

Alfaspektromeetria protokoll

Taavi Tammaru

January 2025

Küsimused

1. Kirjelda pooljuhtdetektorite tööpõhimõtet (meenuta 4. loengut).

Pooljuhtdetektorid tuvastavad gamma kiirgust, nii et nad muundavad gamma footoni elektriimpulsiks. Gamma footon tekitab pooljuhti elektron-auk paare ning tekkinud laengukandjate arv on proportsionaalne footoni energiaga. Laengud hakkavad elektrivälja mõjul liikuma kindlas suunas, mis tekitabki elektrisignaali, mida saame mõõta. Pooljuhtdetektorid on väga hea energia resolutsiooniga, aga kallimad ja keerukamad.

2. Miks peab alfaspektromeetri kamber olema vaakumeeritud?

Alfaspektromeetri kamber peab olema vakumeeritud, et vähendada alfaosakeste neeldumist teel proovist detektorini.

3. Kuidas muutub alfaosakeste detekteerimise efektiivsus, kui muuta detektori ja kiirgusallika vahekaugust?

Detektoreerimise efektiivsuse ja kiirgusallika kauguse vahel on pöördruut seos. Kui liigutada detektorid allikast kaugemale, siis efektiivsus väheneb ruuduga.

4. Kirjelda alfaspektromeetriga mõõdetava proovi ettevalmistamise etappe Po-210 mõõtmise näitel.

Po-210 proovi ettevalmistamine koosneb järgmistest sammudest:

- (a) Vaskplaat puhastatakse lämmastikhappe lahusega
- (b) Et raua sadestumist koos polooniumiga vähendada, lisatakse soolhappe lahusele askorbiinhape
- (c) Sadestamislahusele lisatakse radioaktiivne lahus
- (d) Vaskplaat asetatakse lahusesse ja tekib ühtlane sadestumine sellele plaadile
- (e) Vaskplaat loputatakse dest. veega
- (f) Proov pannakse alfaspektromeetrisse

5. Miks lisame proovi ettevalmistamise käigus oma proovile teadaoleva aktiivsuskontsentratsiooniga Po-209 lahust?

- (a) Et kontrollida, kui suur osa Po-209 sadestub metalli pinnale. Teame, et Po-209 ja Po-210 on täpselt samade keemiliste omadustega seega Po-210 keemiline saagis on protsentuaalselt sama suur kui Po-209 jaoks.

- (b) Hinnata detekteerimise efektiivsust. Kui teame Po-209 aktiivuskontsentratsiooni, siis teame kui palju alfakiirgust me teoorias peaksime detekteerima. Praktilise detekteeringu ja teoreetilise koguse suhe ongi efektiivsus.

Sissejuhatus

Käesoleva töö eesmärk on õppida tundma alfaspektromeetrilisi mõõtmisi pooljuhtdetektoriga ja määrata poloonium-210 (Po-210) aktiivuskontsentratsioon uuritavas vedelikus. Praktikumi käigus:

- valmistatakse ette proovid Po-210 aktiivsuse mõõtmiseks;
- viiakse läbi seadme kalibreerimine ja energieresolutsiooni määramine;
- hinnatakse mõõtmistulemuste täpsust ja määramatust;
- analüüsitakse alfaosakeste detekteerimise efektiivsust detektori ja kiirgusallika erinevate geomeetrite ja kauguste korral.

Alfaspektrometria annab võimaluse määrata radionukliidide aktiivuskontsentratsiooni, hinnates seejuures keemilist saagist ja mõõtemääramatust. Käesolevas töös kasutatakse Po-209 isotoopi võrdlusstandardina, mis võimaldab määrata summaarse efektiivsuse ja parandada mõõtmiste täpsust.

Materjalid ja meetodid

Kasutatud seadmed ja materjalid

- **Seadmed:**
 - Alfaspetspektromeeter Canberra Model 7401.
 - Kuumutusplaat koos magnetsegajaga.
- **Radioaktiivsed allikad:**
 - Uuritav vedelik: Po-210 lahus.
 - Standardlahus: Po-209 isotoop teadaoleva aktiivsusega.
 - Kalibratsiooniallikad: Am-241 ja Pu-239.
- **Proovi ettevalmistamise vahendid:**
 - Vask- või hõbeplaadid.
 - HCl lahus (0,5 M) ja askorbiinhape.
 - Keeduklaasid, pintsetid, magnetsegaja pulgad.
 - Destilleeritud vesi.

