

Laboratoorne töö nr 1 Stefan-Boltzmanni seadus I

Töö eesmärgid

1. Soojuskiirguse uurimine infrapunakiirguse sensori abil.
2. Stefan-Boltzmanni seaduse katseline kontroll hõõglambi abil.

Töövahendid:

Infrapunase kiirguse andur (soojuskiirguse andur) ehk infrapuna-fotomeeter, digitaalvoltmeeter (DVM), oommeeter, ampermeeter (0-3A), voltmeeter (0-12V), Stefan-Boltzmanni lamp või tavaline hõõglamp, termomeeter (mõõtepiirkond 0-100°C).

Töö käik, teoreetiline osa:

Soojusülekanne soojemalt kehalt külmemale võib toimuda kui kaks keha on vahetus kokkupuutes. Soe keha võib soojusenergiat ära anda ka soojuskiirguse abil. Soojuskiirguseks nimetatakse elektromagnetkiirguse seda osa, mille lainepikkus jääb vahemikku $3 \times 10^{-4} - 7,5 \times 10^{-7} \text{m}$ (piirid pole päris täpsed), seda nimetatakse ka infrapunakiirguseks. Näiteks Päikeselt Maale saabub väga erineva lainepikkusega kiirgust (optiline kiirgus ehk nähtav valgus, ultraviolettkiirgus, raadiokiirgus jne), kuid Maa soojendamise eest vastutab just infrapunakiirgus. Vastavalt **Stefan-Boltzmanni seadusele**, on see, kui kiiresti keha oma energiat kiirguse abil ära annab, st kui **intensiivselt keha kiirgab, võrdeline keha absoluutse temperatuuri neljanda astmega:**

$$Rad = e\sigma T^4, \quad (1.1)$$

kus Rad – kiirguse intensiivsus ehk ajaühikus ühe pindalaühiku kohta kiiratud kiirguse energia (ühik - W/m^2), $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ on Stefan-Boltzmanni konstant,

ja võrdetegur e on keha kiirgustegur, arvuliselt vahemikus 0-st 1-ni. e iseloomustab keha materjali. Kui keha on musta värvi, siis ta kiirgab soojust väga intensiivselt ning e on lähedane ühele. Läikiva pinnaga kehadel on e ligikaudu 0, nende kehade soojuskiirgus on praktiliselt olematu. Nii on tegelikult ka soojuskiirguse neelamisega – tumedad kehad neelavad soojust väga hästi ning läikivad äärmiselt halvasti. Juhul, kui $e=1$, siis on tegemist nn **absoluutselt musta kehaga**. Stefan-Boltzmanni seaduse all peetakse silmas tihti valemit (1.1), juhul kui $e=1$. Antud töös eeldame, et meil on tegemist absoluutselt musta kehaga ja edaspidi alljärgnevas on e väärtus võetud võrdseks ühega ($e=1$).

Nagu mainitud, iga keha, mis on võimeline soojust kiirgama, on võimeline ka soojust neelama. Keha poolt neelatud energia sõltub ümbritseva keskkonna temperatuurist. Arvestades ka keha poolt neelatud soojusenergiat, võime absoluutselt musta keha jaoks avaldada kiirguse intensiivsuse järgmiselt:

$$Rad = \sigma(T_1^4 - T_2^4), \quad (1.2)$$

kus T_1 on absoluutselt musta keha temperatuur; T_2 – ümbritseva keskkonna temperatuur.

Antud töös mõõdame kuuma keha, hõõglambi, poolt kiiratud kiirguse koguvõimsust. Enamus hõõglambi poolt kiiratavast soojusenergiast eraldub hõõgniidilt, mille temperatuur on 1000-2500 K. Kuivõrd hõõgniidi temperatuur ületab ümbritseva

keskkonna temperatuuri tunduvalt, siis võime viimase arvestamata jätta ning kasutame soojuskiirguse intensiivuse arvutamiseks valemit (1.1) võttes arvesse, et $e=1$.

Töö käik:

I Lambi hõõgniidi temperatuuri määramine.

Lambi hõõgniit on valmistatud volframist. Selle temperatuuri saab määrata amper- ja voltmeetri abil. Juhul, kui hõõgniidi takistus R_0 ette antud temperatuuril T_0 (tavaliselt toatemperatuuril) on teada, siis juhul, kui hõõgniidi temperatuur T ei erine toatemperatuurist väga palju, sõltub hõõgniidi takistus R temperatuurist järgmiselt:

$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ (lineaarne sõltuvus), kus volframi korral on $\alpha = 4,5 \times 10^{-3} K^{-1}$.

Avaldades siit temperatuuri, saame

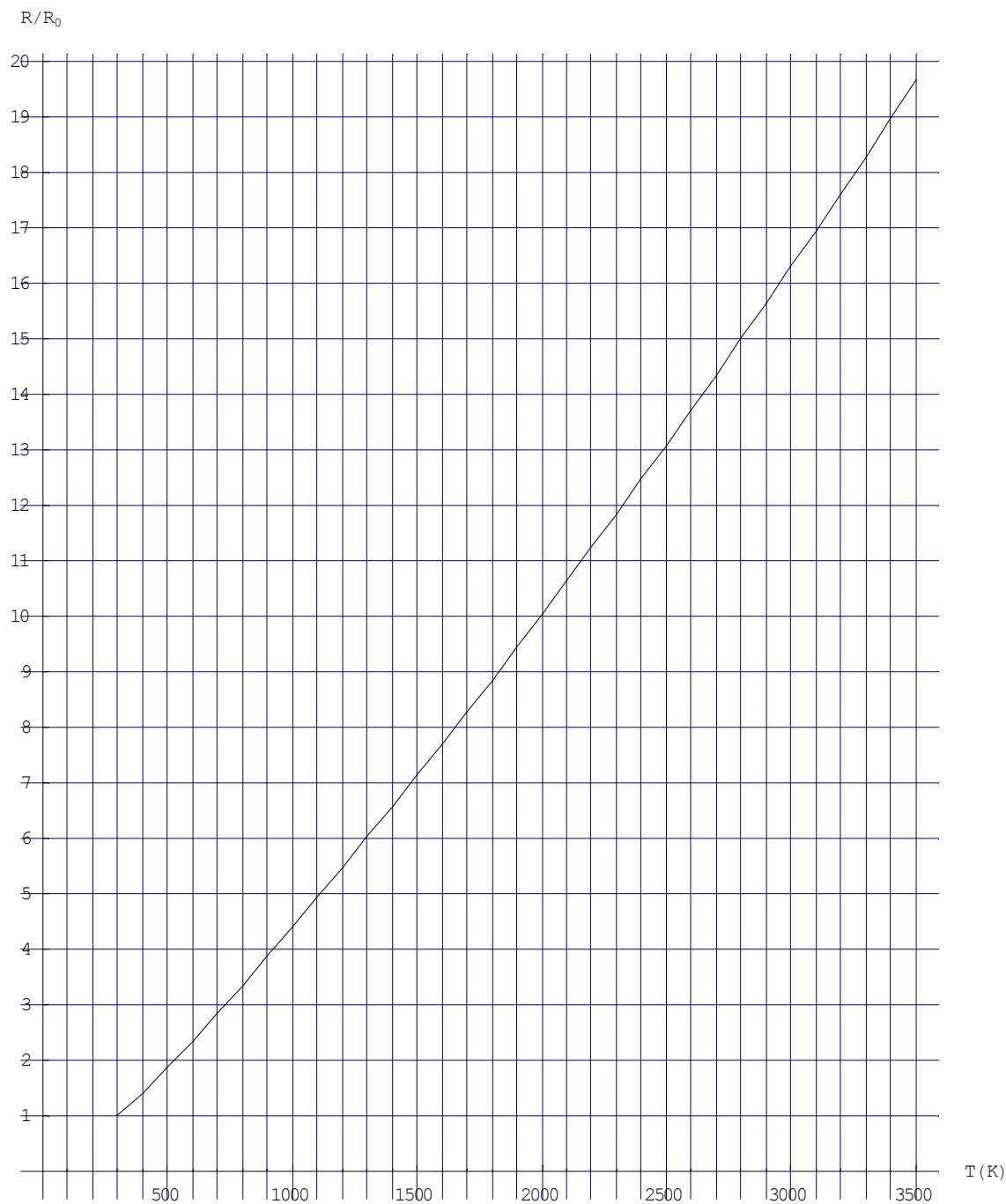
$$T = \frac{R - R_0}{\alpha R_0} + T_0. \quad (4.3)$$

Suure temperatuuride erinevuse korral ei ole takistuse sõltuvus temperatuurist tegelikult päris lineaarne. Sel juhul tuleb talitada järgmiselt:

1. Mõõtke hõõgniidi takistus R_0 toatemperatuuril (umbes 300 K) oommeetriga võimalikult täpselt (äärmiselt oluline!).
2. Kuuma hõõgniidi korral mõõtke pinge lambil ning volutugevus lambis, arvutage lambi takistus R ; arvutage suhteline takistus R/R_0 .
3. Leike lambi temperatuur kasutades järgmist tabelit 1.1 ning graafikut 1.1.

Tabel 1.1. Volframi temperatuuri sõltuvus suhtelisest takistusest.

