks. Seepärast kasutame Päikese pinna temperatuuri arvutamiseks Wiener seadust

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}},$$

kus T on keha absoluutne temperatuur, λ_{\max} - lainepikkus, millele vastab kiirguse maksimum ja b - Wieneri konstant.

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{deg}}{482 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6000^\circ \text{ K.}$$

2. Päikese pinna integraalne ehk kogukiirgusvõimsus, mis

haarab koiki lainepikkusi $N = W \cdot S$, kus absoluutselt musta keha kiirgusvõime arvutatakse Stefani-Boltzmanni seadusega

$$W = \sigma T^4 .$$

Päikese pindala

$$S = 4\pi r^2 ,$$

kus r on Päikese raadius.

$$\begin{aligned} N &= \sigma T^4 \cdot 4\pi r^2 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (6000)^4 \cdot 4\pi \cdot (6,95 \cdot 10^8)^2 = \\ &= 4,5 \cdot 10^{26} \text{ W} \end{aligned}$$

$$[N] = \text{m}^2 \cdot \text{J}/(\text{m}^2 \text{s} \cdot \text{deg}^4) \cdot \text{deg}^4 = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} .$$

3. Valguse rõhu P leiame Maa pinnale langeva kiirgusvoo tiheduse I ja Maa pinna keskmise peegeldumiskoefitsiendi $\rho = 0,6$ kaudu:

$$P = \frac{I}{c} (1 + \rho) .$$

Energiavoo tihedus Maa pinnal on Päikese kogukiirguse võimsuse ja kera, mille raadius on R , jagatis, kus R on Maa keskmine kaugus Päikesest ($1,495 \cdot 10^{11}$ m). Asetades I avaldise valguse rõhu valemisse, saame

$$\begin{aligned} P &= \frac{N}{4\pi R^2 c} \cdot (1 + \rho) = \\ &= \frac{4,5 \cdot 10^{26} \cdot (1 + 0,6)}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,495 \cdot 10^{11})^2 \cdot 3 \cdot 10^8} = 8,55 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} , \end{aligned}$$

$$[P] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{m/s}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} .$$

Näide 2. Leida vesiniku spektri Balmeri seeria neljandale joonele vastava footoni energia.

Lahendus. Footoni energia avaldub valemiga:

$$\mathcal{E} = h \frac{c}{\lambda} ,$$

kus h on Plancki konstant, c - valguse kiirus ja λ - lainepikkus. Lainepikkuse pöördväärtuse ehk laine arvu määrame Balmeri valemist

$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, $n = 3, 4, 5, \dots$, kus R on Rydbergi konstant ja n - orbiidi number, millelt toimus elektroni üleminek teisele orbiidile. Asetades Balmeri valemi avaldisse (1), saame

$$\begin{aligned} \varepsilon &= h c R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) = \\ &= 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,097 \cdot 10^7 \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2}\right) = 4,85 \cdot 10^{-19} \text{ J.} \end{aligned}$$

Näide 3. Elektroni ja positroni vastastikusel mõjumisel osakesed kaovad ja nende asemele tekivad kaks ühesugust γ -kvanti. Leida γ -kvandi lainepikkus, kui kummagi osakese kineetiline energia on 5,49 MeV.

Lahendus. Energia jäävuse seaduse põhjal

$$2 h \gamma = 2 m_0 c^2 + W_e + W_p,$$

kus $h \gamma$ on γ -kvandi energia, W_e - elektroni kineetiline energia, W_p - positroni kineetiline energia, $m_0 c^2$ - osakese seisenergia.

Elektroni ja positroni seisenergia $m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV}$.

Seega

$$2 h \gamma = 2 \cdot 0,511 + 2 \cdot 5,49 = 12 \text{ MeV ja}$$

$$h \gamma = 6 \text{ MeV} = 9,6 \cdot 10^{13} \text{ J.}$$

Lainepikkuse arvutame kvandi energia avaldisest

$$\varepsilon = \frac{h c}{\lambda};$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h c}{\varepsilon} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{9,6 \cdot 10^{13}} = 2,07 \cdot 10^{-13} \text{ m} = \\ &= 0,0021 \text{ \AA}. \end{aligned}$$

Näide 4. Betoonsein, mille paksus on 20 cm, vähendab koobalt-60 kitsa γ -kiirte kimbu intensiivsust 16,5 korda. Leida betooni neeldumiskoefitsient ja kihi paksus, mis neelab poole kiirgusest.

Lahendus. 1. γ -kiirguse intensiivsus väheneb läbiminekul ainst seaduse

$$I = I_0 e^{-\mu l}$$

järgi, kus I_0 on ainele langeva paralleelse kiirtekimbu intensiivsus, I - ainet läbinud kiirte intensiivsus, l - neelava kihi paksus, e - naturaalloogaritmi alus ja μ - neeldumiskoefitsient.

