

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung

Station 6

 α - Spektroskopie



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Bestimmung des Energieverlusts von Alphateilchen in Luft	2
Worum es geht:	2
V.1. Der Experimentierplatz	2
V.2. Einstellung der Quellenposition	3
V.3. Untersuchung der Energiesignale mit dem Oszilloskop	4
V.4. Inbetriebnahme des Vakuumsystems	6
V.5. Die Verarbeitung der Energiesignale mit dem Computer	7
V.6. Auswertung und Energiekalibrierung mit der CASSY-Software	.10
V.7. Messung des Bragg-Verhaltens von Alphateilchen in Luft	.11
Hintergrundwissen	.13
H.1. Die Alpha-Strahlung von Americium-241	.13
H.2. Die Reichweite von Alphateilchen in Luft	.14
H.3. Die Bragg - Kurve	.16
H.4. Die Tumortherapie mit Schwerionen	.17
H.5. Der Am-241-Strahlerstift	.18
H.6. Nachweis von Alphateilchen mit einem Halbleiterzähler	.19
H.7. Protokollblatt	.20



Bestimmung des Energieverlusts von Alphateilchen in Luft

Worum es geht:

Schnelle geladene, schwere Teilchen (z.B. α -Teilchen oder schwere lonen) werden in Materie abgebremst. Dabei geben sie ihre Energie in sehr vielen Zusammenstößen mit den Atomen ab. Bei Nebelkammmerspuren von α-Teilchen kann man erkennen, dass diese Energieabgabe nicht gleichmäßig erfolgt (Bild). Am Anfang seines Weges ist das α -Teilchen sehr schnell, bildet aber nur sehr wenige lonenpaare in Luft, weshalb die Nebelspur relativ dünn beginnt. Am Ende seines Weges ist das α-Teilchen dann sehr langsam geworden, erzeugt aber in der Luft sehr viel mehr lonen, was man an der dicker gewordenen Nebelspur erkennt. Im unteren Bildteil kann man an der sog. Bragg-Kurve das lonisationsvermögen direkt ablesen. Bei der GSI macht man sich dieses Verhalten z.B. bei der Bestrahlung von Tumoren zu Nutze.

Diese Bragg-Kurve soll im vorliegenden Experiment beim Abbremsen von α -**Teilchen** in Luft gemessen werden.





V.1. Der Experimentierplatz



Bitte machen Sie sich anhand der Abbildung auf der vorigen Seite mit dem Experimentierplatz vertraut.

Im rechten Teil der Abbildung sieht man die Vakuumkammer mit dem Halbleiterdetektor (innen links) und dem blauen Quellenhalter mit der Am-241-Quelle. Mit einem nach rechts und links verschiebbaren, schwarzen Pappzylinder (mit Einstellhilfe, s.u.) wird der lichtempfindliche Halbleiterdetektor bei Messungen vor direkt einfallendem Licht geschützt. Der Abstand der Quelle zum Detektor kann mit einer Schubstange in einem weiten Bereich beliebig eingestellt werden. Durch Festdrehen der Schraube am Klemmring kann jede Einstellung fixiert werden.

Der Halbleiterdetektor ist über ein kurzes, abgeschirmtes **BNC-Kabel** mit einem **Vorverstärker** verbunden. Von dort werden die verstärkten Detektorsignale über ein weiteres BNC-Kabel in die

VKA-Box des Cassy-Messwerterfassungssystems gespeist, das die Daten über eine serielle Schnittstelle an den PC überträgt. Von dieser VKA-Box erhält der Vorverstärker über ein separates Kabel seine Versorgungsspannung.

Am oberen Bildrand erkennt man gerade noch das **Flanschkreuz** mit dem schwarzen **Belüftungsventil** und dem gelben **Pumpventil**. Der in der Kammer herrschende Luftdruck wird an einem mechanischen Druckmesser (**Manometer**) abgelesen.

Das **Oszilloskop** befindet sich auf einem separaten, fahrbaren Wagen.

V.2. Einstellung der Quellenposition

Achtung: Zum Schutz des Halbleiterdetektors sollte ein Mindestabstand zwischen Detektor und Strahlerstift eingehalten und die Position "0 cm" niemals unterschritten werden!

Um exakte Messwerte zu erhalten, muss die Quelle bei allen Messungen in diesem Experiment sehr sorgfältig positioniert werden. Als Hilfe dient eine rote Linie am linken Rand des Pappzylinders. Nur wenn der vordere und hintere Teil dieser umlaufenden Linie übereinanderliegen, kann man an der mm-Skala die **Position der Vorderkante** des blauen Quellenhalters gut ablesen (in der Abbildung "0,5 cm").



Um den tatsächlichen Abstand der ²⁴¹Am- Quelle von der Detektorfläche zu erhalten, muss man 1 cm addieren:

<u>Position</u> + 1 cm = (tatsächlicher) Abstand = d

Im linken Bild beträgt der tatsächliche Quellenabstand also d = 1 cm + 0,5 cm = 1,5 cm

Stellen Sie Quelle auf die Position "0,5 cm" und fixieren Sie diesen Abstand durch leichtes Anziehen der Schraube am Klemmring. Prüfen Sie am Manometer, ob in der Kammer der normale Luftdruck von etwa 1000 hPa (≈1000mbar) herrscht. Wenn dies nicht der Fall ist, müssen Sie das schwarze Belüftungsventil am Flanschkreuz öffnen.



V.3. Untersuchung der Energiesignale mit dem Oszilloskop

Schließen Sie nun den **Analogausgang des Vorverstärkers** (siehe rechtes Bild) an den Eingang "CH1" des Oszilloskops an.

Dazu muss eventuell das BNC-Kabel an der VKA-Box des Cassy-Systems vorsichtig abgezogen werden. (Diese Sorte von Steckverbindungen ist durch einen Bajonettverschluss gegen unbeabsichtigtes Abziehen gesichert und muss zum Lösen nach links gedreht werden).