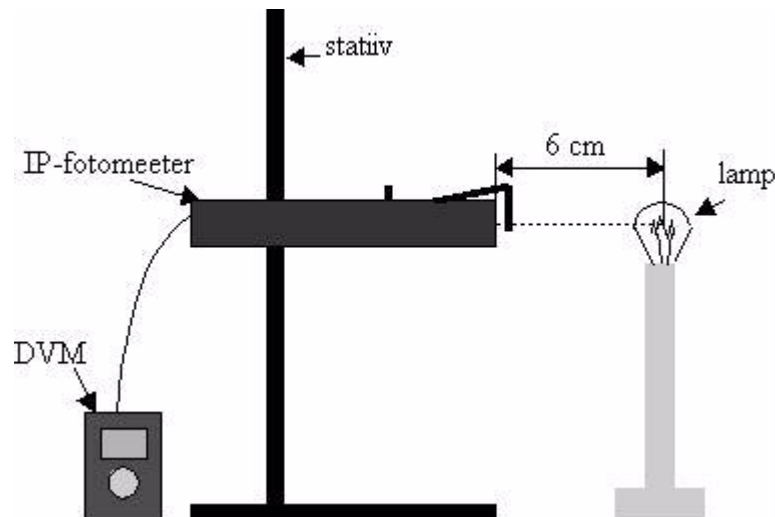
R/R_0	$T (K)$	R/R_0	$T (K)$	R/R_0	$T (K)$	R/R_0	$T (K)$
1,0	300	5,48	1200	10,63	2100	16,29	3000
1,43	400	6,03	1300	11,24	2200	16,95	3100
1,87	500	6,58	1400	11,84	2300	17,62	3200
2,34	600	7,14	1500	12,46	2400	18,28	3300
2,85	700	7,71	1600	13,08	2500	18,97	3400
3,36	800	8,28	1700	13,72	2600	19,66	3500
3,88	900	8,86	1800	14,34	2700	20,35	3600
4,41	1000	9,44	1900	14,99	2800		
4,95	1100	10,03	2000	15,63	2900		



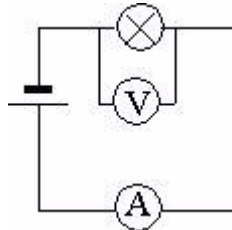
Joonis 1.1. Volframi suhtelise takistuse sõltuvus temperatuurist, $R_0=300$ K korral.

II Kiirguse intensiivuse leidmine erinevatel temperatuuridel.

1. Mõõtke toa temperatuur T_0 ning lambi takistus R_0 samal temperatuuril (nii täpselt kui võimalik! Mõõtmisi võiks isegi sooritada mitu korda ja kasutada edaspidistes arvutustes takistuse keskväärtust).
2. Seadke katseseade üles nii, nagu näidatud joonisel 1.2. Lambi ühendamise skeem on toodud joonisel 1.3. Lambi hõõgniidi ja IP-fotomeetri vaheline kaugus peaks olema umbes 6 cm. IR-fotomeetri läheduses ei tohi olla teisi objekte.



Joonis 1.2. Katseseadmete paigutus. IP-fotomeetri ava peab olema lambi hõõgniidiga täpselt samal kõrgusel.



Joonis 1.3. Vooluallika, lambi, ampermeetri ja voltmeetri ühendamise skeem.

3. Lülitage lambi vooluallikas sisse. Sooritage mõõtmised kõigi tabelis 1.2 etteantud pinge väärtuste korral. Mõõtke voolutugevus ahelas ning IP-sensoriga ühendatud digitaalvoltmeetri abil IP sensori näit.

NB! Mõõtmisi fotomeetri abil tuleb teha nii kiiresti kui võimalik. Mõõtmiste vahepeal tuleks sensori ja lambi vahele panna mingi soojuskaitse, et sensor ei kuumeneks. Vastasel juhul mõõtmised ei õnnestu.

Tabel 1.2.

Andmed				Arvutused		
U (V)	I (A)	Rad (mV)	Rad (W)	R (Ω)	T (K)	T ⁴ (K ⁴)

Andmed ja arvutused.

1. Leidke lambi hõõgniidi takistus kõigi pingete korral $R=U/I$.

2. Lambi hõõgniidi temperatuuri T leiate joonisel 1.1 esitatud graafiku abil.
3. Rad (W) ei näita tegelikult mitte lambi poolt pindalaühikusse kiiratud energiat ajaühikus (ehk võimsust), vaid fotomeetri poolt saadud võimsust. Selle leiate, korrutades DVM näidu (Rad mV) vastava koefitsendiga – kas 2,11; 21,1 või 211, sõltuvalt sellest, mis asendis on IP-fotomeetri ümberlüüti.
4. Joonistage graafik $\text{Rad}=f(T^4)$. Milline peaks olema antud graafiku kuju?
5. Kasutades vähimruutude meetodit (vt lisa, valem (L.7), leidke Stefan-Boltzmanni konstant.

Küsimused.

1. Kas teie poolt sooritatud eksperimendi tulemused langevad kokku teooria poolt ennustatavatega?
2. Stefan-Boltzmanni seadus kehtib täpselt absoluutselt musta keha korral. Kas antud juhul on tegemist absoluutselt musta kehaga? Miks?
3. Millised soojusallikad võivad segada teie poolt läbi viidatavat eksperimenti? Millised mõjurid võivad veel katsetulemusi muuta?

Laboratoorne töö nr 2 Stefan-Boltzmanni seadus II

Töö eesmärgid

1. Soojuskiirguse uurimine infrapunakiirguse sensori abil.
2. Stefan-Boltzmanni seaduse katseline kontroll hõõglambi abil.

Töövahendid:

Infrapunakiirguse andur (soojuskiirguse andur) ehk infrapuna-fotomeeter, digitaalvoltmeeter (DVM), Leslie'i kuup või mustaks värvitud anum, oommeeter (Leslie'i kuubi kasutamisel) või termomeeter.

Töö käik, teoreetiline osa:

Soojusülekanne soojemalt kehalt külmemale võib toimuda siis, kui need kaks keha on vahetus kokkupuutes, kuid soe keha võib soojusenergiat ära anda ka soojuskiirguse abil. Vastavalt **Stefan-Boltzmanni seadusele**, on see, kui kiiresti keha oma energiat kiirguse abil ära annab, st kui **intensiivselt keha kiirgab, võrdeline keha absoluutse temperatuuri neljanda astmega:**

$$R = e\sigma T^4, \quad (2.1)$$

kus R – kiirguse intensiivsus ehk ajaühikus ühe pindalaühiku kohta kiiratud kiirguse energia (ühik - W/m^2), $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ on Stefan-Boltzmanni konstant, ja

võrdetegur e on keha kiirgustegur, arvuliselt vahemikus 0-st 1-ni. e iseloomustab keha materjali. Kui keha on musta värvi, siis kiirgab ta soojust väga intensiivselt ning e on lähedane ühele. Läikiva pinnaga kehadel on e ligikaudu 0, nende kehade soojuskiirgus on praktiliselt olematu. Samuti on tegelikult ka soojuskiirguse neelamisega – tumedad kehad neelavad soojust väga hästi ning läikivad äärmiselt halvasti. Juhul, kui $e=1$, siis on tegemist nn **absoluutselt musta kehaga**. Stefan-Boltzmanni seaduse all peetakse silmas tihti ka valemit (1), kus $e=1$. Antud töös võetakse $e=1$.

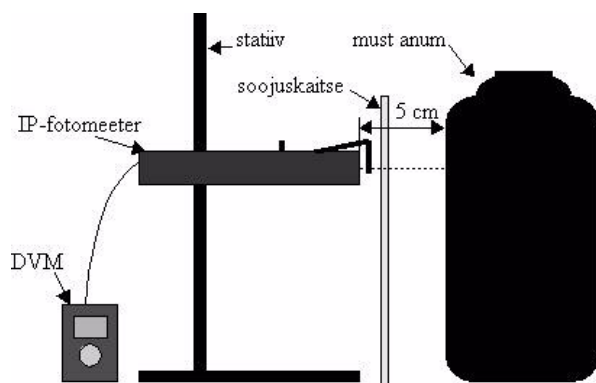
Laboratoorses töös nr. 1 (Stefan-Boltzmanni seadus I) eeldasime, et soojuskiirguse allika temperatuur on väliskeskkonna temperatuurist oluliselt kõrgem. Sel juhul võib viimase arvestamata jätta. Antud juhul uurime Stefan-Boltzmanni seaduse kehtivust madalatemperatuurilise soojuskiirguse allika korral. Sel juhul tuleb kindlasti arvestada ka keha poolt neelatud soojusenergiat ning Stefan-Boltzmanni seaduse kirjutame järgmisel kujul:

$$R = \sigma(T_1^4 - T_2^4), \quad (2.2)$$

kus T_1 on soojuskiirguse allika temperatuur; T_2 – ümbritseva keskkonna (ja ühtlasi ka IP-fotomeetri) temperatuur. Selleks, et IP-fotomeetri temperatuur ei erineks toatemperatuurist, tuleb mõõtmiste vahepeal IP-fotomeetri ja soojuskiirguse allika vahele asetada varjestav ekraan. Viimaseks sobib hästi vahtplastist plaat.

Töö käik:

1. Seadke katseseade üles nii, nagu näidatud joonisel 2.1. IP-fotomeeter peab olema suunatud täpselt kiirgusallika suunas umbes 5 cm kaugusele sellest.



Joonis 2.1. Katseseadmete paigutus.

2. Mõõtke toa temperatuur T_0 .
3. Varjestage fotomeeter anumast vahtplastist kaitsega.
4. Valage kuum vesi anumasse, laske sel seal natuke seista, et ka purgi temperatuur ühtlustuks vee temperatuuriga.
5. Igal temperatuuri väärtuse korral eemaldage soojuskaitse, lugege DVM näit ning varjestage IP-fotomeeter uuesti. Korrake mõõtmisi erinevatel temperatuuridel (iga 4-5°C järel) ning kandke mõõtetulemused tabelisse 2.1.
6. Korrake katset, valades anumasse uuesti tulist vett.

