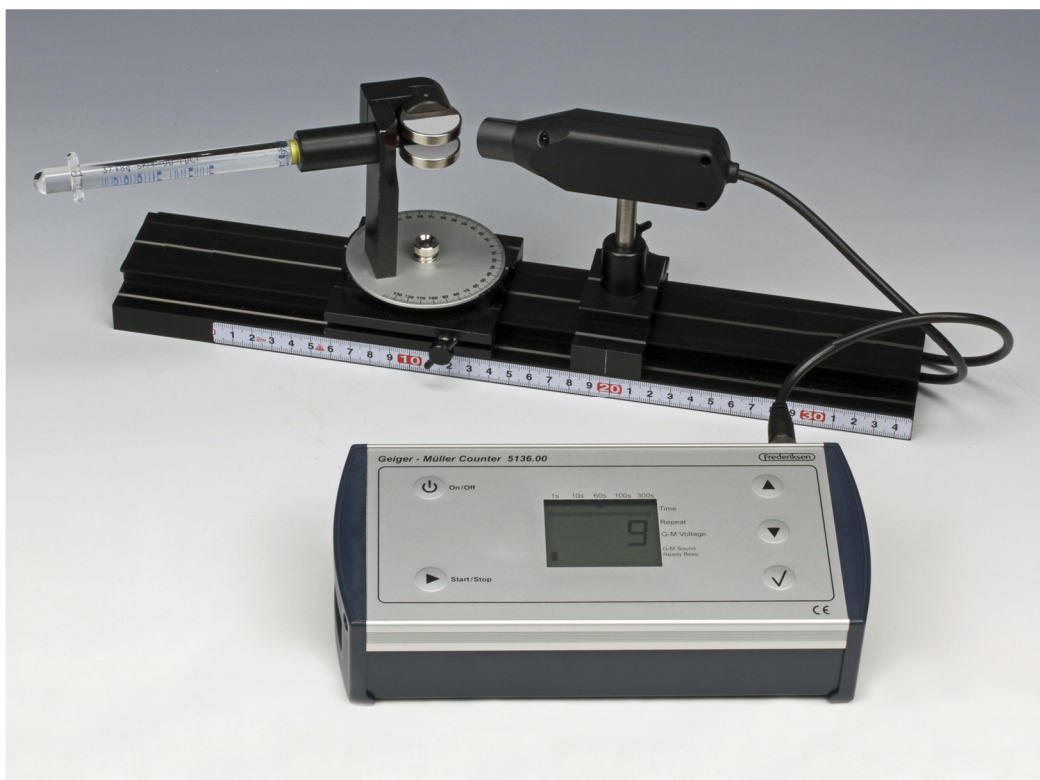


Nummer	138550	Emne	Radioaktivitet, ladede partiklers bevægelse		
Version	2017-09-06 / HS	Type	Elevforsøg	Foreslås til	gymA+
					p. 1/4



Formål

Undersøgelse af betastrålingens energifordeling. Betastrålingens maksimale energi bestemmes. Det eksperimentelle spektrum plottes og sammenlignes med det teoretiske.

Princip

Strålingen kollimeres med en plastblænde og passerer derefter et område med et stærkt magnetfelt fra et par permanente magneter. I magnetfeltet er betapartiklernes bane cirkelformet med en radius, som afhænger af partiklernes hastighed.

Afbøjningsvinklen aflæses på apparatet

Apparatur

(Detaljeret apparaturliste på sidste side.)

514105 Betastrålers afbøjning

Opstillingsbænk

Betakilde (Risø)

Geiger-Müller-rør

Geigertæller

(Alternativt kan dataopsamlingsudstyr anvendes.)

Stangmagnet med kendt polaritet

Evt. teslameter



Der arbejdes med en godkendt radioaktiv kilde; gældende regler skal følges under arbejdet.