Schalten Sie das Oszilloskop ein (Taste ganz links unten). Um eine Voreinstellung auswählen zu können, drücken Sie die Taste "SPEICHERN/ABRUFEN" (dunkelgraue Taste oben rechts). Darauf hin sollte das untenstehende **Bildschirmmenü** sichtbar sein:

Drücken Sie nun die Tasten:

- "gesp. Einstell.abrufen" - "Einstell. 1"

Kontrollieren und korrigieren Sie ggf. die folgenden Einstellungen und wählen Sie mit "VERTIKAL SKALIEREN" die Verstärkung CH1 200mV sowie mit "HORIZONTAL SKALIEREN" die Zeitablenkung H 2.00 μs.

Verschieben Sie die beiden schwarzen Pappzylinder so gegeneinander, dass kein Umgebungslicht mehr in das Innere der Vakuumkammer fallen kann. Spätestens jetzt sollten die elektrischen Signale der in den Detektor einschlagenden α-Teilchen wie in der Abbildung erkennbar sein.





Schauen wir uns das elektrische Signal eines einzelnen α -Teilchens genauer an. Das Oszilloskop stellt die Signale in einem **zweidimensionalen Koordinatensystem** dar:

- o auf der "Rechtsachse" die Zeit t,
- auf der "Hochachse" die Signalspannung U.

Wenn nun ein α -Teilchen in den Detektor einschlägt, wächst die Signalspannung bis auf einen Maximalwert U_{α} an, den man auch als **"Signalamplitude"** bezeichnet. Es dauert dann eine gewisse Zeit t_{α}, bis die Signalspannung wieder auf Null abgesunken ist. Der anschließende "Überschwinger" ist elektronisch bedingt und für uns nicht von Bedeutung.



Die Einheiten werden im Oszilloskop eingeblendet und bedeuten folgendes:

Ch1 200mV : 1 Zentimeter auf der U-Achse entspricht der Signalspannung 200mV H 2.00μs : 1 Zentimeter auf der t-Achse entspricht einer Zeit von 2 Mikrosekunden.

- \bigcirc Welche Amplituden U_a und welche Dauer t_a haben die Signale der α -Teilchen?
- Verschieben Sie die schwarzen Pappröhren so, dass Licht auf den Detektor fällt und beobachten Sie die Veränderungen der Signalspannung.

Aus der letzten Messung erkennt man, dass der Detektor lichtempfindlich ist und für jede künftige Messung von α -Teilchen sorgfältig mit den Pappröhren abgedeckt werden muss!

- C Untersuchen Sie nun, wie sich die Signalamplitude verändert, wenn man den Quellenabstand verändert. (Achtung, die Quellenposition darf nicht kleiner als "0cm" eingestellt werden!)
- Stellen Sie nun die Quellenposition so ein, dass gerade keine α-Teilchen mehr im Detektor nachgewiesen werden und bestimmen Sie so die maximale Reichweite der α-Teilchen in Luft bei normalem Luftdruck!



V.4. Inbetriebnahme des Vakuumsystems

Nun wollen wir untersuchen, was passiert, wenn die α -Teilchen nicht durch Luftmoleküle abgebremst werden. Dazu müssen wir die Kammer evakuieren.

Belassen Sie die Quelle in der letzten Position und evakuieren Sie die Vakuumkammer folgendermaßen:

- Vergewissern Sie sich, dass die Belüftungsschraube am Flansch der Vakuumkammer geschlossen ist.
- Schließen Sie das Belüftungsventil "b" (im Uhrzeigersinn (!) drehen) und vergewissern Sie sich, dass auch die Belüftungsschraube am Kammerflansch und das Pumpenventil "a" geschlossen ist. Das im Bild nicht sichtbare Dosierventil unterhalb von "b" ist im Normalfall auf 5 Teilstriche voreingestellt und soll nicht verändert werden).
- Schalten Sie die Vakuumpumpe ein. Die Vakuumpumpe mit einem weiteren Manometer steht auf dem Fußboden. Der Schalter der Pumpe befindet sich an der linken Seite über dem Motor.
- Öffnen Sie erst jetzt das Pumpenventil "a" vorsichtig und beobachten Sie den Luftdruckabfall am Manometer.
- Vakuumpumpe

 a
- Evakuieren Sie die

Kammer etwa 5 Minuten lang. Wegen der mechanischen Bauart ist die Anzeige unterhalb von 10 hPa (≈10 mbar) nur sehr ungenau.

• Beenden Sie das Abpumpen: zuerst gelbes Pumpventil schließen und erst dann die Pumpe ausschalten.

B Messen Sie nun noch einmal die Signalamplitude U_{α}

Die α -Teilchen verlassen den Strahlerstift mit einer kinetischen Energie von 4,5 MeV.

MeV ist die Abkürzung für die Einheit **Mega-Elektronenvolt**, die in der Atom- und Kernphysik gebräuchlich ist. Die Umrechnung in die bekannte Energieeinheit **Joule** zeigt, dass es sich um eine sehr kleine Energieeinheit handelt: **1 MeV = 1,602 \cdot 10⁻¹³ J**.

Da die α -Teilchen im Vakuum durch keine Luftmoleküle mehr abgebremst werden, treten sie unabhängig von der Länge des zurückgelegten Weges mit ihrer kinetischen Energie von 4,5MeV in den Detektor ein, was zu der Signalamplitude U_{α} führt.



V.5. Die Verarbeitung der Energiesignale mit dem Computer

Fassen wir noch einmal zusammen:

Jedes aus der Quelle emittierte α -Teilchen, das auf den Detektor trifft, hat eine ganz bestimmte kinetischen Energie E_{α} .

Diese Energie wird im Detektor und dem angeschlossenen Vorverstärker in einen proportionalen elektrischen Spannungsimpuls U_{α} umgewandelt. Deswegen gilt: .

 $E_{\alpha} \sim U_{\alpha}$



Wenn wir also die α -Energie E_{α} möglichst genau ermitteln wollen, dann müssen wir die Signalspannung U_{α} genau messen, und zwar viel genauer, als das durch Ablesen von U_{α} am Oszilloskop möglich ist. Dazu dient die **VKA-Box des Cassy-Systems**, in die nun das Signal eingespeist und anschließend im PC weiterverarbeitet wird.