NB! Mõõtmisi fotomeetri abil tuleb teha nii kiiresti kui võimalik. Mõõtmiste vahepeal tuleks sensori ja lambi vahele panna soojuskaitse, et sensor ei kuumeneks. Vastasel juhul ei pruugi eksperiment õnnestuda.

Tabel 2.1. Mõõtetulemused.

Andmed			Arvutused		
Rad (mV)	Rad (W)	T_2 (°C)	T_2 (K)	T_2^4 (K ⁴)	$T_2^4 - T_0^4$ (K ⁴)
...					

Andmed ja arvutused.

1. Toatemperatuur $T_0 = \dots \dots \dots ^\circ\text{C} = \dots \dots \dots \text{K}$.
2. Rad (W) ei näita tegelikult mitte lambi poolt pindalaühikusse kiiratud energiat ajaühikus (ehk võimsust), vaid sensori poolt saadud võimsust. Selle leiate, korrutades DVM näidu (R mV) vastava koefitsendiga – kas 2,11; 21,1 või 211, sõltuvalt sellest, mis asendis on IP-fotomeetri ümberlüüti.
3. Joonistage graafik $R = f(T_2^4 - T_0^4)$. Milline peaks olema antud graafiku kuju?
4. Kasutades vähimruutude meetodit, leidke Stefan-Boltzmanni konstant.

Küsimused.

1. Kas teie poolt sooritatud eksperimendi tulemuse langevad kokku teooria poolt ennustatavatega?
2. Stefan-Boltzmanni seadus kehtib täpselt absoluutselt musta keha korral. Kas antud juhul on tegemist absoluutselt musta kehaga? Miks?
3. Millised soojusallikad võivad segada teie poolt läbi viidavat eksperimenti? Millised mõjurid võivad veel katsetulemusi muuta?
4. Kas eksperimenti segavad mõjurid muudavad katsest saadud andmete graafikut?

Laboratoorne töö nr 3 Soojuskiirguse intensiivsuse sõltuvus soojusallika ja IP- fotomeetri vahelisest kaugusest

Töö eesmärgid

1. Infrapunakiirguse anduri poolt registreeritud kiirguse intensiivsuse ja soojuskiirguse allika vahelise kauguse sõltuvuse uurimine.

Töövahendid:

Infrapunakiirguse (IP) fotomeeter, Stefan-Boltzmanni lamp või 12V-se toitepingega lamp, digitaalvoltmeeter (DVM), joonlaud, alalisvooluallikas (12V, 3A).

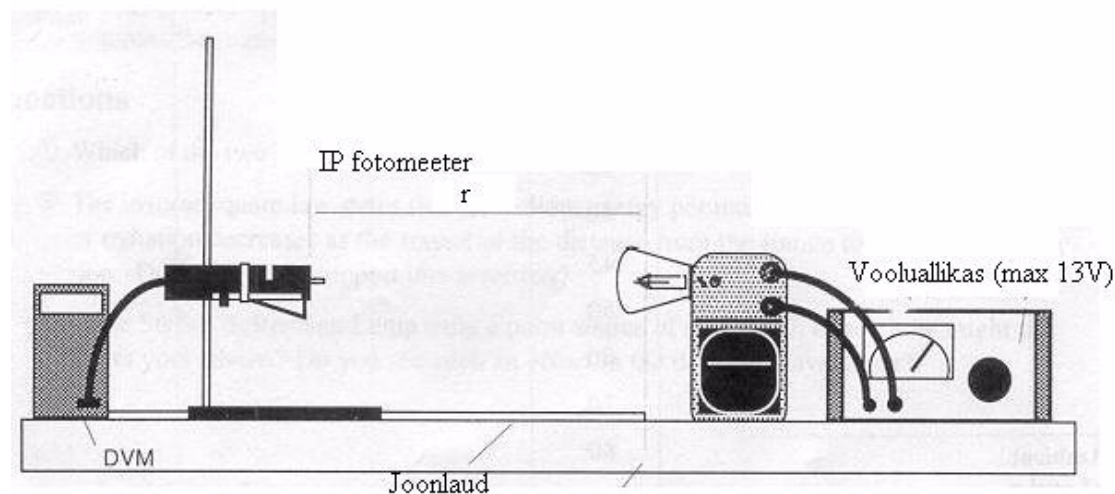
Töö käik, teoreetiline osa.

Keha poolt kiiratava elektromagnetilise kiirguse intensiivsus kahaneb pöördvõrdeliselt ruuduga kaugusest keha kiirguse allikani, valemiga kirjutades:

$$R = \frac{c}{r^2}, \quad (3.1)$$

kus R on kiirguse intensiivsus, r – kaugus kiirguse allikani ning c on konstant, mis on seotud kiirgusallika võimsusega ning keskkonna neeldumisteguriga. Ülaltoodud seos kehtib siiski vaid juhul, kui tegemist on homogeense keskkonnaga. Kuivõrd soojuskiirgus on elektromagnetilise kiirguse alaliik, siis kehtib seos (3.1) ka soojuskiirguse intensiivsuse mõõtmisel.

Töö käik.



Joonis 3.1 Eksperimendi katseseadmed.

1. Seadke katseseade (aparatuur) üles nii nagu näidatud joonisel 3.1. Jälgige, et lambi hõõgniit oleks täpselt samal kõrgusel infrapunafotomeetriga ning fotomeeter oleks suunatud täpselt hõõgniidile. Ühendage DVM fotomeetriga ning lamp vooluallikaga.
2. SISSELÜLITAMATA LAMBI korral nihutage fotomeetrit piki joonlauda ning mõõtke iga 10 cm järel soojuskiirguse intensiivsus (esialgu millivoltides, arvutada jõuate pärast), kandke tulemused tabelisse 3.1.

Aine struktuur ja aatomifüüsika
Soojuskiirguse intensiivsuse sõltuvus kauguses

Tabel 3.1. Soojuskiirguse taustväärtused.

Kaugus l (cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	Keskmine
DVM näit (mV)									
Taustkiirguse intensiivsus R_t									

Keskmine taustkiirgus $\bar{R}_t = \dots$

Leidke nende mõõtmiste põhjal keskmine taustsoojuskiirgus. R_t leidmiseks arvutamiseks peate DVM näidu korrutama IP-fotomeetril oleva kordajaga (vastavalt ümberlüüti asendile).

- Lülitage vooluallikas sisse, seadke pinge umbes 10-12 V peale. Ärge unustage seda kirja panna!
- Mõõtke soojuskiirguse intensiivsus ® järgnevate vahemaade korral: 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 ;4,5 ;5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0, 25,0; 30,0; 35,0; 40,0; 45,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0; 90,0; 100,0 cm. Täitke tabel 3.2 kõigi etteantud vahemaade korral.

Tabel 3.2. Kiirguse intensiivsuse sõltuvus kaugusest.

Kaugus r (m)	Intensiivsus R (mV)	Intensiivsus R (W)	$R - \bar{R}_t$	$1/r^2$ (m ⁻²)
0,025				
0,03				
0,035				
0,04				
0,045				
0,05				
0,06				
0,07				
0,08				
0,09				
0,1				
0,12				
0,14				
0,16				
0,18				
0,2				
0,25				
0,3				
0,35				
0,4				
0,45				
0,5				
0,6				
0,7				
0,8				
0,9				
1,0				

Arvutused.

- Joonistage graafikud $R=f$ ® ning $R=f(1/r^2)$.

Aine struktuur ja aatomifüüsika
Soojuskiirguse intensiivsuse sõltuvus kauguses

2. Vastavalt seosele (3.1) sõltub IP-fotomeetri poolt registreeritud soojuskiirguse intensiivsus pöördvõrdeliselt fotomeetri ja soojusallika vahelise kauguse ruudust. Järelikult on intensiivsus R ja suurus $x \equiv \frac{1}{r^2}$ seotud lineaarselt – suuruse x kasvamisel suureneb intensiivsus R võrdeliselt x -ga. St, võime kirjutada $R=cx+b$, kus b on konstant (kui katse on korralikult tehtud ja mõõtmised korrektselt sooritatud, peaks see olema null). Leidke vähimruutude meetodi abil konstandid c ja b . (vt lisa valemid (L.6) ja (L.7)). ($y=\mathcal{R}$)
3. Leidke Pearsoni korrelatsioonikordaja sõltuvuse $R=cx+b$ jaoks.

Küsimused.

1. Kas teie poolt saadud mõõtmistulemused kinnitavad teooriat? (Millist valemit konkreetselt?)
2. Kui konstant b ei tule nulliga võrdne, mis võib olla selle põhjuseks?

Laboratoorne töö nr. 4 Geiger-Mülleri loenduri töö uurimine

Töö eesmärgid

1. Radioaktiivse kiirguse taseme mõõtmine Geiger-Mülleri loenduri abil.

Töövahendid:

Geiger-Mülleri torud, loendurid ST-250, ST-350, Science Workshop 500 interfeis, Geiger-Mülleri toru SE-7997, radioaktiivne isotoop, statiiv, plii, paber, alumiinium ja plastik.

Teoreetiline osa.

Õppe-eesmärkidel kasutatavate radioaktiivsete isotoopide kiirgustase on madal. Radioaktiivne kiirgus nendelt inimesele otsest ohtu ei kujuta. Oht inimese tervisele on siiski olemas, kui radioaktiivset ainet peaks sattuma organismi. Radioaktiivse kiirguse allikatega laboris ringi käies tuleb silmas pidada järgmisi ohutusnõudeid:

- 1) laboratooriumis söömine, joomine ja kosmeetika kasutamine pole lubatud;
- 2) vedelate radioaktiivsete isotoopidega katsetades tuleb kanda laborikitleid ja kindaid;
- 3) pärast katsete lõpetamist tuleb põhjalikult käsi pesta;
- 4) kõik vedelad radioaktiivsed jäägid tuleb valada spetsiaalsesse konteinerisse, mitte mingil juhul kraanikaussi;
- 5) teavita juhendajat KÕIGIST haavadest ja marrastustest;
- 6) ära vii radioaktiivseid materjale laborist välja.