Proovi ettevalmistamine

Proovi ettevalmistamisel järgiti järgmisi samme:

1. Vaskplaat puhastati, hoides seda 2 minutit HNO_3 lahuses ja loputati destilleeritud veega.
2. Sadestamislahus valmistati segades 80 ml 0,5 M HCl lahust ja 0,4 g askorbiinhapet.
3. Sadestamislahusele lisati uuritav vedelik (Po-210 lahus) ja Po-209 standardlahus. Lahuste kogused määrati kaalumise teel.
4. Puhastatud vaskplaat asetati lahusesse, kus sadestamine toimus 85 °C juures 3 tunni vältel, kasutades magnetsegajat.
5. Sadestamise lõppedes vaskplaat loputati ja kuivatati.
6. Valmistatud proov asetati alfaspektromeetrisse mõõtmiseks vähemalt üheks ööpäevaks.

Mõõtmise protseduur

- **Kalibreerimine:** Kalibreerimiskõver leiti Am-241 ja Pu-239 allikate abil, määrates spektri joone energia ja kanalinumbriga vastavuse.
- **Efektiivsuse mõõtmine:** Alfaosakeste detekteerimise efektiivsust hinnati Po-209 spektri joone põhjal, võttes arvesse fooni impulsside arvu.
- **Aktiivsuse määramine:** Po-210 aktiivsuskontsentratsioon arvutati valemiga, mis sisaldab proovi ja fooni spektrite mõõtmistulemusi.

Tulemused

Ülesanne 1: Spektrite kirjeldus

Mõõtmistulemused

Mõõtmistulemused on esitatud tabelis, mis kajastab mõõdetud spektrite kanaliumbreid, vastavaid energiavahemikke (keV) ning joone aluseid pindalasid nii Po-209 kui ka Po-210 jaoks, sealhulgas fooni andmeid.

Proov	Kanali number	Energia (keV)	Joone alune pindala
Po-209	399–411	4844.89–4984.63	4462
Po-210	433–447	5240.82–5403.85	98314
Foon (Po-209)	399–411	4844.89–4984.63	15
Foon (Po-210)	433–447	5240.82–5403.85	21

Summaarse efektiivsuse arvutamine

Summaarse efektiivsuse ($\epsilon\eta$) arvutamiseks kasutame järgmist valemit:

$$\epsilon\eta = \frac{r_{Po-209} - r_{foon}}{A_{Po-209}}$$

kus:

- r_{Po-209} : Po-209 spektrijoone loenduskiirus (impulsside arv sekundis),
- r_{foon} : fooni loenduskiirus Po-209 spektrijoone piirkonnas (impulsside arv sekundis),
- A_{Po-209} : Po-209 lahuse teadaolev aktiivsus (Bq).

Antud andmed:

- Po-209 joone pindala: $N_{Po-209} = 4462$,
- Fooni joone pindala: $N_{foon} = 15$,
- Mõõteaeg: $t = 172800$ s,
- Po-209 aktiivsus: $A_{Po-209} = 0.2090$ Bq.

Loenduskiirus r arvutatakse valemiga:

$$r = \frac{N}{t}$$

$$\begin{aligned} r_{Po-209} &= \frac{N_{Po-209}}{t} = \frac{4462}{172800} \approx 0.02582 \text{ imp/s}, \\ r_{foon} &= \frac{N_{foon}}{t} = \frac{15}{172800} \approx 0.0000868 \text{ imp/s}. \end{aligned}$$

Summaarse efektiivsuse valemisse asendades:

$$\begin{aligned} \epsilon\eta &= \frac{r_{Po-209} - r_{foon}}{A_{Po-209}} \\ \epsilon\eta &= \frac{0.02582 - 0.0000868}{0.2090} \approx \frac{0.0257332}{0.2090} \approx 0.1231 \text{ (või } 12.31\%). \end{aligned}$$

Summaarne efektiivsus on:

$$\epsilon\eta \approx 0.1231 \text{ (või } 12.31\%).$$

Ülesanne 2: Kalibreerimise tulemused

Kalibratsioonikõvera leidmine on vajalik alfaspektromeetri energiatelje kalibreerimiseks, et teisendada kanalinumbrid vastavateks energiaühikuteks (keV). Selleks kasutatakse teadaolevate alfakiirgajate, nagu Am-241 ja Pu-239, spektrijooni. Nende isotoopide alfaosakeste energiad ja emissiooni tõenäosused on teada.

Emiteerimistõenäosused (%)	Energia (keV)
84,45	5485,56
13,23	5442,86
1,66	5388,25

Table 1: Am-241 alfaosakeste tõenäosused ja energiad.

Emiteerimistõenäosused (%)	Energia (keV)
70,79	5156,59
17,14	5143,82
11,87	5105,81

Table 2: Pu-239 alfaosakeste tõenäosused ja energiad.