Kiirguse intensiivsus pärast kihi $l = 20$ cm läbimist

$$I = \frac{I_0}{16,5} .$$

Kasutades I ja l väärtusi, võime kirjutada

$$\frac{I_0}{16,5} = I_0 e^{-\mu \cdot 0,2} \quad \text{ja} \quad 16,5 = e^{\mu \cdot 0,2} ,$$

millest

$$\mu = \frac{\ln 16,5}{0,2} = \frac{2,8034}{0,2} = 14 \frac{1}{\text{m}} = 0,14 \frac{1}{\text{cm}} .$$

Antud juhul massneeldumiskoefitsient

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = 0,07 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} , \text{ mis vastab } \gamma\text{-kvantide energiale}$$

0,8 MeV.

2. Kihi paksuse korral, mis neelab poole kiirgusest

$$I = \frac{I_0}{2} .$$

Tehes läbi analoogilised tehted nagu varem, saame otsitava paksuse jaoks avaldise

$$l_1 = \frac{\ln 2}{\mu} = 4,8 \text{ cm} .$$

Näide 5. Argooni ^{118}Ar radioaktiivse lagunemise poolestusaeg on 110 min. Leida aeg, mille jooksul laguneb 75% argooni aatomite esialgsest kogusest.

Lahendus. Radioaktiivsete aatomite arv väheneb eksponentsiaalse seaduse kohaselt

$$N = N_0 e^{-\lambda t} , \quad (1)$$

kus N_0 on radioaktiivsete aatomite esialgne kogus või aatomite arv vaatluse algmomendil, N - aatomite arv aja t pärast ja λ - radioaktiivse lagunemise konstant. Viimane on seotud poolestusajaga:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} . \quad (2)$$

Aja t jooksul lagunenu aatomite arv

$$\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t}). \quad (3)$$

Antud juhul $\Delta N = 0,75 N_0$. Asendades ΔN avaldise valemisse (3) ja jagades N_0 -ga, saame

$$0,75 = 1 - e^{-\lambda t} \text{ ehk } e^{-\lambda t} = 0,25.$$

Logaritmidest viimast avaldist, leiame

$$t = \frac{\ln \frac{1}{0,25}}{\lambda}.$$

Kasutades valemit (2), saame

$$t = \frac{\ln 4}{\ln 2} T = \frac{1,386}{0,693} \cdot 110 \text{ min} = 220 \text{ min}.$$

Näide 6. Arvutada tuuma ${}^{14}_7\text{N}$ seoseenergia.

Lahendus. Tuuma seoseenergia leidmiseks tuleb kasutada relatiivsusteooria järeldust massi ja energia võrdelisuse kohta:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2, \quad (1)$$

kus ΔE on seoseenergia, Δm - massidefekt ja c - valguse kiirus tühjuses.

Tuuma massidefekt

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n - m_t], \quad (2)$$

kus Z on laengu arv (prootonite arv tuumas), A - massiarv, s.o. prootonite ja neutronite arv tuumas, m_p - prootoni mass, m_n - neutroni mass ja m_t - tuuma mass.

Tuleb märkida, et lisas antakse neutraalsete aatomite massid, s.o. tuuma ja elektronide summaarne mass

$$m_a = m_t + Zm_e,$$

kus m_e on elektroni mass (0,00055 amü).

Kirjutame võrrandi (2) kujul

$$\Delta m = [Z m_{\text{H}} + (A - Z) m_{\text{n}} - m_{\text{a}}], \quad (3)$$

kus m_{H} on neutraalse vesiniku aatomi mass ja m_{a} - neutraalse aatomi mass.

Kasutades tabeli andmeid lämmastiku isotoobi $^{14}_{7}\text{N}$ jaoks, arvutame Δm :

$$\Delta m = 7 \cdot 1,00814 + (14 - 7) \cdot 1,00898 - 14,00752,$$

$$\Delta m = 0,11432 \text{ amü.}$$

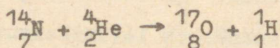
Kui Δm on antud amü-des, siis valem (1) võtab kuju

$$\Delta E = 931 \cdot \Delta m \text{ MeV.} \quad (4)$$

Saame

$$\Delta E = 931 \cdot 0,11432 = 106,5 \text{ MeV.}$$

Näide 7. Arvutada Rutherfordi poolt teostatud tuuma-reaktsiooni



energia. Kas antud reaktsioonil toimub energia eraldumine või neeldumine?