TPÜ laborites kasutatavate Geiger-Mülleri torud (GM-torud) registreerivad nii α -, β - kui ka γ -kiirgust. Torud on täidetud tavaliselt neoniga ja halogeeniga. GM-toru sees, keset seda on anood, toru metallist väliskest on katoodiks. Kui neooni keskkonda sattuv α -, β - või γ -osake sunnib neooni aatomit kaotama elektroni (neooni aatom muutub iooniks), siis väljalöödud elektron tõmmatakse anoodi suunas ning neooniioon katoodi suunas. Oma teel põrkavad need laetud osakesed teiste neutraalsete neooni aatomitega ning löövad ka neist elektrone välja. Selliselt tekib tänu ühele ioonitekkele terve laviin ioone, mis viib hetkelisele voolu tekkele gaasis – registreeritakse vooluimpulss. Jõudes metallist väliskestani, saab neooniioon elektroni ning muutub neutraalseks. Saadud elektron ei lange siiski madalaimale võimalikule energiatasemele – aatom jääb ergastatuks. Põrgetel halogeeni aatomitega kaotab neooni aatom energiat ning elektron langeb madalaimale energiatasemele. Tavaliselt läheb selleks, et ioonide laviin jõuaks tagasi energeetilisse põhiolekusse, umbes 100 mikrosekundit. Geiger-Mülleri loenduri tööpõhimõttega on soovitatav tutvuda Ü. Ugaste jt õpikust [1].

Loenduritega töötamine.

ST250 Ratemeter – võimaldab näidata registreeritud osakeste arvu ühe sekundi või minuti kohta. Algseadistamisel tuleb paika seada tööpinge. Tööpinge seadistamiseks tuleb kasutada kas Cs-137 või Co-60 isotoope.

1. Seadke GM-toru spetsiaalsesse statiivi, ühendage juhtme abil loenduriga, asetage 1. või 2. riiulile isotoop ning lülitage loendur sisse.
2. Valige ümberlülitist **Function** H.V. (kõrgepinge) ning seadke pööratava nupu H.V.ADJ (kõrgepinge seadistus) abil pinget umbes 500V-le, seejärel lülitage **Function** lüliti asendisse COUNT (loendur). Ülemine pööratav lüliti seadke

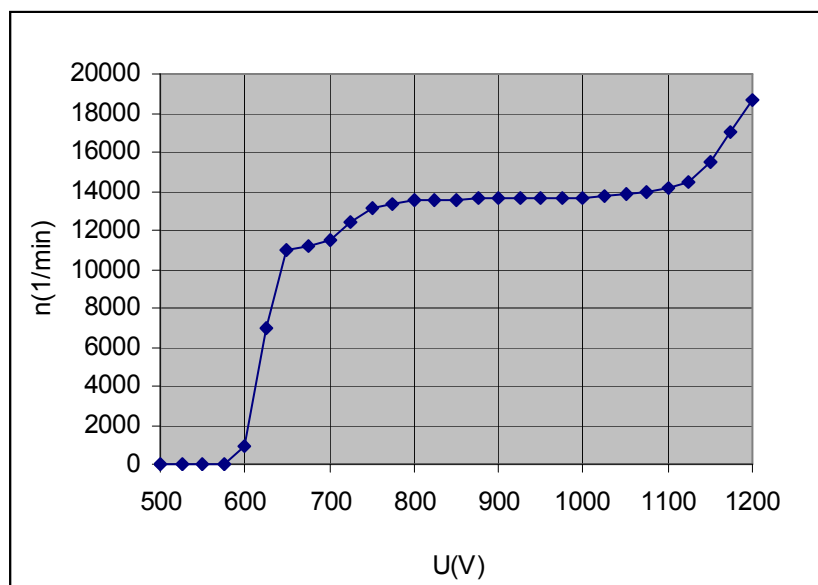
asendisse 60K COUNTS PER MINUTE (kui see on liiga palju, siis lülitage järjest madalamale tasemele, et loenduri osuti ei oleks liialt ühes või teises servas). Oodake umbes 1 minut ning registreerige näit.

3. Lülitage **Function** lüliti taas H.V. peale ning valige pinge umbes 525V, lülitage **Function** lüliti ümber COUNT peale jne. Täitke tabel 4.1.

Tabel 5.1. Loenduriga registreeritud osakeste arvu sõltuvus Geiger-Mülleri toru tööpingest.

Tööpinge U (V)	Loenduri näit n (1/min)
500	
525	
550	
575	
600	
625	
650	
675	
700	
725	
750	
775	
800	
825	
850	
875	
900	
925	
950	
975	
1000	
1025	
1050	
1075	
1100	
1125	
1150	
1175	
1200	

4. Koostage graafik $n=f(U)$. Õigete mõõtmiste (ja korralikult töötavate seadmete) korral peaks see tulema ligikaudu selline nagu näidatud joonisel 4.1.



Joonis 4.1. Geiger-Mülleri loenduri tööplato leidmine.

Jooniselt 4.1 ilmneb, et samalt allikalt samas ajavahemikus loendatud osakeste arv sõltub GM-toru tööpingest. Graafiku piirkonda, mille tõus on väike, nimetatakse GM-toru platooks. Antud graafiku järgi on see pingevahemik umbes 800-1025V. Eksperimendiks tuleks siis valida tööpingeks umbes keskmine – 900V. Kuivõrd tööpinge erinevates katsetes võib pisut kõikuda, siis on oluline, et see oleks valitud võimalikult stabiilsesse piirkonda. Üritades tööpingeks valida näiteks 650V, tähendaks 5V-ne tööpinge kõikumine ka registreeritud osakeste arvu suurt kõikumist.

ST350 Ratemeter – võimaldab näidata registreeritud osakeste arvu ühes sekundis ning lugeda osakeste koguarvu ka pikema aja jooksul. Ümberlülitid asendid on järgmised:

COUNTS – tavaline töörežiim, näidatakse loendatud osakeste koguarvu. Enne loendamise alustamist saab kogu loendatud osakeste arvu või aja paika seada. Näiteks valides loenduriga TIME, seejärel UP/DOWN klahvidega koguaeg (sekundites), seejärel ümberlülitid COUNTS asendisse. Nüüd loendamise alustamisel START-nupuga, lõpetab see loendamise valitud ajahetkel. Samamoodi saab COUNTS asendis anda ette maksimaalse loendatavate osakeste arvu ning hiljem TIME-asendis võib vaadata, kui palju kulus selleks aega.

RATEMETER – näitab loendatud osakeste arvu ühes sekundis või minutis. Viimast saab seadistada UP/DOWN klahvide abil.

HIGH VOLTAGE – GM-toru tööpinge seadistamiseks. Tööpinge saab paika seada UP/DOWN klahvide abil.

REMOTE – loenduri juhtimiseks juhul arvuti abil (kui see on ühendatud arvutiga).

Loenduri ST350 abil seadistatakse tööpinge analoogiliselt loenduriga ST250.

Tarkvara Science Workshop ja GM-loendur.

Science Workshop tark- ja riistvaraga koos töötamiseks on ette nähtud GM-toru SE-7997. Töötamine sellega on keeruline.

Laboratoorne töö nr 5 Poolestusaja mõõtmine

Töö eesmärgid

1. Radioaktiivse kiirguse intensiivsuse uurimine.
2. Radioaktiivse isotoobi poolestusaja määramine.

Töövahendid:

Geiger-Mülleri toru, loendur ST-350, radioaktiivne isotoop, spetsiaalne statiiv.

Töö käik, teoreetiline osa.

Radioaktiivsete isotoopide lagunemine on looduslik protsess. Aeg, mille jooksul mingi aatomituum laguneb, ei ole täpselt ennustatav suurus, vaid tõenäosuslik. Inimene ei sa kuidagimoodi aeglustada ega kiirendada tuumade iseeneslikku lagunemist. Seega, kui meil on mingi kogus radioaktiivset ainet, siis selle radioaktiivne kiirgus või mingis konkreetses ajavahemikus lagunevate tuumade hulk väheneb pidevalt.

Õnneks on tegemist küllaltki regulaarse protsessiga. Tõepoolest – me ei oska öelda, millal üks konkreetne aatomituum laguneb, kuid juhul, kui aatomituumasid on väga-väga palju, siis saab üsna täpselt öelda, kui palju neist mingil ajavahemikul lagunevad. Me teame, et ka kõige radioaktiivsemate ainete korral lagunemiste hulk ajaühikus (olgu selleks näiteks minut) läheneb nullile. Seega, ka kõige radioaktiivsemad ained lõpetavad kord kiirgamise. Mõnede isotoopide korral on kulub selleks sekundeid, mõningail juhtudel miljoneid või miljrdeid aastaid.