Hold passende afstand til kilden
Begræns den tid, du er tæt på kilden

Følg din lærers anvisninger

Teori

Betaspektrets udseende

Enrico Fermi udarbejdede i 1933 teorien for betahenfald, og var bl.a. i stand til at redegøre for spektrets udseende. Hyppigheden af betapartikler, som udsendes med kinetisk energi i intervallet dE omkring værdien E er givet ved

$$N_{\text{teo}}(E) \cdot dE = C \cdot \sqrt{E^2 + 2E \cdot m_0 c^2} \cdot (E_{\text{max}} - E)^2 \cdot (E + m_0 c^2) \cdot F(Z', E) \cdot dE$$

hvor $F(Z', E)$ betegnes *fermifunktionen* og beskriver indvirkningen af kernens elektrostatiske tiltrækning af beta-partiklerne. Z' er datterkernens atomnummer, m_0 er elektronens hvilemasse, c er lyshastigheden i vakuum. (C er blot en konstant.)

For Z mindre end ca. 50 kan $F(Z, E)$ approksimeres med udtrykket

$$F(Z, E) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \nu}{1 - e^{-2 \cdot \pi \cdot \nu}} \left(\alpha^2 \cdot Z^2 \cdot \omega^2 + \frac{1}{4}(\omega^2 - 1) \right)^S$$

hvor $\alpha = 1/137$ kaldes *finstrukturkonstanten* og de øvrige størrelser står for følgende:

$$\nu = \alpha \cdot Z \cdot \frac{E + m_0 c^2}{\sqrt{E^2 + 2 \cdot E \cdot m_0 c^2}}, \quad \omega = \frac{E}{m_0 c^2} + 1, \quad S = \sqrt{1 - \alpha^2 Z^2} - 1$$

Kurie-plot

Ved høje energier er fermifunktionen stort set konstant, og udtrykket for $N(E)$ kan lineariseres: Hvis man plottes størrelsen

$$K(E) = \sqrt{\frac{N(E)}{\sqrt{E^2 + 2E \cdot m_0 c^2} \cdot (E + m_0 c^2)}}$$

som funktion af E , bliver resultatet en ret linje, som skærer 1.-aksen i E_{max} . Dette kaldes et Kurie-plot.

Ved anvendelse af dette apparat (514105) vil usikkerheden på energien være stor ved høje energier.

Som det ses på figuren, kan man blive nødt til at forkaste enkelte af målepunkterne omkring E_{max} , som klart afviger fra en ret linje (de to lilla punkter).

Herefter finder man en meget fin overensstemmelse med det forventede.



Betapartiklernes energi

For at bestemme sammenhængen mellem afbøjningsvinklen θ og den kinetiske energi E antager vi, at magnetfeltet er homogent med en fluxtæthed B mellem magneterne, og at det er 0 udenfor. Magneternes radius kalder vi R . Med m_0 , e og c betegnes elektronens hvilemasse, elementarladningen samt lyshastigheden. Sammenhængen kan nu vises at være

$$E = m_0 c^2 \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{e \cdot B \cdot R}{m_0 \cdot c \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^2 + 1} - 1 \right)$$

Antagelserne om magnetfeltets geometri er ikke helt opfyldt, men man kan opnå rimelig overensstemmelse med det teoretiske spektrum (se ovenfor), hvis man justerer lidt på B eller R . Da disse kun indgår i form af produktet $B \cdot R$, er det lige meget, hvilken af de to parametre man ændrer.

Korrektion for måleintervallernes fordeling

Hvis man måler i lige store energiintervaller, vil man forvente proportionalitet mellem de observerede tælletal og det teoretiske spektrum.

Imidlertid sker målingerne med dette apparat ikke med faste **energiintervaller**, men derimod med faste **vinkelintervaller** (som primært afhænger af kollimatoren geometri samt GM-rørets størrelse og afstand fra magneternes centrum).