- Ziehen Sie das BNC-Kabel vom Oszilloskop ab und schalten Sie dieses aus. Verbinden Sie nun den Analogausgang des Vorverstärkers mit dem Eingang ("Input") der VKA-Box am Cassy-Interface.
- Starten des Programms CassyLab. Das CASSY-System meldet sich mit dem nebenan abgebildeten Fenster. Nach dem Schließen des Mitteilungsfensters (abwarten!) öffnet sich das Fenster "Einstellungen"
 - Hier muss der Reiter "CASSY" angewählt werden.
 - Es erscheint die aktuelle Konfiguration mit der aufgesteckten VKA-Box.
 - Ein Doppelklick auf das Bild der VKA-Box lädt das VKA-Hauptfenster mit den Unterfenstern "Messparameter" und "Einstellungen".



- Folgende Messparameter müssen eingestellt werden (s.u.):
 - \Rightarrow Anzahl der Kanäle = 512
 - \Rightarrow Messdauer = 100 s
 - \Rightarrow "negative Impulse"
 - \Rightarrow Verstärkung Box A1 = -3 (Die Einstellung "Pulshöhe" ist egal.)



CASSY Lab	_ 2 ×
	100,0 s
Übersicht Standard	
0 0 Messparameter	
1 0 Vielkanal-Messung Spektrum Box A1 mzahl Kanäle Verstärkung Box 41	
2 0 Einkanal-Messung Neues Spektrum 256 512 -3	
3 0 OKoinzidenz-Messung Hochspannung 1024 x1 x20	
4 0 akustisches Sinnal 0 V Messdauer Carl >	
5 0 - Weiderholende Messung 100 s Pulshöhe	
6 0 Restzeit Messzeit -5102 mV	
7 0 Schießen Hille 000 100,0 s 0,0 s	
8 0	
9 0	
10 0 Einstetungen	
11 0 CASSY Parameter/Formal/FFT Darstellung Kommertar Allnemain	
13 0	
14. Orasteliung auswanian. Standard V Ineue Daisteliung Obstellung	
15 0 3 xAchse: yAchsen:	
25 0 Balken Balken	
28 0 Schließen Messparameter anzeigen Beispiel laden Hilfe	
29 0	
30 0	
31 0 0	
33 0 V 100 200 300 400	500 n
© by Leybold Didactic (GmbH, 1999-2004
🛃 Start 🔰 🔕 🙆 📓 Dokumenti - Microsof 🍢 CASSY Lab DE	18:30

- In dem Fenster "Einstellungen" sollte ein Haken im Kästchen "Balken" gemacht werden. Es empfiehlt sich, die beiden Fenster ("Messparameter" und "Einstellungen") in die obere rechte Fensterecke zu schieben, da man sie wieder benötigen wird. Sollten sie verloren gehen, erhält man das Fenster "Einstellungen" aus dem Hauptmenü durch Anklicken des Werkzeug-Symbols. Aus diesem Fenster bekommt man durch "Messparameter anzeigen" das Fenster "Messparameter".
- Vergewissern Sie sich noch einmal, dass die Messkammer vollständig abgedunkelt ist und starten Sie dann im Messbildschirm mit <F9> oder durch Anklicken des Stoppuhr-Symbols eine Messung. Nach Ablauf der eingestellten Messdauer wird die Messwertaufzeichnung selbsttätig stoppen. Die Messung kann auch durch Anklicken des Stoppuhrsymbols vorzeitig abgebrochen werden.
- Ger Beobachten Sie, während die Messung läuft, die Darstellung am PC-Bildschirm. Immer, wenn ein α-Teilchen in den Detektor einschlägt, wächst einer der schwarzen Balken um den Wert 1 weiter in die Höhe und es entsteht das sog. Energiespektrum der α-Teilchen

Wichtige Bemerkung zur Bedienung des Analyseprogramms:

Sie werden in der Folge eine ganze Reihe solcher Spektren aufnehmen. Immer, wenn Sie eine neue Messung durchführen möchten, können Sie im Fenster "Messparameter" mit dem Button **Neues Spektrum** ein "frisches" Koordinatensystem erzeugen, in dem die bereits aufgenommenen Spektren andersfarbig zu sehen sind. In dem Fenster "Einstellungen" kann man diese alten Spektren gezielt ein- und ausschalten

Um die genaue Wirkungsweise der VKA-Box zu verstehen, betrachten wir die Abbildung Diagramm auf der nächsten Seite.





Jedes α -Teilchen erzeugt, wie wir gesehen haben, am Ausgang des Vorverstärkers eine bestimmte (analoge) Signalspannung U $_{\alpha}$ (rechts im Bild). Diese wird nun in der VKA-Box digitalisiert, d.h. in eine ganze Zahl zwischen 0 und 511 umgewandelt, die wir üblicherweise als "**Kanalnummer**" n (oder kurz: "Kanal") bezeichnen, in dem Beispiel oben ist n=289.

Das ungewöhnliche Wort "Kanal", das auch im Namen der VKA-Box auftaucht, weist darauf hin, dass die analogen Eingangswerte bei der Digitalisierung intervallweise in Kanälen zusammengefasst werden. Dabei ist es üblich, dass die Anzahl der Kanäle eine Potenz von 2 ist. Bei unserer VKA-Box können wir zwischen 256, 512 oder 1024 Kanälen wählen. Da die Zählung der Kanäle mit der Kanalnummer "0" beginnt, bekommt der höchste Kanal in unserem Fall die Kanalnummer "511".

Während der Messzeit zählt nun der PC die in jedem Kanal einlaufenden Signale und stellt deren Häufigkeitsverteilung in Form eines Histogramm (Balkendiagramm) dar:

auf der x-Achse die kinetische Energie (in der Energieeinheit **Kanalnummer "n"**) **auf der y-Achse die Anzahl "N"** der im jeweiligen Kanal gezählten α-Teilchen.

Die Werte werden im linken Teil des Fensters auch noch einmal als Tabelle angezeigt. In der ersten mit "n₁" überschriebenen Spalte werden die Kanalnummern in aufsteigender Reihenfolge von 0 bis 511, daneben (Spaltenüberschrift "N₁") werden die gemessenen Häufigkeiten dargestellt.

Diese Häufigkeitsverteilung nennt man das **Energiespektrum** der im Detektor eingeschlagenen α -Teilchen. Die Häufung der Ereignisse (sog. "Peak", im Beispiel ungefähr bei Kanal 289) zeigt, dass unser Strahlerstift im Wesentlichen nur α -Teilchen einer einzigen Energie aussendet.