Kui me teame, kui palju meil on lagunemata radioaktiivseid aatomeid (aatomituumi, kui täpsem olla) ning lagunemise konstanti, siis oskame öelda, kui palju on neid järgi jäänud 2 päeva, 2 kuu jne möödudes. Selle, kui palju on lagunemata radioaktiivseid tuumasid N pärast mingit ajavahemikku t , võime leida radioaktiivse lagunemise seaduse järgi, mille võib kirja panna järgmise valemi abil:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (5.1)$$

kus N_0 on lagunemata tuumade arv aja alghetkel $t_0 = 0$ ja λ on radioaktiivse lagunemise konstant. Tuumafüüsikas kasutatakse radioaktiivsete tuumade lagunemise ajavahemiku iseloomustamiseks ka suurust poolestusaeg τ , mis näitab aega, mille jooksul laguneb pool vaatluse alguses olnud tuumadest. Konstant λ on seotud poolestusajaga järgmiselt:

$$\tau = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (5.2)$$

Radioaktiivse isotoobi lagunemata tuumade arv on võrdelises seoses isotoobi radioaktiivse kiirguse intensiivsusega ehk ka lagunemiste arvuga ajaühikus – mida rohkem on meil lagunemata radioaktiivse isotoobi tuumi, seda rohkem neid ajaühikus laguneb ja vastupidi. Seega, tähistades lagunemiste arvu ajaühikus (ehk aine aktiivsuse) mingil ajaarvestamise alghetkel n_0 , lagunemiste arvu ajaühikus n , siis võime kirjutada:

$$n = n_0 e^{-\lambda t}. \quad (5.3)$$

Valemid (5.1) ning (5.3) on oma kujult sarnased, kuid suurused on siiski erinevad – N on lagunemata tuumade arv (kuidas seda täpselt mõõta?), n – mõõteparaadiga

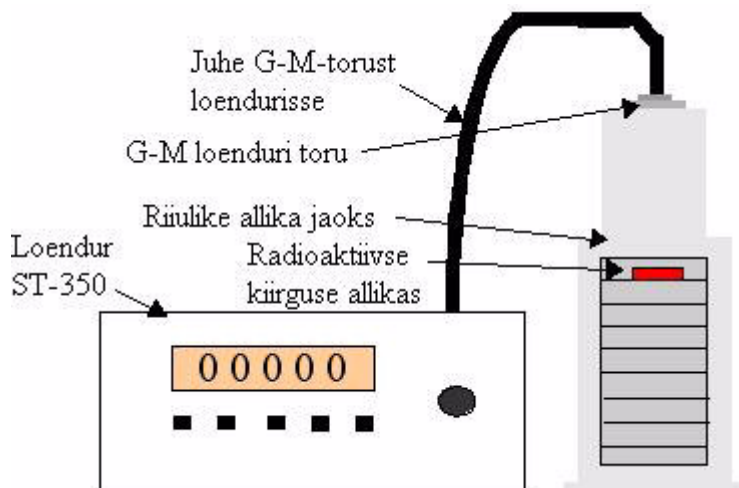
registreeritud lagunemised. Kui lagunemata tuumasid on rohkem, siis laguneb neid ajaühikus rohkem, järelkult ka registreeritakse lagunemisi rohkem.

Radioaktiivse isotoobi poolestusaja määramiseks tuleb mõõta selle aktiivsust erinevatel ajahetkedel ning määrata lagunemise konstant graafikult (ja valemi (5.2) abil poolestusaeg) või leida see vähimruutude meetodi ajal.

NB! Kuivõrd meil on tegemist isotoopidega, mille poolestusaeg ulatub 137-st päevast kuni 30 aastani, siis tuleb mõõtmisi teha mitme nädala, üldjuhul mitme kuu vältel.

Töö käik:

1. Seadke üles katseseade nii nagu näidatud joonisel 5.1.



Joonis 5.1. Geiger-Mülleri loendur ja radioaktiivse kiirguse allikas.

2. Mõõtke Geiger-Mülleri loenduri abil taustkiirguse tase (aktiivsus) 5 minuti jooksul.
3. Asetage loenduri alla esimesse vahesse juhendaja poolt antud isotoop (Po-210) ning mõõtke selle aktiivsus 5 minuti jooksul.
4. Kandke mõõtetulemused tabelisse 5.1.
5. Korrake mõõtmisi 6-10 nädala jooksul. Kontrollige, et iga kord oleks sama näidis (Po-210 isotoobid on erinevate kuupäevadega).

Tabel 5.1. Mõõtmistulemused.

Kuu-päev	Täpne mõõtmis-aeg T (s)	Taustkiirgus - loendatud osakesi kokku	Taustkiirgus r (1/min) – loendatud osakesi minuti kohta	Isotoobi aktiivsus koos taustkiirgusega	Isotoobi aktiivsus n' koos taustkiirgusega 1 minuti kohta (1/min)	Isotoobi aktiivsus n (1/min) - ilma taustkiirgusega

Riuli number.....

Arvutused.

1. Arvutage kõigi katsete jaoks taustkiirgus ühe minuti kohta, isotoobi aktiivsus koos taustkiirgusega ühe minuti kohta. Isotoobi aktiivsus $n=n_0 \cdot e^{-\lambda t}$.
2. Leidke kõikide katsete jaoks naturaallogaritm aktiivsusest $\ln(n)$ ning pange tulemused tabelisse 5.2.

Tabel 5.2. $\ln(n)$ sõltuvus lagunemise ajast t .

Lagunemise aeg t (päev)	Aktiivsus n (1/min)	$\ln(n)$

3. Väljendage graafikul isotoobi aktiivsuse sõltuvust lagunemise ajast $n=f(t)$.
4. Koostage graafik $\ln(n) = f(t)$.

Arvutused ja andmeanalüüs.

1. Radioaktiivse lagunemise konstandi leidmiseks tuleb lähtuda valemist (5.3). Võttes valemist (5.3) naturaallogaritmi ning kasutades siis logaritmi omadusi, saame:

$$\ln(n) = \ln(n_0 e^{-\lambda t}) = \ln(n_0) - \lambda t \ln(e) = \ln(n_0) - \lambda t. \quad (5.4)$$

Seega on $\ln(n)$ -st lineaarses sõltuvuses lagunemise ajast ning $\ln(n)=f(t)$ graafikuks peaks olema sirge. Seega – leides vastava sirge tõusu, leiame aja ees oleva kordaja ehk konstandi λ väärtuse.

See on graafiline meetod (kasutage selleks graafikut $\ln(n) = f(t)$). $\lambda = \frac{\Delta y}{\Delta x} \equiv \frac{\Delta(\ln(n))}{\Delta t}$,

vastavad suurused leitakse graafikult.

2. Radioaktiivse lagunemise konstandi võime leida ka vähimruutude meetodi abil, ehk siis järgmiselt.

Seose (5.4) võrdlemisel lineaarse funktsiooniga $y=kx+b$, näeme, et $\ln(n)$ -st on ajaga t lineaarselt seotud ning sõltuvuse graafikuks on sirge tõusuga k . Lineariseeritud andmete järgi, st võttes $y=\ln(n)$ ja $x=t$, siis $\lambda=k$ ja selle saab leida valemi (L.7) järgi.

3. Leidke poolestusaeg τ valemi (5.2) abil.

Küsimused.

1. Kas teie poolt arvutatud poolestusaeg langeb kokku tabelites (vt nt Giancoli raamatut) antuga? Kui suur on teie poolt leitud ja tabelis antud poolestusaja suhteline erinevus?
2. Tehke läbi valemi (5.4) avaldamine.
3. Millised peaksid ideaalsel juhul olema teie poolt saadud andmete graafikud? Mis põhjustab erinevusi ideaalsest juhtumist?

Laboratoorne töö nr 6 Radioaktiivse kiirguse neeldumine I

Töö eesmärgid

Radioaktiivse kiirguse neeldumise uurimine.

Töövahendid:

Geiger-Mülleri toru, loendur ST-350, ST-250 või Science Workshop loendur, radioaktiivne isotoop, statiiv, erineva paksusega alumiiniumplaadid.

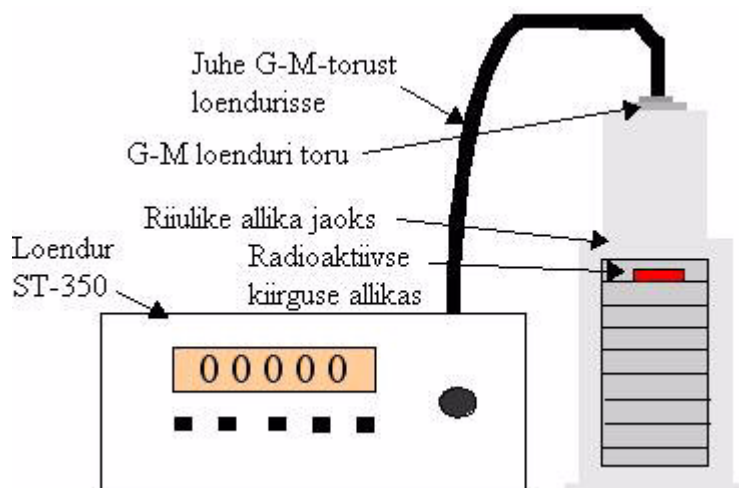
Töö käik, teoreetiline osa.

Üldreeglina võime arvestada, et suurema tihedusega aines neeldub radioaktiivne kiirgus paremini. Võime öelda, et α -, β - ja γ -osakeste energia väheneb. Mõned osakesed võivad jääda materjali, teiste energia (α - ja β -kiirguse korral on see võrdeline nende osakeste kiiruse ruuduga) võib väheneda nii palju, et uuritavast materjalist väljuvad väga väikese kiirusega ning ei kujuta enam ohtu inimesele. Teisalt, nii nagu tuumade lagunemine on tõenäosuslik protsess, on seda ka radioaktiivse kiirguse neeldumine. Kui radioaktiivse allika aktiivsus ei ole väike, siis lendab kiirgusallikast välja palju osakesi (kiirguse intensiivsus on suur). Asetades kiirgusallika ja GM-loenduri vahele kiirgust absorbeeriva aine – kiirguskaitse, siis osa osakestest põrkub aine molekulide ja aatomitega, nende energia võib väheneda, üks osa neelatakse täielikult ja osa võib ainest ilma igasuguse interaktsioonita läbi lennata. Mida suurem on kiirguse intensiivsus, seda suurem on ka läbitunginud osakeste arv – seda suurem arv registreeritakse GM-loenduriga.