Da $E(\theta)$ ikke er en lineær funktion, skal tællertallene divideres med $|dE/d\theta|$, givet ved

$$\left| \frac{dE}{d\theta} \right| = \frac{1}{2} \cdot m_0 c^2 \cdot \frac{b^2}{\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \sqrt{b^2 + \tan^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}}$$

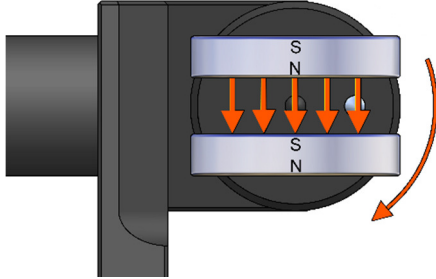
hvor

$$b = \frac{e \cdot B \cdot R}{m_0 \cdot c}$$

Udførelse

Apparaturet stilles op nogenlunde som vist på billedet på side 1. Afstanden mellem magneterne og GM-røret skal være ca. 10 mm.

Kontroller, at magneterne er drejet helt **med uret**, så feltet er rettet lodret nedad (se figur).



Nord – rød markering – nedad. Magnetpolariteten kan evt. kontrolleres med en stangmagnet.

Magnetholderen skal sidde på plads i apparatet under hele forsøget.

Hvis et teslameter forefindes: Mål B -feltet i magnet-systemets centrum. Hvis ikke: Antag værdien 310 mT.

Mål magneternes diameter.

Variér vinklen θ mellem ca. 45° og 140° i spring på 5° og find for hver vinkel tælle-tallet N i et fast tidsinterval på f.eks. 100 sekunder.

Lav også en måling med kilden fjernet helt fra opstillingen for at bestemme baggrundsstrålingen N_0 for samme tidsinterval.

Beregninger mv.

Kurie-plot – bestemmelse af E_{\max}

Lav en tabel som vist. Brug et regneark.

Til brug for Kurie-plottet anvendes kun data for de mindste vinkler (dvs. de højeste energier), ca. op til den maksimale værdi af N .

Målt		Beregnet			
θ	N	E	$ dE/d\theta $	N'	$K(E)$
$^\circ$		keV	-		-

Den kinetiske energi for betapartiklerne beregnes ud fra vinklen ved hjælp af formelen i teori-afsnittet.

Faktoren $|dE/d\theta|$ beregnes for hver vinkel.

Tælle-tallene korrigeres først for baggrundsstråling og resultatet korrigeres derefter til "pr. energi" ved division med den nævnte faktor. Kald resultater N' .

Til brug for Kurie-plottet beregnes størrelsen $K(E)$. De tælle-tal, der skal indgå i $K(E)$, er N' .

(Hvis du i alle målinger sørger for at bruge **samme enheder**, er der ingen grund til at angive enheder for de sidste tre kolonner.)

Bestem E_{\max} :

Lav et Kurie-plot baseret på dine måleresultater for punkterne med høj energi. Drop de allerhøjeste energier, som har størst usikkerhed.

Bestem ud fra Kurie-plottet den maksimale energi for betapartiklerne fra denne kilde.

Spektret

Tilføj kolonner til tabellen fra før. Værdien C i øverste linje er en arbitrær proportionalitetskonstant, som senere anvendes til at skalere det teoretiske spektrum $N_{\text{teo}}(E)$. Anvend evt. tabelværdien for E_{\max} i N_{teo} .

Usikkerheder: $\Delta E = |dE/d\theta| \cdot \Delta\theta$ (sæt $\Delta\theta = 5^\circ$).

$$\Delta N' = \frac{\sqrt{N}}{|dE/d\theta|}$$

Alle øvrige betegnelser er hentet fra teori-afsnittet. Det er acceptabelt at droppe enhederne på ω , ν og F .