Die bei sehr kleinen Kanalnummern (n<10) auftretenden Ereignisse stammen von nicht vollständig nachgewiesenen α -Teilchen und werden im Folgenden nicht zur Auswertung herangezogen.



V.6. Auswertung und Energiekalibrierung mit der CASSY-Software

Für den weiteren Verlauf des Experiments möchte man nun möglichst genau wissen, mit welcher durchschnittlichen Energie die α -Teilchen im Detektor eintreffen. Dazu bietet das Cassy-System mehrere Auswertungshilfen an. Es empfiehlt sich folgendes Vorgehen zur Bestimmung der Kanalnummer des sogenannten **Peakschwerpunktes n**_{PS} :



- Stellen Sie sich den Peak geglättet vor (rote Kurve) und schätzen Sie die Höhe des Maximalwertes dieser geglätteten Kurve ab (hier ~30).
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste \rightarrow Weitere Auswertungen: \rightarrow Peakschwerpunkt berechnen.
- Mit gedrückter linker Maustaste den gewünschten Bereich im Diagramm markieren. Es wird dringend empfohlen, diesen Bereich wie in der obigen Abbildung sehr sorgfältig zu wählen: Er soll auf der geglätteten Kurve zwischen jeweils 10% der im Maximum gezählten Impulse (in unserem Beispiel 10% von 30 = 3) liegen.
- Der Peakschwerpunkt wird daraufhin vom Programm berechnet und als Linie im Diagramm dargestellt
- Die berechnete Lage des Peakschwerpunkts auf der x-Achse wird links unten im Diagramm ausgegeben (hier "n=288,8"). Mathematisch ausgedrückt bezeichnet "n" den Mittelwert und " σ " die Standardabweichung der dargestellten Verteilung im gewählten Bereich.



Cer Bestimmen Sie für Ihre Messung der kinetischen Energie der α-Teilchen den Peakschwerpunkt n_{Ps}(Vakuum).

Wie wir uns klargemacht haben, entspricht dieser soeben im Vakuum gemessene Peakschwerpunkt n_{PS}(Vakuum) der kinetische Energie E_{α} =4,5 MeV, mit der die α -Teilchen aus dem Strahlerstift austreten. Da zwischen einer beliebigen Kanalnummer n und der zugehörigen Energie E_{α} ein einfacher linearer Zusammenhang besteht, gilt damit:

$$\frac{E_{\alpha}}{n_{PS}} = \frac{4,5 \text{ MeV}}{n_{PS} (\text{Vakuum})} = c$$

Berechnen Sie für Ihre Messung die sog. Kalibrierungskonstante c:

$$c = \frac{4,5 \text{ MeV}}{n_{PS}(Vakuum)}$$

Mit Hilfe der Kalibrierungskonstante können wir in allen künftigen Messungen aus dem gemessenen Peakschwerpunkt n_{PS} die entsprechende α -Energie E_{α} (in der Einheit MeV) berechnen:

$$E_{\alpha} = c \cdot n_{PS}$$

V.7. Messung des Bragg-Verhaltens von Alphateilchen in Luft

Nun beginnt unsere eigentliche Messung. Wir wollen untersuchen, wie α -Teilchen, wenn sie abgebremst werden, ihre kinetische Energie an die Umgebung abgeben. Sie verhalten sich dabei prinzipiell genau so wie z.B. Kohlenstoffionen, mit denen an der GSI ein Verfahren zur Tumorterapie entwickelt wurde. Anders als bei der Tumorterapie werden wir zum Abbremsen der α -Teilchen aber kein Zellgewebe sondern Luft bei einem reduzierten Luftdruck von 250 hPa verwenden.

Die Reduzierung des Luftdrucks hat einen praktischen Grund. Luftdruck und Reichweite der α -Teilchen sind umgekehrt proportional zueinander. Bei nur einem Viertel des normalen Luftdrucks kommen die α -Teilchen viermal so weit wie unter Normalbedingungen, und wir können den Abstand zwischen Quelle und Detektor mit einer höheren relativen Genauigkeit einstellen.

Betrachten wir nun noch einmal schematisch die Spur eines α -Teilchens in Luft (vgl. dazu auch das Nebelkammerbild vom Anfang dieser Anleitung):





Das α -Teilchen startet bei **x** = 0cm mit seiner maximalen Energie von 4,5 MeV. Die Nebelspur (hier rot eingefärbt) ist noch sehr dünn. Nach **x** = 2cm ist das α -Teilchen durch Stöße mit den Luftmolekülen langsamer und die Nebelspur dicker geworden. Die blau eingefärbte Fläche auf der sich anschließenden "Teststrecke" von A nach B ($\Delta x_{2-3} = 1$ cm) ist ein Maß für die Anzahl der durch Stoß erzeugten Ionen und daher auch ein Maß für die kinetische Energie ΔE_{2-3} , die das α -Teilchen durch Stöße mit Luftmolekülen zwischen A und B verliert.

Der Energieverlust ΔE_{2-3} ist also ein Maß für das Ionisationsvermögen des α -Teilchens auf dieser Strecke.

Betrachtet man im Vergleich dazu das Ende der α -Spur zwischen den Punkten C und D, so wird auf der gleichlangen Teststrecke zwischen C und D offenbar eine viel größere Energie ΔE_{6-7} an die Luftmoleküle abgegeben.

- C Stellen Sie mit Hilfe des Belüftungsventils B einen Kammerdruck von möglichst genau 250 hPA (≈250mbar) her!
- Cer Messen Sie nun die Energie der α-Teilchen in Abständen von je genau 1 cm und bestimmen Sie daraus den Energieverlust in MeV pro Zentimeter in Abhängigkeit der Flugstrecke d.
- Protokollieren Sie dazu Ihre Messreihe in der Tabelle auf dem Protokollblatt und vergessen Sie nicht, vor jeder Messung noch einmal den Kammerdruck zu kontrollieren und protokollieren. Die Protokollblätter liegen dem Experiment bei.