Antud töös uurime, kuidas neeldub erinevate allikate (α -, β - või γ -kiirguse allikad) kiirgus ühes ja samas materjalis.

Töö käik.

1. Seadke katseseade üles nii nagu näidatud joonisel 6.1. Eemaldage ettevaatlikult plastikkaitse Geiger-Mülleri toru otsast. Asetage toru statiivi.
2. Seadistage loendur – seadke tööpinge 900 voldile. Mõõtke taustkiirgus 5 minuti jooksul, eemaldage selleks ajaks kõik kiirgusallikad torust (hea kui vähemalt 3m kaugusele). Arvutit ja Science Workshop tarkvara abil mõõtes pole GM-toru tööpinget vaja seadistada.
3. ST-loenduritega mõõtes asetage α -kiirguse allikas 3.-ndasse vahesse. (Tegelikult pole see oluline, mitmes vahe, oluline, et see jääks katsete ajal samaks). Mõõtke kiirguse tase (GM-toru ja loenduri poolt registreeritud osakeste arv) ühe minuti jooksul.
4. Asetage kiirgusallika ja GM-toru vahele alumiiniumplaat G ja korrake katset.
5. Korrake katset erinevate alumiiniumiplaatidega alustades kõige õhemast. Tulemused kandke tabelisse 6.1.



Joonis 6.1. Geiger-Mülleri toru, loendur ja statiiv radioaktiivse kiirguse mõõtmisel. Loenduri ST-350 asemel võib olla ka loendur ST-250.

Tabel 6.1. Kiirgustaseme sõltuvus kiirgusallika ja GM-toru vahel asetseva alumiiniumplaadi paksusest (pindtihedusest). α -kiirguse allikas:

Kihi pindtihedus (mg/cm^2)	σ	0	4,5	6,5	14,1	28,1	59,1	102	129	161	208
Isotoobi aktiivsus taustkiirgusega n' (1/min)											
Isotoobi aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)											
Log(n)											

6. Korrake katset γ -kiirguse või β -kiirguse allikaga – küsige juhendajalt millisega.

Kihi pindtihedus (mg/cm^2)	σ	0	4,5	6,5	14,1	28,1	59,1	102	129	161	208
Isotoobi aktiivsus taustkiirgusega n' (1/min)											
Isotoobi aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)											
Log(n)											

Andmeanalüüs ja küsimused.

1. Väljendage graafikul isotoobi aktiivsuse sõltuvust lagunemise ajast $n=f(\sigma)$.
2. Koostage graafik $\log(n) = f(\sigma)$. Milline peaks olema antud graafiku kuju?
3. Leidke sirge $\log(n) := y = k \cdot \sigma + b$ parameetrid k ja b vähimruutude meetodi abil.
4. Kui paksu alumiiniumikihi (kui suure pindtiheduse korral) väheneb registreeritud α -kiirguse allika aktiivsus kaks korda? Kui paksu kihi korral väheneb kaks korda γ -kiirguse aktiivsus?

Laboratoorne töö nr 7 Beeta-lagunemise energia

Töö eesmärgid

β -lagunemisel β -osakeste maksimaalse energia määramine.

Töövahendid:

Geiger-Mülleri toru, loendur ST-350, ST-250 või Science Workshop loendur, radioaktiivne isotoop, statiiv, erineva paksusega alumiiniumplaadid.

Töö käik, teoreetiline osa.

Võime arvestada, et suurema tihedusega aines neeldub radioaktiivne kiirgus paremini. Üldreeglina võime öelda, et kiirguse neeldumine (radioaktiivse kiirguse aktiivsuse vähenemine aine läbimisel) sõltub vaid kiirgust neelava aine tihedustest. (Päris täpne see väide pole, kuid piisavalt üldisena see reegel kehtib). α -radioaktiivsest isotoobist kiirguvad α -osakesed ehk He_2^4 -tuumad on kõik ühesuguse energiaga, st α -osakese energia sõltub vaid isotoobist. β -radioaktiivsete isotoopidega on asi teisiti. β -osakeste (elektronide) kiirus ja seega ka kineetiline energia võivad olla väga erinevad. β -osakese kiirus võib ulatuda nullist kuni valguse kiiruse lähedaste kiirusteni. Isotoopi saab sel juhul kindlaks määrata maksimaalne β -osakeste energiaga. Mõõtes β -osakeste neeldumist erineva tihedusega ainetes, võime määrata nõ 'aine tiheduse', mille korral praktiliselt kogu kiirgus on neeldunud. Empiirilisel on tuletatud järgmine valem β -osakeste maksimaalse energia määramiseks:

$$E_{\max} = 1,84R + 0,212, \quad (7.1)$$

kus R on kihi tihedus, mille korral kiirgus on neeldunud.

Töö käik.

1. Seadke katseseade üles nii nagu näidatud joonisel 6.1. Eemaldage ettevaatlikult plastikkaitse Geiger-Mülleri toru otsast. Asetage GM-toru statiivi.
2. Seadistage loendur – seadke tööpinge 900 voldile. Mõõtke taustkiirgus 3 minuti jooksul, eemaldage selleks ajaks kõik kiirgusallikad torust (hea kui vähemalt 3m kaugusele). Arvutit ja Science Workshop tarkvara abil mõõtes pole GM-toru tööpinget vaja seadistada.
3. ST-loenduritega mõõtes asetage β -kiirguse allikas 3.-ndasse vahesse. (Tegelikult pole see oluline, mitmes vahe, oluline, et see jääks katsete ajal samaks). Mõõtke kiirguse tase (GM-toru ja loenduri poolt registreeritud osakeste arv) ühe minuti jooksul. Korrake katset veel kahel korral ja keskmistage tulemused.
4. Mõõtke β -kiirguse aktiivsust absorbeeriva kihi erinevate tiheduste korral. Iga neelava kihi puhul kolm korda ühe minuti jooksul. Keskmistatud tulemused kandke järgmisse tabelisse.

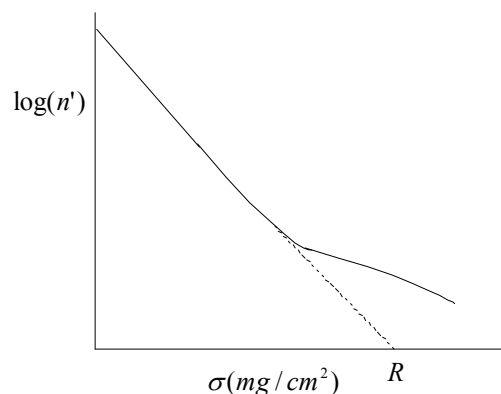
Tabel 7.1. Kiirgustaseme sõltuvus kiirgusallika ja GM-toru vahel asetseva kiirgust absorbeeriva kihi paksusest (pindtihedusest).

Aine struktuur ja aatomifüüsika
Beeta-lagunemise energia

Katse nr.	Absorbeerivakihi pindtihedus (mg/cm^2) σ	0	102	328	516	849	1230	1890
1	Isotoobi aktiivsus taustkiirgusega n' (1/min)							
2								
3								
	Log(n')							

NB! Taustkiirgust ei tule maha lahutada.

5. Koostage graafik $\log(n') = f(\sigma)$. Pikendage joont kuni σ -teljeni nagu näidatud joonisel 7.1. Lõikepunkt σ -teljega annab R väärtuse.



Joonis 7.1. Beeta-osakeste neeldumine.

Küsimused.

1. Milline on antud β -radioaktiivse isotoobi (millega on teil tegemist?) β -osakeste maksimaalne energia? Kas teie poolt saadud tulemus langeb kokku tabelites esitatud andmetega?
2. Kuidas on võimalik R väärtust leida analüütiliselt? (Algul leides vähimruutude meetodi abil vastava sirge kordajad ning selle järgi arvutades.) Tehke ka see meetod läbi.

Laboratoorne töö nr 8 Radioaktiivse kiirguse neeldumine II

Töö eesmärgid

Radioaktiivse kiirguse neeldumise uurimine erinevates materjalides.

Töövahendid:

Geiger-Mülleri toru, Science Workshop loendur, radioaktiivne isotoop, statiiv, nihik, erineva paksusega paber, plastik- ja pliiplaadid.

Töö käik, teoreetiline osa.

Üldreeglina võime arvestada, et suurema tihedusega aines neeldub radioaktiivne kiirgus paremini. Nii nagu tuumade lagunemine on tõenäosuslik protsess, on seda ka radioaktiivse kiirguse neeldumine. Kui radioaktiivse allika aktiivsus ei ole väike, siis lendab kiirgusallikast välja palju osakesi (kiirguse intensiivsus on suur). Asetades kiirgusallika ja GM-loenduri vahele kiirgust absorbeeriva aine – kiirguskaitse, siis osa osakekestest põrkub aine molekulide ja aatomitega, nende energia võib väheneda, üks osa neelatakse täielikult ja osa võib ainest ilma igasuguse interaktsioonita läbi lennata. Mida suurem on kiirguse intensiivsus, seda suurem on ka läbitunginud osakeste arv – seda suurem arv registreeritakse GM-loenduriga.