Kanali number	Energia (keV)	FWHM	Pindala
425.77	5156.59	51.38	10191
454.02	5485.56	51.09	10188

Table 3: Mõõtmistuumused

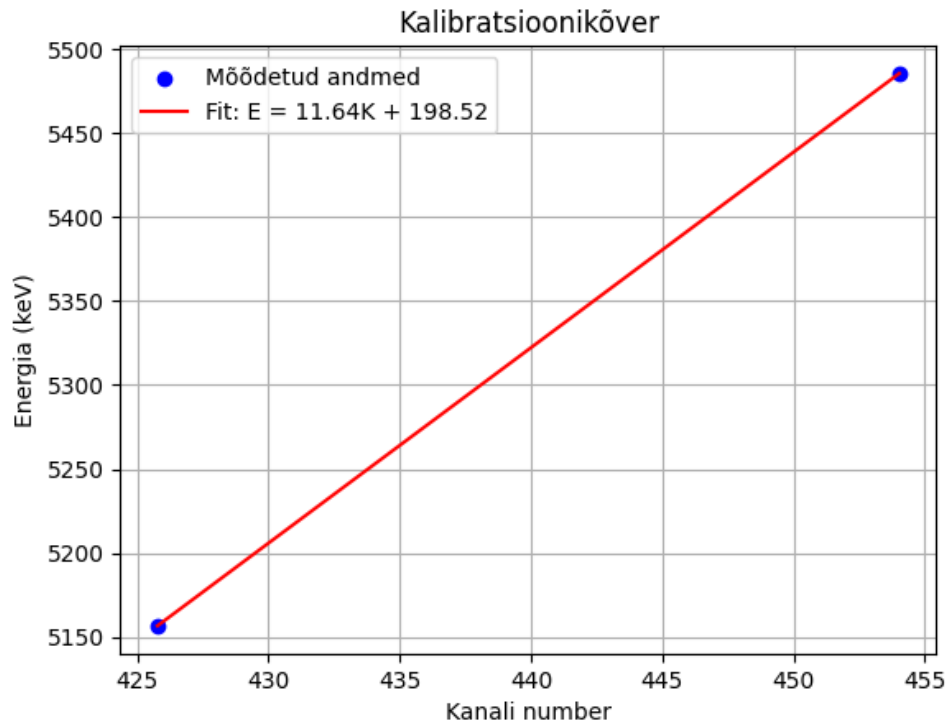


Figure 1: Kalibratsioonikõver

Keemilise saagise arvutamine

Keemilise saagise arvutamiseks kasutame valemit:

$$\eta = \frac{\epsilon\eta}{\epsilon}$$

kus:

- $\epsilon\eta$: summaarne efektiivsus (keemilise saagise ja alfaosakese detekteerimise efektiivsuse korrutis),
- ϵ : alfaosakese detekteerimise efektiivsus.

Asendame summaarse efektiivsuse valemisse:

$$\eta = \frac{0.1231}{0.2462} \approx 0.5$$

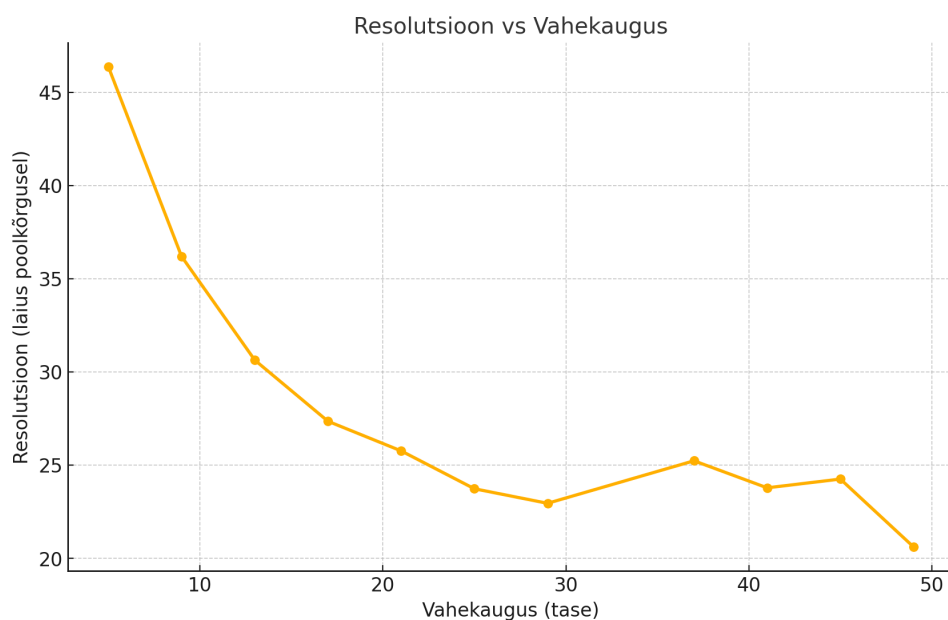
Ülesanne 3: Efektiivsuse sõltuvus vahekaugusest