Ene	rgiever	lustmessi	ung		Kalibrierungskonstante c =MeV/Kanal						
Quellen- Position	Abstand x/cm	Messzeit Sekunden	Spektrum- Name	Peak- Schwerpunkt/ Kanal	Peak- Schwerpunkt/ MeV	Energieverlust / Kanal	Energieverlust / MeV	Kammerdruck			
0	1	100									
1	2	100									
usw.											
		beliebig		Messung d	er maximalen	0					

- Als letzte Messung ist auf dem Protokollblatt die Messung der maximale Reichweite vorgesehen. Dies geschieht folgendermaßen: Schubstange weit herausziehen "Neues Spektrum" erzeugen Messung starten Schubstange langsam hineindrücken bis wieder Signale im Spektrum auftauchen Messung stoppen Position des Strahlerstiftes ablesen.
- Tragen Sie Ihre Ergebnisse in ein geeignetes Koordinatensystem ("Karopapier", mm-Papier, EXCEL ...) und vergleichen Sie die Ergebnisse Ihrer Messreihe mit der Bragg-Kurve vom Anfang dieser Anleitung.



Hintergrundwissen

H.1. Die Alpha-Strahlung von Americium-241

Bestimmte Nuklide (Atomkernarten) haben die Eigenschaft, sich von selbst, ohne äußere Einwirkung, umzuwandeln. Dabei wird Strahlung ausgesandt. Diese Eigenschaft bezeichnet man als Radioaktivität. Die Kerne radioaktiver Atome heißen Radionuklide. Von den bisher bekannten etwa 2 800 verschiedenen Nukliden, die Isotope der 114 chemischen Elemente sind, sind nur 264 stabil, alle anderen zerfallen spontan. Bei den in der Natur vorkommenden Radionukliden spricht man von natürlicher Radioaktivität, bei den durch künstliche Kernum-wandlung erzeugten Radionukliden von künstlicher Radioaktivität.

Manche Radionuklide senden bei ihrem Zerfall sogenannte "Alphastrahlung" dem aus. dabei aus Kern Die herausgeschleuderten α -Teilchen sind nichts anderes als Heliumkerne, die aus zwei Protonen und zwei Neutronen bestehen. Die Geschwindigkeit der Alphateilchen austretenden liegt zwischen etwa 15 000 km/s und 20 000 km/s.

Im vorliegenden Experiment wird als α-Quelle das künstlich erzeugte Radionuklid Americium-241 verwendet. Dieser Kern enthält 95 Protonen und 146 Neutronen. Seine Kernladungszahl



beträgt demnach 95, seine Massenzahl 241. Da die Kernkräfte die abstoßenden Kräfte der Protonen untereinander nicht vollständig aufheben können, ist dieser Kern nicht stabil. Er hat deshalb das Bestreben, in einen stabileren Zustand überzugehen.

Dies geschieht in mehreren Stufen, von denen in der Abbildung nur eine dargestellt ist. Der Kern schleudert einen Heliumkern heraus, wodurch die Kernladungszahl um 2, die Massenzahl um 4 sinkt. Es entsteht das neue Element Neptunium-237. Dieser Vorgang kann durch eine sog. "Kernreaktionsgleichung" wie folgt beschrieben werden:

$$^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^{237}_{93}\text{Np} + ^{4}_{2}\text{He}$$

In der Gleichung wird links vom Reaktionspfeil der Kernaufbau des Ausgangsatoms, rechts davon das Ergebnis des Zerfalls geschrieben. Dabei müssen auf beiden Seiten die Summe der Kernladungszahlen (95 = 93 + 2) und die Summe der Massenzahlen (241 = 237 + 4) übereinstimmen.

Das beim Zerfall entstandene Neptunium gibt zwei Hüllelektronen an die Umgebung ab und wird damit nach außen wieder elektrisch neutral. Das zunächst 2-fach positiv geladene α -Teilchen nimmt aus der Umgebung zwei Elektronen auf, wodurch zu guter Letzt Heliumatome entstehen. Bei alphastrahlenden Substanzen, die sich in geschlossenen Behältern befinden, kann deshalb nach einiger Zeit Heliumgas nachgewiesen werden.

Wie ein Blick auf die Nuklidkarte (nächste Seite) zeigt, ist das beim Zerfall entstandene Neptunium-237 seinerseits ebenfalls radioaktiv und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 2,1 Millionen Jahren wiederum durch α -Zerfall.