Lahendus. Massidefekt on

$$\Delta m = (m_{\text{N}} + m_{\text{He}}) - (m_{\text{O}} + m_{\text{H}}). \quad (1)$$

Kuna reaktsiooni käigus elektronide arv ei muutu, siis kasutame tuumade masside asemel neutraalsete aatomite masse.

$$\left. \begin{array}{l} m_{^{14}_{7}\text{N}} = 14,00750 \\ m_{^{4}_{2}\text{He}} = 4,00390 \end{array} \right\} + = 18,01140 \text{ amü}$$

$$\left. \begin{array}{l} m_{^{17}_{8}\text{O}} = 17,00453 \\ m_{^{1}_{1}\text{H}} = 1,00814 \end{array} \right\} + = 18,01267 \text{ amü}$$

$$\Delta m = 18,0114 - 18,01267 = - 0,00127 \text{ amü.}$$

Seega $\Delta E = - 931 \cdot 0,00127 = - 1,18 \text{ MeV}$, s.o. reaktsioonil toimub energia neeldumine.

Ülesandeid iseseisvaks lahendamiseks

1. Leida Päikese pinna temperatuur ja energetiline valgusvoo tihedus, kui kiirguse maksimumile vastav lainepikkus on $0,412 \mu\text{m}$. (Vastus: 6000°K , $1,02 \cdot 10^8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.)

2. Röntgenikiirte lainepikkus $\lambda = 15 \text{ \AA}$. Määrata footoni mass, impulss ja energia. (Vastus: $1,465 \cdot 10^{-40} \text{ kg}$, $4,4 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$, $13,24 \cdot 10^{-17} \text{ J}$.)

3. Energeetiline valgustustugevus on $600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Leida mustale pinnale langeva valguse rõhk. (Vastus: $2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.)

4. Milline on γ -kvantide energia, kui nad loovad välja fotoelektrone, mille kiirus on $2,91 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$? (Vastus: $1,53 \text{ MeV}$.)

5. Elektron läks vesiniku aatomis kolmandalt energianivoolt teisele. Määrata vastava footoni lainepikkus. (Vastus: 656 nm .)

6. Määrata vesiniku spektri nähtava osa viiendale joonele vastava footoni energia. (Vastus: $0,666 \cdot 10^{-20} \text{ J}$.)

7. Leida vesiniku spektri Pascheni seeria väikseim ja suurim lainepikkus. (Vastus: $8,22 \cdot 10^3 \text{ \AA}$, $8,76 \cdot 10^3 \text{ \AA}$.)

8. Elektroni de Broglie lainepikkus on $0,305 \text{ \AA}$. Leida elektroni kiirus (valguse kiiruse osades). (Vastus: $0,8 \text{ c}$.)

9. Mitu protsenti aktiiniumi-225 esialgsest kogusest laguneb 5 päeva jooksul, kui poolestusaeg on 10 päeva? (Vastus: $29,2\%$.)

Ülesanne 1.

a. Absoluutselt musta keha temperatuur on $t^{\circ}\text{C}$. Leidas:
 1) integraalne kiirgusvõime; 2) lainepikkus, mis vastab kiirgusspektri maksimumile.

Variandi number	$t(^{\circ}\text{C})$	Variandi number	$t(^{\circ}\text{C})$
00	27	20	10
01	127	21	100
02	227	22	500
03	327	23	600
04	427	24	700
05	527	25	800
06	627	26	900
07	727	27	1000
08	827	28	1100
09	927	29	1200
10	1027	30	1300
11	2027	31	1400
12	4027	32	1500
13	5027	33	1600
14	6027	34	1700
15	8027	35	1800
16	9027	36	2100
17	9227	37	3000
18	9327	38	6000
19	9427	39	10^6

b. Leidke keha temperatuur, kui kiirgusvõime maksimum vastab lainepikkusele λ_1 . Mitu korda suureneb kiirguse võimsus, kui maksimum nihkub λ_1 -lt λ_2 -le?

Variandi number	λ_1 (nm)	λ_2 (nm)	Variandi number	λ_1 (nm)	λ_2 (nm)
40	10	5	50	200	20
41	20	4	51	300	50
42	30	15	52	400	50
43	40	20	53	500	25
44	50	25	54	600	30
45	60	10	55	700	35
46	70	7	56	800	50
47	80	40	57	900	45
48	90	30	58	1000	200
49	100	25	59	2000	50

c. Milline lainepikkus vastab absoluutselt musta keha kiirgusspektri maksimumile, kui kiirgava keha temperatuur on T_1 ? Mitu korda suureneb kogukiirguse võimsus, kui temperatuur tõuseb T_2 -ni?