Antud töös uurime, kuidas neeldub erinevate allikate (α -, β - või γ -kiirguse allikad) kiirgus erinevates materjalis. Kiirguse mõõtmiste jaoks kasutatakse Science Workshop interfeissi ja PASCO poolt toodetud GM-loendurit.

Töö käik.

1. Ühendage SW-interfeis arvutiga, lülitage interfeis sisse. Lülitage arvuti sisse. Käivitage programm Science Workshop. Avage fail
c:\sciwkshp\library\physics\P59_schi.sws
2. Sädke GM -toru statiivi külge. Eemaldage ettevaatlikult plastikkaitse Geiger-Mülleri toru otsast. Kinnitage toru statiivi külge klambriga 1-2 cm kõrgusele kiirgusallikast. Ühendage GM-toru interfeisi digitaalsisendiga 1. Eemaldage kiirgusallikas ja mõõtke taustkiirguse tase 3 minuti jooksul. Leidke taustkiirguse tase 1 minuti kohta.
3. Asetage β -kiirguse allikale 1 pliiplaat ning mõõtke aktiivsus 1 minuti jooksul. Tulemused (millest on maha lahutatud keskmine taustkiirguse aktiivsus 1 minuti kohta) kandke tabelisse 8.1.
4. Korrake katsest asetades kiirgusallikale kokku kaks pliiplaati. veel kahel korral ning kandke tulemused tabelisse 8.1. Korrake katset 3,4 ja 5 plaadi korral.
5. Korrake mõõtmisi sama allika korral sama paksude plastikplaatide ning papitükkidega (paberitükkidega) kandes tulemused vastavalt tabelitesse 8.2 ja 8.3.
6. Korrake kõiki katseid γ -kiirguse allikatega.

Keskmine taustkiirgus 1 minuti jooksul $n_{\text{taust}} = \dots\dots\dots$

Tabel 8.1. Radioaktiivse kiirguse neeldumine pliiis.

Allikas \ kihtide arv	0	1	2	3	4	5
β -kiirgus - aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)						
γ -kiirgus - aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)						

Tabel 8.2. Radioaktiivse kiirguse neeldumine plastikus.

Allikas \ kihtide arv	0	1	2	3	4	5
β -kiirgus - aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)						
γ -kiirgus - aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)						

Tabel 8.3. Radioaktiivse kiirguse neeldumine paberis.

Allikas \ kihtide arv	0	1	2	3	4	5
β -kiirgus - aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)						
γ -kiirgus - aktiivsus taustkiirguseta n (1/min)						

Arvutused ja andmete analüüs

- Mõõtke plii- ning plastikplaatide paksus (papi tüki paksus peab olema samasugune). Leidke mõlema allika korral kõigi mõõtmiste korral $\log(n)$ ning kandke tulemused tabelisse 8.2.

Absorbeeriva kihi paksus l (mm)						
$\log(n_{\text{plii}})$						
$\log(n_{\text{plast}})$						
$\log(n_{\text{papp}})$						

- Koostage graafikud $n=f(l)$ ja $\log(n)=f(l)$.
- Milline peaks olema antud graafikute kuju?
- Millise absorbeeriva aine korral neeldub radioaktiivne kiirgus kõige paremini?
- Milline kiirgus on kõige suurema läbitungivusvõimega? Milline väikseimaga?
- Radioaktiivse kiirguse energia neeldub aines. Milline on neeldunud kiirguse energia toime vastavale ainele?
- Mis põhjustab erinevat tüüpi kiirguste läbitungivusvõime erinevuse?
- Kui efektiivsed võivad olla teised materjalid, näiteks õhk ja vesi, kiirguse neelamisel?
- Milline aine on radioaktiivse kiirguse neelamisel kõige efektiivsem (mitte antud katse põhjal, vaid üldiselt)? Milliseid aineid kasutatakse kiirguse varjestamiseks tuumareaktorite korral?

Laboratoorne töö nr 9 Radioaktiivne kiirgus - ruutsõltuvuse seadus

Töö eesmärgid

Uurida radioaktiivse kiirguse intensiivsust sõltuvalt kiirgusallika ja mõõteriista vahelisest kaugusest.

Töövahendid:

Geiger-Mülleri toru, Science Workshop interfeis, arvuti, radioaktiivne isotoop, joonlaud, statiiv.

Töö käik, teoreetiline osa.

Üks kõige tavalisemaid seadusi, mis iseloomustab mingi kiirguse intensiivsuse kahanemist on nn ruutsõltuvuse seadus.

Üks kuulus teadlane on öelnud: Ruutsõltuvuse seadus on iseloomulik kõigele, mis algab punktallikast ja liigub sirgjoont mööda ilma, et läheks kaduma.

Nii valgus kui heli käituvad mõlemad ruutsõltuvuse seaduse kohaselt, kui nad hakkavad levima punktallikast. Sinu intuitsioon ütleb, et kui sa liigud eemale punktallikast nagu näiteks elektripirnist, siis valguse intensiivsus läheb väiksemaks. Sama kehtib ka heli puhul, kui kaugened näiteks raadiost.

Üks asi pole aga nii arusaadav – kui sa lähed kaks korda kaugemale kummastki allikast, siis intensiivsus läheb 4 korda väiksemaks, mitte 2 korda (ehk siis poole väiksemaks). Sama asi toimub siis, kui istud auditoriumis ja kuulad muusikat. Kui sa otsustad muusika riistale minna 3 korda lähemale, siis heli intensiivsus suureneb 9 korda. Sellepärast nimetataksegi seda seadust ruutsõltuvuse seaduseks.

Matemaatiliselt võib seda väljendada nii $I \sim \frac{1}{r^2}$, kus I on kiirguse intensiivsus ja r on allika ja sensori vahelina kaugus.

Laboratoorses töös nr 3 uurisime, kas soojuskiirguse intensiivsus väheneb kiirgusallika ja sensori vahelise kauguse suurenemisel pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Selline sõltuvus on iseloomulik kõigile elektromagnetkiirguse liikidele.

Kas radioaktiivne kiirgus käitub sama moodi? Kuivõrd γ -kiirgus on elektromagnetkiirgus, siis selle korral peaks see kindlasti nii olema, kuid mis juhtub α - ja β -kiirguse korral?

Selleks, et seda kontrollida, võrdleme andmeanalüüsi osas saadud tulemusi ka teise võimalusega – juhtuga, kui kiirguse intensiivsuse sõltuvust kaugusest kirjeldaks seos

$$I \sim \frac{1}{r}.$$

Töö käik

1. Ühendage Science Workshop interfeis arvutiga, lülitage sisse interface ja seejärel arvuti. Kinnitage GM-toru statiivi külge, umbes 1 cm kõrgusele kiirgusallikast. Eemaldage plastikkaitse Geiger-Mülleri toru otsast.
2. Ühendage GM toru vooluvõrku ja lülita sisse POWER nupust. Ühendage GM-toru pulkpistik interfeisi digitaalkanaliga 1
3. Käivitage programm Science Workshop. Avage fail:
c:\sciwksp\library\physics\P60_inv.sws
Antud töös mõõdetakse kiirguse intensiivsust (allika aktiivsust) 3 minuti jooksul. Teil tuleb oma arvutustes ja tabelites kasutada aktiivsust ühe minuti kohta.

4. Eemaldage kiirgusallikast torust (soovitavalt vähemalt 3 meetri kaugusele). Mõõtke taustkiirguse intensiivsus 3 minuti jooksul.

Taustkiirguse intensiivsus 1 minuti kohta: $n_{\text{taust}} = \dots \dots 1/\text{min}$

5. Võtke juhendaja poolt määratud kiirgusallikas (Sr-90 või Cs-137) ja paigutage GM-toru alla nii, et toru ja allika vaheline kaugus s oleks 0,5 cm. Mõõtke allika intensiivsus (vajutage nuppu REC, arvuti teeb mõõtmisi 2 minuti jooksul). Mõõtmistulemused kandke tabelisse 9.1. – kiirgusallika aktiivsus 0,5 cm kaugusel **ilma taustkiirguseta**.
6. Korrake mõõtmisi GM-toru ja allika vahelise kauguse suurendamisel 1 cm-ni. Tulemused tabelisse 9.2. Suurendage vahemaad 0,5 cm-se sammuga kuni 15 cm-ni. Kui vahemaa allika ja GM-toru vahel on suurem (üle 10 cm), võib samm minna suuremaks, kuni 1 cm-ni.
7. Korrake katset teise kiirgusallikaga (Cs-137 või Sr-90).

Tabel 9.1. Kiirguse intensiivsuse I sõltuvus allika ja GM-toru vahelisest kaugusest. s

r (m)	0,005	0,01	0,015	0,02	...	0,14	0,15
Kiirguse intensiivsus I 1/min							

Andmete analüüs ja küsimused

1. Koostage graafik $n=f(s)$.
2. Kui kiirguse intensiivsus oleks pöördvõrdeline kauguse r ruuduga, st $I = \frac{c}{r^2} + k$, kus c ja k on suvalised konstandid, siis tähistades $x \equiv \frac{1}{r^2}$, võime kirjutada $I = cx + k$, st tegemist on lineaarse sõltuvusega. Andmete sobivust sirgega saame analüüsida Pearsoni korrelatsioonikoefitsendi abil. Selleks tuleb eelnevalt andmed lineariseerida. Analoogiliselt tuleb teha ka hüpoteesi $I = \frac{c}{r} + k$ korral. Lineariseeriga andmed ja kandke tabelisse 9.2.