			95	Am	Am 232 1,31 min		Am 234 2,32 min		Am 236 3,7 min	Am 237 73,0 min	Am 238 1,63h	Am 239 11,9h	Am 240 50,8h	Am 241 432,2 a	Am 242 16h	Am 243 7370a
			10		ε α: sf		e a: 6,46		ε α: 6,41	α: 6.0 γ: 0,280 sf	α: 5,94 γ: 0,963 st	α: 5.774 γ: 0.278 st	a: 5.378 7: 0.988 sf	α: 5,488 γ: 0,060 sf	β : 0,6 γ sf	α: 5,275 γ: 0,075 sf
	94	Pu	0	A.S.		Pu 232 34,1 min	Pu 233 20,9 min	Pu 234 8,8h	Pu 235 25,3 min	Pu 236 2,858 a	Pu 237 45,2d	Pu 238 87,74a	Pu 239 2,411-10 ⁴ a	Pu 240 6563 a	Pu 241 14,35 a	Pu 242 3,750 · 10 ³ a
						e a: 6,60	α: 6,31 γ: 0,235	a: 6.202	a: 5,85 7: 0,049 sf	α: 5,768 γ sf	α: 5,334 γ: 0,06 st	α: 5,499 γ sf	α: 5,157 γ sf	$\frac{\alpha: 5.168}{\gamma}$ sf	$\beta : 0.02$ $\gamma = sf$	$\frac{\alpha: 4,901}{\gamma}$ sf
02	Np	Np 227 0,51 s	Np 228 61,4s	Np 229 4,0 min	Np 230 4,6 min	Np 231 48,8 min	Np 232 14,7 min	Np 233 36,2 min	Np 234 4,4d	Np 235 396,1 d	Np 236 1,54-10° a	Np 237 2,144-10°a	Np 238 2,117d	Np 239 2,355 d	Np 240 65 min	Np 241 13,9 min
95		α: 7,68	ε α sf	ε? α: 6.89	ε α: 6,66	ε α: 6,28 γ: 0,371	е ү: 0.327	ε α: 5,54 γ	ε β' γ: 1,559	ε α: 5.025 γ	g.	α: 4,790 γ: 0,029 sf	$\beta^{-}: 1.2$ $\gamma: 0.984$	β [~] : 0.3 γ: 0,106	β ⁻ :0.9 γ:0,566	β ⁻ :1.3 γ: 0,175
02	U 238 0280	U226 0,2s	U227	U228 9,1 min	U 229 58 min	U230 20,8d	U231 4,2d	U 232 68,9 a	U233 1,592 · 10 ⁵ a	U234 0.0055	U235 0,7200	U 236 2,342-10 ⁷ a	U237 6,75d	U238 99.2745	U239 23,5 min	U240 14,1h
92	2.30,0209	a: 7.57	α: 6.86 γ: 0,247	ε α: 6,68 γ	ε α: 6,362	α: 5,888 γ	ε α: 5,456 γ: 0,026	α: 5,320 γ sf	α: 4,824 γ	2,455+10 ⁵ a α: 4,775 γ sf	7,038 · 10 ⁸ a α: 4,398 γ: 0,186 sf	α: 4,494 γ sf	$\begin{array}{c} \beta^-:0.2\\ \gamma: 0.060 \end{array}$	$4,468 \cdot 10^{9}a$ α : 4,198 γ sf	β ⁻ : 1.2 γ: 0,075	β ⁻ : 0.4 γ: 0.044
223 ms	Pa 224 0.95 s	Pa 225	Pa 226	Pa 227 38,3 min	Pa 228 22h	Pa 229 1,50d	Pa 230 17,4d	Pa 231 3,276 · 10 ⁴ a	Pa 232 1,31 d	Pa 233 27,0d	Pa 234 1,17 min	Pa 235 24,2 min	Pa 236 9,1 min	Pa 237 8,7 min	Pa 238 2,3 min	148
	α: 7,555	α: 7,25	e 6,86	ε α: 6.466 γ: 0.065	ε α: 6,078 γ: 0,911	ε α: 5,580 γ	a: 5,345 B : 0,5 Y: 0,952	α: 5,014 γ: 0,027	$\beta^-: 0.3 \\ \gamma: 0.969$	β ⁺ : 0.3 γ: 0.312	β : 2.3 γ	$\beta^-: 1.4$ $\gamma:= 0.128$	β ⁻ : 2,0 γ: 0,642	$\beta^{-1}: 1,4$ $\gamma: 0,854$	β ⁻ : 1.7 γ: 1.015	
222 ms	Th 223 0.66 s	Th 224	Th 225 8.72 min	Th 226 31 min	Th 227 18,72d	Th 228 1,913 a	Th 229 7880 a	Th230 7,54.10 ⁴ a	Th 231 25,5 h	Th 232	Th 233 22,3 min	Th 234 24,10d	Th 235 7,1 min	Th 236 37,5 min	147	
4	α: 7,29 γ: 0,140	α: 7,17 γ: 0,177	ε α: 6,482 γ: 0,321	a: 6,336 y: 0,111	α: 6,038 γ: 0,236	α: 5,423 γ: 0,084	α: 4,845 γ: 0.194	α: 4,687 γ	β ⁻ : 0,3 γ: 0,026	$1,405 \cdot 10^{10}a$ α : 4,013 γ sf	β ⁻ : 1.2 γ: 0,087	β ⁻ : 0,2 γ: 0,063	β ⁻ : 1,4 γ: 0,417	β ⁻ : 1,0 γ: 0,111	1	
221	Ac 222	Ac 223	Ac 224	Ac 225	Ac 226	Ac 227	Ac 228	Ac 229	Ac 230	Ac 231	Ac 232	144	145	146	1.0	

Aufgabe 1:

- a) Wie ist die Nuklidkarte aufgebaut? Welche Größen werden nach rechts, welche nach oben aufgetragen.
- b) Verdeutlichen Sie anhand der Nuklidkarte die Begriffe "Isotope", "Isotone" und "Isobare".
- c) Wie verändert sich die Lage eines Nuklids in der Nuklidkarte bei einem α -, β ⁻-, β ⁺- bzw. γ -Zerfall?
- d) Stellen Sie mit Hilfe der Nuklidkarte die Zerfallsreihe für Americium-241 auf.

Beachten Sie, dass der Ausschnitt aus der Nuklidkarte nur den Anfang dieser Zerfallsreihe enthält.

H.2. Die Reichweite von Alphateilchen in Luft

Nach dem Verlassen des Kerns kann das a-Teilchen mit den Atomen der Umgebung in Wechselwirkung treten. Dabei können bei starker Wechselwirkung Kernreaktionen oder Streuung und bei schwacher Wechselwirkung lonisierung und Anregung auftreten.

Starke Wechselwirkungen von α -Teilchen mit ihrer Umgebung sind besonders in leichten Gasen selten. In dem vorliegenden Versuch dient Luft als "Absorbermaterial". Daher sind hier die Bahnen der α -Teilchen nahezu geradlinig, wie man dies auch in der Nebelkammer beobachten kann



(Abbildung). Längs dieser Bahnen treten vorwiegend Ionisierungen und Anregungen von Luftmolekülen auf.



Bei jeder Anregung oder Ionisierung gibt das α -Teilchen Energie ab. Der Energieverlust pro Längeneinheit heißt "Bremsvermögen" und hängt neben der Elektronendichte im Absorber auch von der Geschwindigkeit v der α -Teilchen ab. Bei langsamen α -Teilchen ist die Wahrscheinlichkeit einer Wechselwirkung wegen der dazu erforderlichen Zeit größer als bei schnellen. Daher nimmt das Bremsvermögen mit der Entfernung vom Präparat zu, bis das α -Teilchen seine gesamte Energie verloren hat.

Die Entfernung R, bei der dies der Fall ist, heißt "Reichweite" der α -Strahlung. In Luft beträgt sie einige Zentimeter. Ein aus dem Grundzustand emittierender Mutterkern erteilt allen α -Teilchen die gleiche Geschwindigkeit v, so dass sie alle die gleiche Reichweite R haben.