Variandi number	T_1 (°K)	T_2 (°K)	Variandi number	T_1 (°K)	T_2 (°K)
60	100	500	80	10	100
61	200	400	81	20	400
62	300	1500	82	30	900
63	400	2000	83	40	1600
64	500	2500	84	50	150
65	600	1200	85	60	3600
66	700	7000	86	70	2100
67	800	4000	87	80	2400
68	900	3000	88	90	4500
69	1000	2550	89	100	2000
70	2000	4600	90	200	400
71	3000	1500	91	300	900
72	4000	5000	92	400	800
73	5000	25000	93	500	1500
74	6000	30000	94	600	1800
75	7000	35000	95	700	2100
76	8000	50000	96	800	5600
77	9000	45000	97	900	4500
78	10000	20000	98	1000	3000
79	11000	33000	99	2000	10000

Ülesanne 2.

a. Määrata nikli pinnale langenud footoni energia, kui metallist väljalennanud elektronide maksimaalne kiirus on u . Elektronide väljumistöö niklist on 5 eV.

Variandi number	$u(\frac{km}{s})$		Variandi number	$u(\frac{km}{s})$
00	100		13	113
01	101		14	114
02	102		15	115
03	103		16	116
04	104		17	117
05	105		18	118
06	106		19	119
07	107		20	120
08	108		21	121
09	109		22	122
10	110		23	123
11	111		24	124
12	112			

b. Elektronide väljumistöö metallist on W. Leida fotoefekti punane piir antud metalli jaoks.

Variandi number	W(eV)		Variandi number	W(eV)
25	1,0		38	4,27
26	1,2		39	4,42
27	1,3		40	4,5
28	1,4		41	4,7
29	1,5		42	4,8
30	1,53		43	5,0
31	1,85		44	5,2
32	2,05		45	5,3
33	2,80		46	5,4
34	3,0		47	5,6
35	3,2		48	5,8
36	3,76		49	6,0
37	4,0			

c. Määrata tsingist väljalendavate fotoelektronide maksimaalne kiirus, kui kasutatava valguse lainepikkus on λ . Elektronide väljumistöö on W .

Variandi number	λ (nm)	W (eV)	Variandi number	λ (nm)	W (eV)
50	180	4	63	320	2
51	200	4	64	340	2
52	240	4	65	360	2
53	260	4	66	380	2
54	280	4	67	400	2
55	300	4	68	500	2
56	310	4	69	520	2
57	220	4	70	540	2
58	250	4	71	560	2
59	270	4	72	580	2
60	290	4	73	600	2
61	300	4	74	620	2
62	300	4			

d. Kas tekib fotoefekt, kui metalli valgustada monokromaatilise valgusega, mille lainepikkus on λ ? Elektronide väljumistöö on W .

Variandi number	λ (nm)	W (eV)	Variandi number	λ (nm)	W (eV)
75	420	1,6	88	360	4
76	430	1,6	89	380	4
77	450	1,6	90	400	4
78	500	1,6	91	420	4
79	550	1,6	92	460	4
80	600	1,6	93	480	4
81	650	1,6	94	500	4
82	700	1,6	95	520	4
83	750	1,6	96	540	4
84	800	1,6	97	560	4
85	690	1,6	98	580	4
86	300	4	99	600	4
87	350	4			

Ülesanne 3.

a. Põrkuvatel elektron-positronkimpudel on kineetiline energia W . Vastastikusel mõjumisel tekib iga elektron-positronpaari asemele kaks γ -kvanti. Leida γ -kvantide energia ja neile vastav lainepikkus.

Variandi number	W(MeV)	Variandi number	W(MeV)	Variandi number	W(MeV)	Variandi number	W(MeV)
00	1,02	13	7,65	26	14,28	39	20,91
01	1,53	14	8,16	27	14,79	40	21,42
02	2,04	15	8,67	28	15,30	41	21,93
03	2,55	16	9,18	29	15,81	42	22,44
04	3,06	17	9,64	30	16,32	43	22,95
05	3,57	18	10,2	31	16,83	44	23,46
06	4,08	19	10,71	32	17,34	45	23,97
07	4,59	20	11,22	33	17,85	46	24,48
08	5,10	21	11,73	34	18,36	47	25,99
09	5,61	22	12,24	35	18,87	48	26,50
10	6,12	23	12,75	36	19,38	49	27,01
11	6,63	24	13,26	37	19,89		
12	7,14	25	13,77	38	20,40		

b. Leida vesiniku spektri n joonele vastava footoni energia elektronvoltides.

Variandi number	n	Seeria
1	2	3
50	2	Lymani (ultravioletne seeria)
51	3	
52	4	
53	5	
54	6	
55	7	
56	8	

1	2	3
57	3	Balmeri (nähtav valgus)
58	4	
59	5	
60	6	
61	7	
62	4	Pascheni (infrapunane seeria)
63	5	
64	6	

c. Röntgenitoru töötab pingel V. Leida pideva röntgenispektri lühilaineline piir.

Variandi number	V(kV)	Variandi number	V(kV)
65	2	75	10
66	4	76	11
67	5	77	12
68	4,5	78	16
69	4,8	79	18
70	6	80	20
71	6,5	81	25
72	6,8	82	30
73	7	83	40
74	8	84	50

d. Leida lainepikkusele λ vastava footoni energia ja mass.