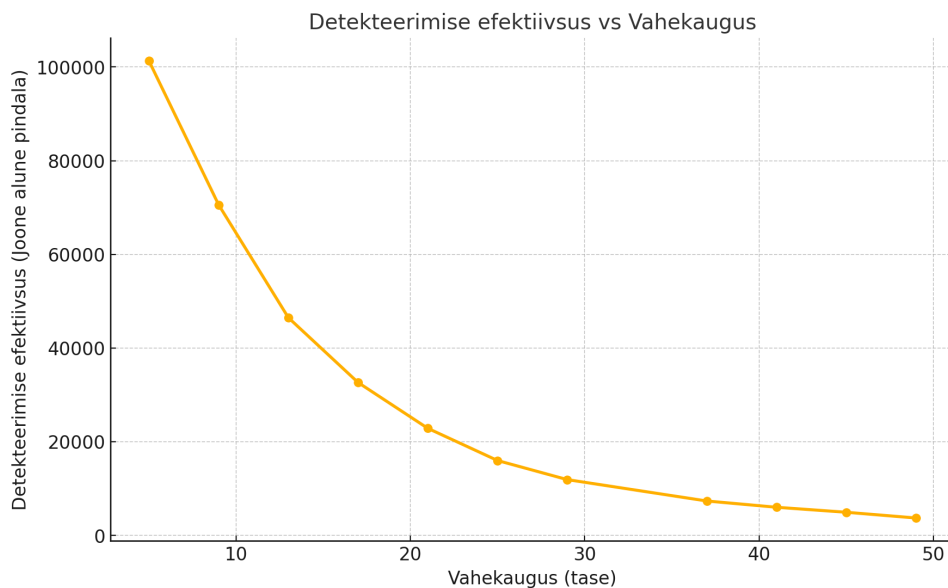
Ülesande eesmärgiks on selgitada välja, kuidas muutub alfaosakeste detekteerimise efektiivsus, kui muuta detektori ja kiirgusallika vahekaugust. Selle jaoks kasutame Am-241 allikat.

Mõõteajaks oli 300s.

Table 4: Energy Levels Data

Tase	Kanali nr	Energia (keV)	Laius poolkõrgusel	Joone alune pindala
Tasemel nr. 5	455.36	5485.56	46.36	101308
Tasemel nr. 9	454.97	5485.56	36.19	70567
Tasemel nr. 13	455.87	5485.56	30.63	46474
Tasemel nr. 17	455.98	5485.56	27.35	32630
Tasemel nr. 21	455.62	5485.56	25.76	22849
Tasemel nr. 25	455.76	5485.56	23.73	15974
Tasemel nr. 29	455.91	5485.56	22.95	11900
Tasemel nr. 37	455.42	5485.56	25.23	7339
Tasemel nr. 41	455.85	5485.56	23.78	6001
Tasemel nr. 45	454.53	5485.56	24.25	4933
Tasemel nr. 49	455.97	5485.56	20.61	3707





Ülesanne 4: Alfaosakese detekteerimise efektiivsuse sõltuvus allika geomeetriast

Detekteerimise efektiivsus ε väljendab detektorisse jõudvate ja registreeritud alfaosakeste osa allika poolt emiteeritud alfaosakeste koguarvust. Seda saab arvutada valemi abil:

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot t},$$

kus:

- N on mõõdetud impulsside arv (piigi joonealune pindala),
- A on allika aktiivsus (Bq),
- t on mõõteaeg (sekundites).

Võrdleme efektiivsust Am-241 ja Pu-239 sisaldavat kiirgusallikat ja lihtsalt Am-241 allikat kauguse tasemel 5. Efektiivsuse arvutamisel kasutati järgmisi andmeid:

- Väiksema aktiivse pinnaga Am-241 allikas:
 - Mõõdetud impulsside arv $N = 101308$,
 - Aktiivsus $A = 1000$ Bq,
 - Mõõteaeg $t = 300$ s.
- Suurema aktiivse pinnaga Am-241 allikas:
 - Mõõdetud impulsside arv $N = 10188$,
 - Aktiivsus $A = 41.39$ Bq,
 - Mõõteaeg $t = 1000$ s.

Efektiivsuse arvutused:

- Väiksema allika puhul:

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot t} = \frac{101308}{1000 \cdot 300} = \frac{101308}{300000} \approx 0.3377.$$

Seega detekteerimise efektiivsus väiksema aktiivse pinnaga Am-241 allika puhul on $\varepsilon \approx 0.3377$, ehk 33.77%.

- Suurema allika puhul:

$$\varepsilon = \frac{N}{A \cdot t} = \frac{10188}{41.39 \cdot 1000} = \frac{10188}{41390} \approx 0.2462.$$

Seega detekteerimise efektiivsus suurema aktiivse pinnaga Am-241 allika puhul on $\varepsilon \approx 0.2462$, ehk 24.62%.

Saame järeldada, et geomeetria on siinkohal oluline tegur.