Zwischen R und v besteht ein empirischer Zusammenhang (Reichweitengesetz von Geiger):

*

$$R = 9,67 \cdot 10^{-24} \ \frac{s^3}{m^2} \cdot v^3$$

Die in dieser Gleichung auftretende Geschwindigkeit v hängt über die Masse m_{α} der α -Teilchen mit deren kinetischer Energie E_{α} = $\frac{1}{2} m_{\alpha} v^2$ zusammen. Setzt man die kinetische Energie in der Einheit "MeV" ein, so erhält das Reichweitengesetz die Form:

**
$$R = 3,21 \cdot 10^{-3} \frac{m}{\sqrt[2]{MeV^3}} \cdot (E_{\alpha})^{3/2}$$

Aufgabe 2:

- a) Leiten Sie die Gleichung ** aus Gleichung * her. Verwenden Sie dazu: m_{α} =6,645·10⁻²⁷kg sowie 1MeV=10⁶eV= 10⁶·1,602·10⁻¹⁹CV=1,602·10⁻¹³J
- b) Berechnen Sie mit Hilfe der beiden Gleichungen die Anfangsgeschwindigkeit und die Reichweite der α-Teilchen von Americium-241, deren Energie in der Nuklidkarte mit 5,488 MeV angegeben ist.
- c) Der Energieverlust, den die α -Teilchen bei Normaldruck p₀ auf einer festen Wegstrecke x₀ erleiden, ist derselbe, den sie bei einem Luftdruck p auf einer Strecke

 $x = x_0 \cdot \frac{p_0}{p}$ erleiden würden. Wie groß ist daher die Reichweite der α -Teilchen der Am-241-Quelle bei 250 hPa?

H.3. Die Bragg - Kurve

Die auf die Längeneinheit bezogene Anzahl von Ionenpaaren, die das α -Teilchen auf seiner Bahn erzeugt, nennt man "Ionisierungsvermögen". Als Ionenpaar bezeichnet man dabei das einfach positiv geladene Atom mit seinem herausgeschlagenen Elektron, die das α -Teilchen auf seinem Weg durch das Medium zurücklässt. Die Energie, die zum Abtrennen des ersten Elektrons benötigt wird, ist für einige Gase in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Gasart	H ₂	He	N ₂	O ₂	Luft	Ar
Ionisierungsenergie in eV	36,3	41,1	34,7	31,1	34	26,1

Wie schon erwähnt, geben die α -Teilchen ihre Energie längs der Flugbahn nicht gleichmäßig ab, so dass die Anzahl der erzeugten lonenpaare pro Weglänge auch nicht gleich ist. Die dargestellte Kurve steigt mit wachsender Weglänge zuerst langsam, dann schnell an. um am Ende steil abzufallen. Das bedeutet, dass die größte Anzahl der lonenpaare pro Weglänge erst dann erzeugt wird, wenn das Alphateilchen bereits einen aroßen Teil seiner Bewegungsenergie verloren hat.

Etwa 4 mm vor dem Reichweitenende erreicht das Ionisierungsvermögen ein Maximum, um danach steil auf Null abzufallen. Dieser für α -Strahlung typische Verlauf heißt Bragg-Kurve, das Maximum des Ionisierungsvermögens wird auch Bragg-Peak genannt.



Erklären lässt sich er sich vereinfacht dadurch, dass sich langsame α -Teilchen längere Zeit in der Nähe der Atomhüllen aufhalten und daher verstärkt Ionisationen hervorrufen können. Die Zunahme des Ionisierungsvermögens am Spurende ist auch der Grund für das keulenartige Aussehen der α -Spuren in der Nebelkammer.

Prinzipiell besteht zwischen dem Abbremsverhalten von α -Teilchen und dem von schweren lonen, mit denen in der GSI gearbeitet wird, kein Unterschied. Die Abbildung rechts zeiat den Energieverlust von schnellen Kohlenstoffionen dem aus Beschleuniger der GSI beim Durchdringen von Wasser. Auch hierbei deutet der typische Bragg-Peak auf eine starke Zunahme des Energieverlustes der Kohlenstoffionen und das damit verbundene hohe Ionisierungsvermögen kurz vor dem Reichweitenende hin.





H.4. Die Tumortherapie mit Schwerionen

Von den ersten Vorschlägen, geladene Teilchen in der Tumorbehandlung anzuwenden, bis heute war es ein langer Weg. Seit den Untersuchungen des Ionisationsverlaufs von Alphateilchen durch W.Bragg (1905) war es bekannt, dass die Ionisationsintensität am Ende der Teilchenbahn ein scharfes Maximum (Bragg-Peak) hat. Das gilt auch für andere geladene Projektile, wie Elektronen, Protonen oder schwere Ionen. Wählt man also die Teilchenenergie so hoch, dass das definierte Ende der Reichweite, also der Bragg-Peak, im Tumor zu liegen kommt, dann wird das Zellschädigungs-potenzial dort selektiv wirksam. Das GSI-Therapie-Projekt, bei dem man sich für Kohlenstoff-Ionen als Projektile entschieden hat, wurde in Zusammenarbeit mit dem Heidelberger Klinikum und dem Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg an der GSI in Darmstadt durchgeführt. Im Rahmen der "Experimentaltherapie" wurden seit 1997 Patienten bestrahlt und die Bestrahlungsplanung strahlenbiologisch optimiert.

Die strahlenbiologische Wirksamkeit von Kohlenstoff-Ionen ist für die Krebstherapie optimal. Der Vorteil ist die erhöhte Dosis im Tumorgebiet, die auch noch überproportional wirksam ist (36 mal wirksamer als Protonen) und so die Tumorzellen dauerhaft schädigt. Kohlenstoffstrahlen sind besonders effizient, tiefliegende Tumoren zu zerstören.

Das Rasterscanverfahren ermöglicht, einen unregelmäßigen Tumor dreidimensional auszuleuchten. Von computergesteuerten Magneten geführt, tastet dabei der Ionenstrahl den Tumor zeilenweise ab. Die Eindringtiefe variiert der Rechner, indem er die Energie der geladenen Teilchen verändert. Damit wird eine optimale Zellinaktivierung im Tumor maximaler bei Schonung des gesunden Gewebes erreicht.



Aufgrund der guten klinischen Ergebnisse wurden mittlerweile klinische Schwerionenzentren in Heidelberg und Marburg errichtet und in Betrieb genommen.