Variandi number	λ (nm)	Variandi number	λ (nm)
85	1	93	100
86	10	94	200
87	20	95	400
88	30	96	500
89	40	97	600
90	50	98	700
91	60	99	440
92	80		

Ülesanne 4.

a. Kui sügavale vette tuleb asetada kitsast kiirtekimpu tekitav γ -kiirte allikas koobalt-60, et kimbu intensiivsus väheneks n korda? Veekihi paksus, mis vähendab antud kiirte intensiivsust poole võrra, on 9,9 cm.

Variandi number	n	Variandi number	n	Variandi number	n	Variandi number	n
00	3	08	20	16	100	24	900
01	4	09	30	17	200	25	25
02	5	10	40	18	300	26	26
03	6	11	50	19	400	27	27
04	7	12	60	20	500	28	28
05	8	13	70	21	600	29	29
06	9	14	80	22	700	30	30
07	10	15	90	23	800		

b. Kitsa kimpu korral on γ -kiirte neeldumiskoefitsient pliiis $\mu = 0,7 \text{ cm}^{-1}$. Määrata pliiikihi paksused, mis vähendavad kiirguse intensiivsust poole võrra ja n korda.

Variandi number	n	Variandi number	n	Variandi number	n	Variandi number	n
31	31	39	39	47	47	55	55
32	32	40	40	48	48	56	56
33	33	41	41	49	49	57	57
34	34	42	42	50	50	58	58
35	35	43	43	51	51	59	59
36	36	44	44	52	52		
37	37	45	45	53	53		
38	38	46	46	54	54		

c. Radioaktiivse isotoobi poolestusaeg on T. Millise ajaga laguneb 70% esialgsetest aatomitest?

Variandi number	Radioaktiivne isotoop	T	Variandi number	Radioaktiivne isotoop	T
60	$^{24}_{11}\text{Na}$	14,8 h	80	$^{102}_{45}\text{Rh}$	210 d
61	$^{27}_{12}\text{Mg}$	10 min	81	$^{114}_{49}\text{In}$	48 d
62	$^{48}_{20}\text{Ca}$	180 d	82	$^{125}_{50}\text{Sn}$	9 min
63	$^{54}_{25}\text{Mn}$	310 d	83	$^{127}_{52}\text{Te}$	90 d
64	$^{75}_{34}\text{Se}$	115 d	84	$^{124}_{53}\text{I}$	4 d
65	$^{90}_{38}\text{Sr}$	25 a	85	$^{138}_{54}\text{X}$	17 min
66	$^{109}_{48}\text{Cd}$	158 d	86	$^{135}_{55}\text{Cs}$	10^4 a
67	$^{111}_{47}\text{Ag}$	7,6 d	87	$^{140}_{57}\text{La}$	40 h
68	$^{131}_{53}\text{I}$	8 d	88	$^{139}_{58}\text{Ce}$	140 d
69	$^{144}_{58}\text{Ce}$	275 d	89	$^{170}_{69}\text{Tm}$	105 d
70	$^{210}_{84}\text{Po}$	138 d	90	$^{180}_{73}\text{Ta}$	8,2 h
71	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 d	91	$^{185}_{74}\text{W}$	77 d
72	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1590 a	92	$^{184}_{75}\text{Re}$	52 d
73	$^{235}_{92}\text{U}$	$7 \cdot 07 \cdot 10^8$ a	93	$^{185}_{76}\text{Os}$	94,5 d
74	$^{235}_{93}\text{Np}$	240 d	94	$^{196}_{78}\text{Pt}$	80 min
75	$^{238}_{94}\text{Pu}$	50 a	95	$^{200}_{79}\text{Au}$	48 min
76	$^{206}_{82}\text{Pb}$	1,6 min	96	$^{197}_{80}\text{Hg}$	23 h
77	$^{202}_{81}\text{Tl}$	118 d	97	$^{225}_{88}\text{Ra}$	14 d
78	$^{57}_{27}\text{Co}$	270 d	98	$^{225}_{89}\text{Ac}$	10 d
79	$^{28}_{13}\text{Al}$	2,4 min	99	$^{242}_{95}\text{Am}$	182 h

Ülesanne 5.

a. Arvutada tuuma seoseenergia ja eriseoseenergia, s.o. ühe nukleoni kohta tulev seoseenergia.