Tabel 9.2. Kiirguse intensiivsus. Lineariseeritud andmed.

r(m)	0,005	0,01	0,015	0,02	...	0,14	0,15
$x=1/r$ (1/m)	200	100	66,7	50	...	7,14	6,67
$x_1=1/r^2$ (1/m ²)	40000	10000	4444	2500	...	51,02	44,44
Kiirguse intensiivsus I 1/min							

3. Koostage graafikud $I=f(x)$ ja $I=f(x_1)$. Milline graafik on sirgele lähemal? Millised järeldused võib teha joonistest?
4. Leidke Pearsoni korrelatsioonikoefitsent (vt lisa) mõlema sõltuvuse jaoks. Millised need on? Tehke järeldused.
5. Kuidas saab kontrollida hüpoteesi, et kiirguse intensiivsus sõltuks kaugusest järgmiselt $I = ke^{-cr}$, kus c ja k on mingid konstandid? (Vihje – vt töö nr 5).

Lisa 1. Statistilised arvutused.

Keskmine, ruutkeskmine hälve, dispersioon.

Keskvärtus:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (\text{L. 1})$$

kus n – mõõtmiste arv. x_i – i -ndal mõõtmisel saadud mõõtetulemus.
Kirjeldamiseks mõõtetulemuste hajumist, st keskmist erinevust keskvärtusest, kasutatakse mõistet **dispersioon**.

Üksiktulemuse dispersioon:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (\text{L. 2})$$

σ_x - üksiktulemuse standardhälve.

Kui teeme palju seeriaid, milles igaühes on n mõõtmist, siis saame **aritmeetilise keskmise dispersiooniks**:

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{n} \sigma_x. \quad (\text{L. 3})$$

Dispersioon kirjeldab vaid juhuslikku viga, mitte süstemaatilist viga.

Paljuden mõõtmisest koosnevate seeriade korral on üksikmõõtmise dispersiooniks:

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{n-1} \left\langle \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2 \right\rangle. \quad (\text{L. 4})$$

Aritmeetilise keskmise dispersiooni parimaks hinnanguks nimetatakse suurust:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}. \quad (\text{L. 5})$$

Üksikmõõtmise standardhälve iseloomustab andmete hajumist (keskmise ümber), aritmeetilise keskmise standardhälve iseloomustab mõõdetava suuruse tegelikku väärtust. Suure hulga mõõtmiste korral

- vahemikku $[\bar{x} - \sigma_x, \bar{x} + \sigma_x]$ mahub 70% andmetest;
- vahemikku $[\bar{x} - 2\sigma_x, \bar{x} + 2\sigma_x]$ mahub 95% andmetest;
- vahemikku $[\bar{x} - 3\sigma_x, \bar{x} + 3\sigma_x]$ mahub 99% andmetest.

Aritmeetilise keskmise standardviga iseloomustab mõõdetava suuruse tegelikku väärtust järgmiselt - suure hulga mõõtmiste korral

- vahemikus $[\bar{x} - \sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + \sigma_{\bar{x}}]$ on tegelik mõõdetav väärtus ligikaudu 70%-lise usaldusväärsusega (tõenäosusega), (täpsemalt – 68,3%);
- vahemikus $[\bar{x} - 2\sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + 2\sigma_{\bar{x}}]$ on tegelik mõõdetav väärtus ligikaudu 70%-lise usaldusväärsusega (tõenäosusega), (täpsemalt – 95,4%);
- vahemikus $[\bar{x} - 3\sigma_{\bar{x}}, \bar{x} + 3\sigma_{\bar{x}}]$ on tegelik mõõdetav väärtus ligikaudu 99%-lise usaldusväärsusega (tõenäosusega), (täpsemalt – 99,7%).

Suurust $\sigma_{\bar{x}}$ (**aritmeetilise keskmise standardhälve**) kasutatakse ka vea, täpsemalt – **mõõtemääramatuse** hindamiseks.

Juhul, kui tegemist on lõpliku arvu (nagu alati) mõõtmistega, kusjuures mõõtmiste arv ei ole väga suur, allub mõõtmiste jagunemine aritmeetilise keskmise ümber, Studenti jaotusele. **Mõõtemääramatus** leitakse järgmiselt:

$$\Delta x = t_{n,p} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (\text{L. 6})$$

kus $t_{n,p}$ on Studenti tegur, mis leitakse tabelist. n -mõõtmiste arv, p – usaldusväärsus (füüsikas tavaliselt 95%).

Studenti koefitsendid:

n	p		
	90%	95%	99%
2	6,31	12,7	63,7
3	2,92	4,30	9,92
4	2,35	3,18	5,84
5	2,13	2,78	4,60
6	1,02	2,57	4,03
7	1,94	2,45	3,71
8	1,89	2,36	3,50
10	1,83	2,26	3,25
15	1,76	2,14	2,98
50	1,68	2,01	2,68
100	1,66	1,98	2,63

MS Excelis vajaminevad funktsioonid:

AVERAGE(...) – aritmeetiline keskmine

SUM(nr1;nr2;...) – SUM(B4:B7) – summa

STDEV(nr1;nr2;...) – STDEV(B4:B7) – standardhälve

DEVSQ(nr1;nr2;...) – DEVSQ(B4:B7) – summa üle üksikmõõtmiste hälve keskmisest.

Vähimruutude meetod.

Vaatame kahe füüsikalise suuruse vahelist sõltuvust. Kõige lihtsamal juhul võib selleks olla sirge. Olgu need suurused $y = f(x)$. Ehk $y = kx + b$, kus m ja b on konstandid, antud juhul eksperimendi tulemustest määratavad suurused.

Üldkujulise lineaarse funktsiooni $y = kx + b$ korral kasutatakse vähimruutude meetodid suuruste m ja b leidmiseks. St. paljude mõõtmiste korral peab suurus

$SS = (\Delta y_1)^2 + (\Delta y_2)^2 + \dots + (\Delta y_n)^2$ olema minimaalne. Antud suuruse minimaalsuse nõudest tulenevad konstantide k ja b leidmiseks järgmised avaldised.

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (\text{L.7})$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (\text{L.8})$$

kus n on mõõtmiste arv. (9)

Mõlema suuruse m ja b jaoks saame samuti standardhälbed, need on leitavad järgmistest seostest:

$$\sigma_m = \frac{\sigma \sqrt{n}}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}}, \quad (\text{L.9})$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}}, \quad (\text{L.10})$$

$$\text{kus } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum (y_i - mx_i - b)^2}. \quad (\text{L.11})$$

Selliste arvutuste lihtsustamiseks võib teha järgmised tabeli.

i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
1	0			
2	7			
...				
n	$\sum_{i=1}^m x_i =$	$\sum_{i=1}^m y_i =$	$\sum_{i=1}^m x_i^2 =$	$\sum_{i=1}^m x_i y_i =$

Tabelarvutusprogrammi MS Exceli abil võib kasutada ka järgmist võimalust – andmete järgi graafiku joonistamisel – Chart Wizard – XY-Scatter. Kui punktid olemas, siis klikk graafikul mõne punkti peal, manüüst Chart – Add Trendline (või hiire parema nupuga Add Trendline).

Options

- Display Equation on Chart kuvab graafikule ka vastava regressioonijoone võrrandi;
- Display R-squared on Chart kuvab graafikule R^2 väärtuse, mis iseloomustab, kui hästi andmed selle võrrandiga kokku sobivad. Ideaaljuhul on $R^2=1$. $0 < R^2 < 1$. R on Pearsoni korrelatsioonikordaja (vt allpool).

Exceli funktsioonid:

INTERCEPT(y_i'd; x_i'd) – Intercept(B7:B15;A7:A15) – leiab lõikepunkti y-teljega. ehk b väärtuse
 SLOPE(y_i'd;x_i'd) – Slope(B7:B15;A7:A15) – leiab graafiku tõusu – m väärtuse.(ka LINEST(y_i'd;x_i'd)
 Vt. ka Trend.

Andmete vaheline korrelatsioon.

Andmete vahelise korrelatsiooni uurimiseks võib kasutada erinevaid meetodeid. Juhul, kui sõltumatu muutuja (x) ning sõltuva muutuja (y) vahel on lineaarne seos, mida võib üldiselt kirjeldada seosega $y=kx+b$, kus k ja b on konstandid, kasutatakse seose 'headuse' määramiseks Pearsoni korrelatsioonikordajat $r_{xy}=r$, mis võib omandada väärtusi -1 kuni 1 . Mida suurem on Pearsoni korrelatsioonikordaja absoluutväärtus $|r|$, st mida lähedasem ühele, seda suurem on kindlus, et suuruste x ja y vahel on tõepoolest lineaarne seos.

Seega – Pearsoni korrelatsioonikordaja näitab, kas katsest saadud suuruste x ja y kogumid vastavad teooriast poolt ennustatavale hüpoteesile, et nende vahel on lineaarne seos. Täpsemalt – et see seos võiks kehtida. Kui andmeid on liiga vähe või mõõtmised ebatäpsed, võib r olla ligikaudu 1 ka juhul, kui x ja y vahel on näiteks ruutsõltuvus või eksponentsiaalne seos (iga graafiku jaoks võib väga väikeses piirkonnas lähendada sirgega).

Pearsoni korrelatsioonikordaja võib leida järgmiselt:

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} . \quad (L.12)$$

Selle jaoks võib teha järgmise tabeli, mille abil on arvutusi lihtsam teha.

x	y	xy	x^2	y^2
...				
...				
$\sum_{i=1}^n x_i =$	$\sum_{i=1}^n y_i =$	$\sum_{i=1}^n x_i y_i =$	$\sum_{i=1}^n x_i^2 =$	$\sum_{i=1}^n y_i^2 =$

Kasutada võib ka mõnda tabelarvutusprogrammi, näiteks MS Excelis on selle jaoks funktsioon Pearson(...;...) (vt MS Excel help'i).