Aufgabe 3:

Informieren Sie sich im Internet über den aktuellen Stand der Tumortherapie mit schweren Ionen (z.B. unter <u>www.gsi.de/portrait</u>)



А

H.5. Der Am-241-Strahlerstift

Das Präparat ist fest in eine Edelmetallfolie eingewalzt und mit einer Gold-Palladium-Legierung von B = 2 µm Dicke (~4 mg/cm²) abgedeckt. Dadurch ist die Energie der austretenden α -Teilchen auf ca. 4,5 MeV reduziert. Neben α -Teilchen treten auch noch Photonen (γ -Strahlen) aus (sowie durch sog. "innere Konversion" entstandene β -Teilchen). Die Abbildung zeigt ein Kernniveauschema dieses Isotops, in dem die entsprechenden Strahlungsübergänge eingezeichnet sind.

Das Am-241-Präparat ist in die Vertiefung eines Strahlerhalt aus Aluminium eingebettet, der 85 mm lang ist und einen Durchmesser von 12 mm hat. Die auf die Vorderkante bezogene Lage der Aktivität beträgt A = 4 mm.



Sicherheitshinweis

Der im Versuch verwandte Strahlerstift ist nach der Strahlenschutzverordnung für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da er ionisierende Strahlung erzeugt, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Zur Gewährleistung einer möglichst geringen Exposition verbleibt das Präparat während der Durchführung des gesamten Experiments in der Vakuumkammer.
- Der Deckel der Kammer darf nicht geöffnet werden.
- Das Präparat ist vor dem Zugriff Unbefugter zu schützen.



H.6. Nachweis von Alphateilchen mit einem Halbleiterzähler

Mit einem Halbleiterdetektor kann die Energie von α -Strahlen bestimmt werden. Er ist im wesentlichen eine in Sperrrichtung betriebene p-n-Halbleiterdiode, meist eine großflächige Siliziumdiode (Bild unten links).

In der Grenzschicht zwischen der p- und der n-Zone entsteht durch die angelegte Spannung eine Verarmung von Ladungsträgern. Fällt nun ein energiereiches α -Teilchen in diese Schicht, so überträgt es seine Energie hauptsächlich durch unelastische Stöße mit den Elektronen des Halbleiters. Bei einem einzelnen Stoß ist der Energieverlust des α -Teilchens nur sehr gering und zahlreiche Stöße sind erforderlich, um es merklich abzubremsen. Wenn seine Energie vollständig "aufgebraucht" ist, hat es eine bestimmte energieabhängige Strecke R (Reichweite) zurückgelegt. In einer Siliziumschicht von 100 µm Dicke werden z.B. α -Teilchen bis zu einer Energie von etwa 15 MeV vollständig abgebremst. Die Verarmungszone des Halbleiters muss daher dicker als diese Reichweite sein.

Der rechte Teil der Abbildung zeigt schematisch die technische Ausführung eines Oberflächensperrschichtzählers für die α -Spektrometrie. Er besteht aus einer ca. 1 bis 2 mm dicken Scheibe aus n-Silizium, deren Oberfläche auf der Eintrittsseite der α -Strahlung p-dotiert und mit einer 200 nm dicken Goldschicht als Kontaktschicht bedampft ist, welche die α -Strahlung nur unwesentlich schwächt. Die andere Seite ist mit Aluminium kontaktiert. Durch Anlegen einer Spannung (positiv am Aluminiumkontakt) an die beiden Kontaktierungen wird die ladungsträgerarme Sperrschicht aufgebaut, deren Dicke von der angelegten Spannung (50–100 V) abhängt. Die durch die α -Strahlung erzeugten Elektron-Loch-Paare werden im elektrischen Feld getrennt und die Ladungen an den Kontaktierungen gesammelt. Da zur Erzeugung eines Elektronen-Loch-Paare proportional zur absorbierten Energie E_{α} der α -Teilchen. Ein ladungsempfindlicher Vorverstärker erzeugt daraus einen Spannungsimpuls U_{α}, dessen Höhe der Energie E_{α} der Alphastrahlung proportional ist.

In der Abbildung ist der im Experiment verwendete Siliziumdetektor zu sehen. Zum Schutz vor Lichteinfall ist vor der Goldfolie noch eine Schlitzblende aufgesteckt. Der Detektor wird über einen rückwärtigen BNC-Stecker an die Signaldurchführung der Vakuumkammer angeschlossen.





Die Wirkungsweise ist eines solchen Halbleiterdetektors ist ähnlich wie bei der gasgefüllten lonisationskammer in Station 3. Gegenüber der lonisationskammer hat der Halbleiterdetektor jedoch die folgenden Vorteile:

- Da die Dichte des Festkörpermaterials um viele Größenordnungen höher ist als bei einem Gasdetektor, können Teilchen hoher Energie bereits in viel kleineren Volumina vollständig abgebremst werden.
- Zur Erzeugung eines Elektron-Loch-Paares ist nur eine Energie notwendig, die der Bandlücke des Halbleiters entspricht und typisch bei etwa 1 eV liegt. Dies entspricht etwa nur einem Zehntel der Ionisationsenergie von Gasatomen. Im Halbleiterzähler werden von einem Alphateilchen daher wesentlich mehr Ladungsträger erzeugt als in einer Ionisationskammer. Dies erlaubt eine entsprechend höhere Energieauflösung.



Die Sammelzeit für die Elektronen ist wegen der kürzeren Wege zu den Elektroden im Halbleiterdetektor nur etwa 10 - 100 ns und liegt damit um mehrere Größenordnungen unter denen in Ionisationskammern. Halbleiterzähler sind deshalb viel schneller und erlauben eine höhere Zeitauflösung.

N:\SL_Stand_Februar_10\Anleitung_6.doc

Erstelldatum 27.02.2010 14:26:00

Zuletzt gespeichert von Gruppe

Zuletzt gespeichert 28.02.2010 11:31



H.7. Protokollblatt

Ene	ergiever	lustmess	ung		Kalibrierungskonstante c = MeV/Kanal					
Quellen- Position	Abstand d/cm	Messzeit Sekunden	Spektrum- Name	Peak- Schwerpunkt/ Kanal	Peak- Schwerpunkt / MeV	Energieverlust / Kanal	Energieverlust / MeV	Kammerdruck / hPa		
0	1	100								
1	2	100								
2	3	100								
3	4	200								
4	5	300								
		400								
5	6	400								
6	7	500								
7	8	600								
8	9	800								
		beliebig		Messung o	der maximalen	0				