Variandi number	Elemendi nimetus	Isotoop	Variandi number	Elemendi nimetus	Isotoop
1	2	3	1	2	3
00	uraan	$^{238}_{92}\text{U}$	18	süsinik	$^{13}_6\text{C}$
01	deuteerium	^2_1H	19	"	$^{14}_6\text{C}$
02	tritium	^3_1H	20	lämmastik	$^{13}_7\text{N}$
03	heelium	^3_2He	21	"	$^{14}_7\text{N}$
04	"	^4_2He	22	"	$^{15}_7\text{N}$
05	"	^6_2He	23	"	$^{16}_7\text{N}$
06	liitium	^7_3Li	24	"	$^{17}_7\text{N}$
07	"	^8_3Li	25	hapnik	$^{14}_8\text{O}$
08	berüllium	^7_4Be	26	"	$^{15}_8\text{O}$
09	"	^8_4Be	27	"	$^{16}_8\text{O}$
10	"	^9_4Be	28	"	$^{17}_8\text{O}$
11	"	$^{10}_4\text{Be}$	29	"	$^{18}_8\text{O}$
12	boor	$^{10}_5\text{B}$	30	"	$^{19}_8\text{O}$
13	"	$^{11}_5\text{B}$	31	fluor	$^{17}_9\text{F}$
14	"	$^{12}_5\text{B}$	32	"	$^{18}_9\text{F}$
15	süsinik	$^{10}_6\text{C}$	33	"	$^{19}_9\text{F}$
16	"	$^{11}_6\text{C}$	34	"	$^{20}_9\text{F}$
17	"	$^{12}_6\text{C}$	35	neoon	$^{19}_{10}\text{Ne}$

1	2	3	1	2	3
36	neoon	$^{20}_{10}\text{Ne}$	56	räni	$^{30}_{14}\text{Si}$
37	"	$^{21}_{10}\text{Ne}$	57	fosfor	$^{29}_{15}\text{P}$
38	"	$^{22}_{10}\text{Ne}$	58	"	$^{30}_{15}\text{P}$
39	"	$^{23}_{10}\text{Ne}$	59	"	$^{31}_{15}\text{P}$
40	naatrium	$^{22}_{11}\text{Na}$	60	"	$^{32}_{15}\text{P}$
41	"	$^{23}_{11}\text{Na}$	61	väävel	$^{31}_{16}\text{S}$
42	"	$^{24}_{11}\text{Na}$	62	"	$^{32}_{16}\text{S}$
43	"	$^{25}_{11}\text{Na}$	63	"	$^{33}_{16}\text{S}$
44	magneesium	$^{23}_{12}\text{Mg}$	64	"	$^{34}_{16}\text{S}$
45	"	$^{24}_{12}\text{Mg}$	65	"	$^{35}_{16}\text{S}$
46	"	$^{25}_{12}\text{Mg}$	66	kloor	$^{35}_{17}\text{Cl}$
47	"	$^{26}_{12}\text{Mg}$	67	"	$^{36}_{17}\text{Cl}$
48	"	$^{27}_{12}\text{Mg}$	68	"	$^{37}_{17}\text{Cl}$
49	aluminium	$^{26}_{13}\text{Al}$	69	"	$^{38}_{17}\text{Cl}$
50	"	$^{27}_{13}\text{Al}$	70	"	$^{39}_{17}\text{Cl}$
51	"	$^{28}_{13}\text{Al}$	71	argoon	$^{36}_{18}\text{Ar}$
52	"	$^{29}_{13}\text{Al}$	72	"	$^{37}_{18}\text{Ar}$
53	räni	$^{27}_{14}\text{Si}$	73	"	$^{38}_{18}\text{Ar}$
54	"	$^{28}_{14}\text{Si}$	74	"	$^{39}_{18}\text{Ar}$
55	"	$^{29}_{14}\text{Si}$	75	"	$^{40}_{18}\text{Ar}$
			76	kaalium	$^{38}_{19}\text{K}$

1	2	3	1	2	3
77	kaalium	$^{39}_{19}\text{K}$	89	mangaan	$^{54}_{25}\text{Mn}$
78	"	$^{40}_{19}\text{K}$	90	"	$^{55}_{25}\text{Mn}$
79	"	$^{41}_{19}\text{K}$	91	"	$^{56}_{25}\text{Mn}$
80	"	$^{42}_{19}\text{K}$	92	raud	$^{59}_{26}\text{Fe}$
81	kaltsium	$^{44}_{20}\text{Ca}$	93	koobalt	$^{56}_{27}\text{Co}$
82	skandium	$^{45}_{21}\text{Sc}$	94	"	$^{59}_{27}\text{Co}$
83	"	$^{48}_{21}\text{Sc}$	95	"	$^{60}_{27}\text{Co}$
84	"	$^{49}_{21}\text{Sc}$	96	nikkel	$^{63}_{28}\text{Ni}$
85	vanaadium	$^{51}_{23}\text{V}$	97	vask	$^{63}_{29}\text{Cu}$
86	"	$^{52}_{23}\text{V}$	98	tsink	$^{64}_{30}\text{Zn}$
87	kroom	$^{50}_{24}\text{Cr}$	99	uraan	$^{235}_{92}\text{U}$
88	"	$^{51}_{24}\text{Cr}$			

Ülesanne 6.