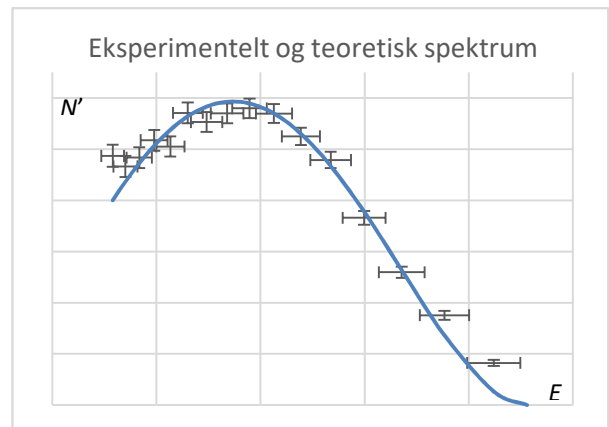
$S(Z)=$		$E_{\max}=$		$C =$	7,6E-12
ΔE	$\Delta N'$	ω	ν	$F(Z',E)$	$N_{\text{teo}}(N)$
keV		-	-	-	

Tegn spektret:

Afbild de korrigerede tælle-tal som funktion af den kinetiske energi. Husk enheder på akserne. Sæt usikkerheder ("fejllinjer") på begge koordinater.

Afbild i samme koordinatsystem de teoretiske tælle-tal. Justér manuelt C indtil bedste overensstemmelse.

Drop evt. eksperimentelle data ved helt små energier.



Eksempel på spektre (enheder fjernet)

Diskussion og evaluering

Sammenlign den fundne E_{\max} med tabelværdien.

Diskuter overensstemmelsen mellem det eksperimentelle og det teoretiske spektrum.

Forsøg at relatere eventuelle afvigelser til apparaturet og angiv muligheder for forbedringer. Antag vide (men ikke ubegrænsede) økonomiske rammer.

Noter til læreren

Benyttede begreber

Henfald
Registrering af ioniserende stråling
Baggrundsstråling
Atomnummer
Energi
Ladete partikler i magnetfelt

Matematiske forudsætninger

Differentialregning
Indsættelse i komplicerede udtryk
Avanceret brug af grafer i regneark

Om apparaturet

Betakilden fra Risø er en Sr/Y-90 kilde. Strålingen fra Sr-henfaldet har en temmelig lav maksimalenergi, og kan ikke påvises med dette apparatur. Det er henfaldet af Y-90, som undersøges.

Detaljeret apparaturliste

Specifikt for eksperimentet

514105 Betastrålers afbøjning
514102 Skinne til opstillingsbænk, 40 cm
(Indeholdt i 514100 Opstillingsbænk)
294610 Rytter med et Ø10mm hul
(Indeholdt i 514100 Opstillingsbænk)
330850 Stangmagnet, indstøbt, par
510020 Betakilde (Indeholdt i 510000 Risø-
kilder, komplet sæt)
406050 Teslameter (kan eventuelt undværes, hvis
fuld nøjagtighed ikke kræves)

Standard laboratorieudstyr

513610 Geigertæller (eller tilsvarende)
512515 GM-rør med BNC-stik

Reklamationsret

*Der er to års reklamationsret, regnet fra fakturadato.
Reklamationsretten dækker materiale- og produktionsfejl.*

*Reklamationsretten dækker ikke udstyr, der er blevet mishandlet,
dårligt vedligeholdt eller fejlmonteret, ligesom udstyr, der ikke er
repareret på vort værksted, ikke dækkes af garantien.*

*Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens
regning og risiko og kan kun foretages efter aftale med Frederiksen.
Med mindre andet er aftalt med Frederiksen, skal fragtbetøbet
forudbetales. Udstyret skal emballeres forsvarligt.*

*Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen, dækkes ikke af
garantien. Frederiksen betaler for returnering af udstyret efter
garantireparationer.*

© Frederiksen Scientific A/S

*Denne brugsvejledning må kopieres til intern brug på den adresse
hvortil det tilhørende apparat er købt. Vejledningen kan også hentes
på vores hjemmeside*