Arvutada allpool toodud tuumareaktsioonide energia MeV.
Kas reaktsioonil toimub energia neeldumine või eraldumine?

Variandi number	Tuumareaktsioon
1	2
00	${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$
01	${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{D} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$
02	${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$
03	${}^6_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$
04	${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
05	${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$
06	${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^1_1\text{H}$
07	${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
08	${}^3_2\text{He} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H}$
09	${}^3_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^6_2\text{He} + 2 {}^1_0\text{n}$
10	${}^3_1\text{H} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^0_1\text{e}^-$
11	${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n}$
12	${}^{11}_5\text{B} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{11}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
13	${}^{10}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{13}_7\text{N} + {}^1_0\text{n}$
14	${}^{10}_5\text{B} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^{11}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
15	${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \gamma$
16	${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

1	2
17	${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
18	${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$
19	${}^9_4\text{Be} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^6_3\text{Li} + {}^4_2\text{H}$
20	${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow 3 {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
21	${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$
22	${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$
23	${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$
24	${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
25	${}^{14}_7\text{N} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^{13}_7\text{N} + {}^3_1\text{H}$
26	${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{11}_6\text{C} + {}^4_2\text{He}$
27	${}^{19}_9\text{F} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^1_1\text{H}$
28	${}^9_4\text{Be} + \gamma \longrightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$
29	${}^{16}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + \gamma$
30	${}^{17}_9\text{F} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{16}_8\text{O} + 2 {}^1_1\text{H}$
31	${}^{17}_9\text{F} \longrightarrow {}^{16}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
32	${}^{19}_9\text{F} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{18}_9\text{F} + 2 {}^1_0\text{n}$
33	${}^{16}_8\text{O} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^{18}_9\text{F} + {}^1_0\text{n}$
34	${}^{21}_9\text{F} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^4_2\text{He}$
35	${}^{19}_{10}\text{Ne} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{17}_9\text{F} + {}^3_2\text{He}$
36	${}^{20}_{10}\text{Ne} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{17}_9\text{F} + {}^4_2\text{He}$

1	2
37	${}_{10}^{21}\text{Ne} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_9^{19}\text{F} + {}_2^4\text{He}$
38	${}_{10}^{22}\text{Ne} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_8^{18}\text{O} + 2 {}_2^4\text{He}$
39	${}_{10}^{23}\text{Ne} + {}_2^3\text{H} \rightarrow {}_8^{18}\text{O} + 2 {}_2^4\text{He}$
40	${}_{12}^{25}\text{Mg} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{13}^{25}\text{Al} + {}_0^1\text{n}$
41	${}_{11}^{25}\text{Na} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{13}^{28}\text{Al} + {}_0^1\text{n}$
42	${}_{12}^{24}\text{Mg} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{10}^{20}\text{Ne} + 2 {}_2^4\text{He}$
43	${}_{12}^{25}\text{Mg} + {}_2^3\text{H} \rightarrow {}_8^{19}\text{O} + 3 {}_2^3\text{H}$
44	${}_{12}^{26}\text{Mg} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{10}^{23}\text{Ne} + {}_2^4\text{He}$
45	${}_{13}^{26}\text{Al} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{12}^{27}\text{Mg} + {}_2^4\text{He}$
46	${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$
47	${}_{13}^{28}\text{Al} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{12}^{26}\text{Mg} + {}_2^3\text{He}$
48	${}_{13}^{29}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{11}^{25}\text{Ne} + 2 {}_2^4\text{He}$
49	${}_{14}^{27}\text{Si} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_1^1\text{H}$
50	${}_{14}^{28}\text{Si} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{13}^{26}\text{Al} + {}_2^3\text{He}$
51	${}_{3}^6\text{Li} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^7\text{H} + {}_2^4\text{He}$
52	${}_{6}^{10}\text{C} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{5}^{10}\text{B} + {}_1^1\text{H}$
53	${}_{11}^{23}\text{Na} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{11}^{24}\text{Na} + \gamma$
54	${}_{16}^{32}\text{S} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{15}^{32}\text{P} + {}_1^1\text{H}$
55	${}_{15}^{29}\text{P} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_{15}^{30}\text{P} + {}_1^1\text{H}$

1	2
56	${}_{16}^{32}\text{S} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{15}^{32}\text{P} + {}_1^1\text{H}$
57	${}_{17}^{35}\text{Cl} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{16}^{35}\text{S} + {}_1^1\text{H}$
58	${}_{19}^{41}\text{K} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{19}^{42}\text{K} + \gamma$
59	${}_4^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \longrightarrow {}_6^{11}\text{C} + 2 {}_0^1\text{n}$
60	${}_{29}^{63}\text{Cu} + {}_1^3\text{H} \longrightarrow {}_{29}^{65}\text{Cu} + {}_1^1\text{H}$
61	${}_{21}^{45}\text{Sc} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{21}^{46}\text{Sc} + \gamma$
62	${}_{23}^{52}\text{V} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{23}^{52}\text{V} + \gamma$
63	${}_6^{13}\text{C} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_4^{10}\text{Be} + {}_2^4\text{He}$
64	${}_{23}^{51}\text{V} + {}_1^2\text{H} \longrightarrow {}_{23}^{52}\text{V} + {}_1^1\text{H}$
65	${}_{24}^{50}\text{Cr} + {}_2^4\text{He} \longrightarrow {}_{26}^{53}\text{Fe} + {}_0^1\text{n}$
66	${}_{26}^{59}\text{Fe} + {}_1^1\text{H} \longrightarrow {}_{27}^{59}\text{Co} + {}_0^1\text{n}$
67	${}_{27}^{59}\text{Co} + {}_1^2\text{H} \longrightarrow {}_{27}^{60}\text{Co} + {}_1^1\text{H}$
68	${}_{27}^{59}\text{Co} + {}_1^2\text{H} \longrightarrow {}_{26}^{59}\text{Fe} + 2 {}_1^1\text{H}$
69	${}_{27}^{59}\text{Co} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{27}^{60}\text{Co} + \gamma$
70	${}_{28}^{62}\text{Ni} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{28}^{63}\text{Ni} + \gamma$
71	${}_{29}^{63}\text{Cu} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{29}^{64}\text{Cu} + \gamma$
72	${}_{30}^{64}\text{Zn} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{30}^{65}\text{Zn} + \gamma$
73	${}_{17}^{37}\text{Cl} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{17}^{38}\text{Cl} + \gamma$
74	${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \longrightarrow {}_1^3\text{H} + {}_1^1\text{H}$

1	2
75	${}_{16}^{34}\text{S} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_{16}^{36}\text{S} + {}_1^1\text{H}$
76	${}_{37}^{85}\text{Rb} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{37}^{86}\text{Rb} + \gamma$
77	${}_{38}^{88}\text{Sr} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{89}\text{Sr} + \gamma$
78	${}_{16}^{34}\text{S} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{16}^{35}\text{S} + \gamma$
79	${}_{19}^{39}\text{K} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_{18}^{37}\text{Ar} + {}_2^4\text{He}$
80	${}_{19}^{38}\text{K} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{18}^{38}\text{Ar} + {}_1^1\text{H}$
81	${}_{30}^{64}\text{Zn} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{29}^{64}\text{Cu} + {}_1^1\text{H}$
82	${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_1^3\text{H} + {}_1^1\text{H}$
83	${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_0^1\text{n}$
84	${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{54}^{139}\text{X} + {}_{38}^{95}\text{Sr} + 2 {}_0^1\text{n}$
85	${}_{11}^{23}\text{N} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{10}^{23}\text{N} + {}_1^1\text{H}$
86	${}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_6^{11}\text{C} + 2 {}_0^1\text{n}$
87	${}_6^{12}\text{C} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_7^{13}\text{N} + {}_0^1\text{n}$
88	${}_{92}^{238}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{92}^{239}\text{U} + \gamma$
89	${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{11}^{24}\text{Na} + {}_2^4\text{He}$
90	${}_4^9\text{Be} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_5^{10}\text{B} + {}_0^1\text{n}$
91	${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^1\text{H}$
92	${}_1^2\text{H} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_0^1\text{n}$
93	${}_3^6\text{Li} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_3^7\text{Li} + {}_1^1\text{H}$

1	2
94	${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$
95	${}^9_4\text{Be} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^8_4\text{Be} + {}^2_1\text{H}$
96	${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_4\text{Be} + {}^1_1\text{H}$
97	${}^{16}_8\text{O} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He}$
98	${}^{14}_7\text{N} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{15}_7\text{N} + {}^1_1\text{H}$
99	${}^{12}_6\text{C} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. Töö õpikuga	4
3. Ülesannete lahendamine	4
4. Kontrolltöö	5
5. Laboratoorsed tööd	7
6. Loengud	7
7. Eksamid	7
8. Kirjandus	8
9. Füüsikaliste suuruste mõõtmise mõõtühikute süsteemidest	9
10. Mõõtühikutevahelisi seoseid	14
11. Tähtsamaid füüsikalisi konstante	15
12. Tabelid	17
13. Ligikaudsest arvutamisest	21
14. Mehaanika füüsikalised alused	24
15. Molekulaarfüüsika, termodünaamika	46
16. Elektrostaatika, alalisvool	71
17. Elektromagnetism. Elektromagnetilised võnkumised ja lained	96
18. Optika	120
19. Kvantoptika nähtused. Aatomi- ja tuumafüüsika	141

Tasuta

A-
31169

78 381

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00504396 5