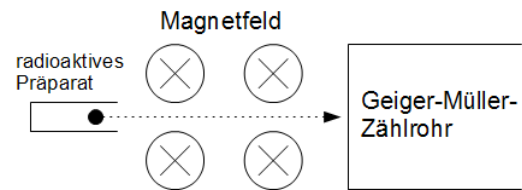


Lösung

- 1 In einer Vakuum-Apparatur trifft die von einem radioaktiven Präparat ausgesandte Strahlung nach Durchfliegen eines Magnetfeldes auf ein Zählrohr und wird dort registriert (siehe Skizze).



- a) Vorversuch: Ohne das Magnetfeld einzuschalten, werden verschiedene Materialien zwischen Präparat und Zählrohr gehalten. Ein Schulheft senkt die Zählrate merkbar ab. Der Deckel einer Konservendose senkt die Zählrate in größerem Maße ab. Erst eine dicke Bleiplatte bewirkt, dass nur noch der Nulleffekt gemessen wird. Geben Sie eine begründete Vermutung an, welche radioaktiven Zerfälle in dem Präparat ablaufen könnten.

Da durch Papier eines Schulheftes die Zählrate sinkt, wird das Präparat α -Strahlen aussenden, da β - und γ -Strahlen nicht merkbar durch einige Lagen Papier beeinflusst werden.

Der Metalldeckel senkt die Zählrate zusätzlich ab. Als weitere Strahlenart wird also wohl β -Strahlung vorhanden sein, da γ -Strahlung durch dünne Metallschichten nur gering beeinflusst wird.

Sind dicke Bleischichten zur Absorption notwendig, handelt es sich mit hoher Sicherheit um γ -Strahlung. Also sendet das Präparat wohl auch γ -Strahlung aus.

- b) Im Hauptversuch befindet sich kein Gegenstand zwischen Präparat und Zählrohr. Die Stärke des Magnetfeldes wird kontinuierlich erhöht. Die Zählrate ändert sich dabei dagegen nach anfänglich 7924 Bq zweimal ziemlich sprunghaft auf erst 5637 Bq und dann auf 270 Bq. Ohne Präparat misst man 20 Bq.

- Warum ändert sich die Zählrate stufenweise?

α - und β -Teilchen werden auf Grund der Ladung durch Magnetfelder beeinflusst und dabei auf gekrümmte Bahnen gezwungen. Bei genügend großer Krümmung treffen die Teilchen dann nicht mehr im Zählrohr auf. β -Teilchen sind sehr leicht und werden deshalb schon durch geringe Magnetfelder weit abgelenkt. α -Teilchen werden wegen ihrer großen Masse dagegen erst bei erheblich stärkeren Flussdichten genügend weit abgelenkt. γ -Teilchen sind ungeladen und werden deshalb gar nicht abgelenkt.

- Geben Sie an, welche Zerfallsart des Präparates welche Aktivität (=Zählrate) besitzt.

Zunächst ändert sich die Zählrate von 7924 Bq auf 5637 Bq, d.h. um 2287 Bq. Da die β -Teilchen als erste nicht mehr registriert werden (s.o.), besitzt also der Betazerfall des Präparates die Aktivität $A_\beta = 2287$ Bq.

Dann fällt die Zählrate von 5637 Bq auf 270 Bq, d.h. um 5367 Bq. Diese Zählrate gehört damit zum Alphazerfall, also $A_\alpha = 5367$ Bq.

Subtrahiert man von der Zählrate 270 Bq noch den Nulleffekt 20 Bq, so erhält man die Zählrate der Gammastrahlung, also $A_\gamma = 250$ Bq.

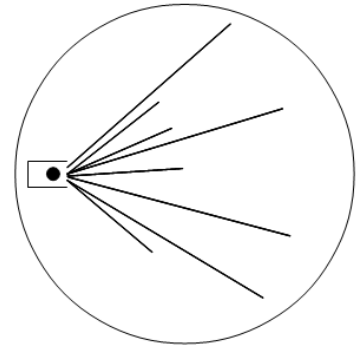
Anmerkung: Beim α - und β -Zerfall musste der Nulleffekt nicht berücksichtigt werden, da er sich durch die Subtraktion der beiden Zählraten heraushebt.

- Kann man aus den Versuchsergebnissen ablesen, welche Zerfallsart die größte Aktivität besitzt? (Antwort mit Begründung)

Der α -Zerfall hat sicher die größere Aktivität als der β -Zerfall, aber über den γ -Zerfall lässt sich nichts aussagen, da Geiger-Müller-Zählrohre nur einen Bruchteil der γ -Strahlen registrieren.

- 2 Die nebenstehende Skizze soll das Ergebnis der Beobachtung einer Nebelkammer darstellen. Eines der Elemente Xy, Yz oder Zx wurde in die Nebelkammer eingesetzt. Geben Sie mit Begründung an, welches der Elemente es gewesen sein muss und welches es garantiert nicht gewesen sein kann.

Xy	Yz	Zx
$\alpha:4,1$ $\alpha:4,3$	$\alpha:2,6$ $\alpha:5,3$	$\alpha:4,7$ $\gamma:0,2$



Die Länge der Spuren in einer Nebelkammer ist in etwa proportional zur Energie der α -Strahlen. Da hier Strahlen mit 2 verschiedenen Längen auftreten und die Längen sich deutlich voneinander unterscheiden, muss es sich um das Element Yz handeln. Bei Xy liegen die Energiewerte zu dicht beieinander. Zx scheidet aus, weil γ -Strahlen in der Nebelkammer nicht direkt abgebildet werden können.

- 3 Ein Stück Uran U-238 der Aktivität 3 kBq wird genau 1 Minute lang in einer Hand der Masse $m=1$ kg gehalten. Die beim Zerfall ausgesendeten α -Teilchen besitzen die Energie 4,2 MeV. Die gesamte Energie wird von der Hand absorbiert. Berechnen Sie die Äquivalentdosis. Qualitätsfaktoren: $\alpha=20$; $n=10$; $\beta=1$; $\gamma=1$

Berechnung der von der Hand aufgenommenen Energie:

- 1 ausgesendetes α -Teilchen besitzt die Energie 4,2 MeV.
- Bei der Aktivität 3 kBq werden 3000 Teilchen pro Sekunde ausgesendet. Dazu gehört die Energie $3000 \cdot 4,2$ MeV.
- In einer Minute werden 60-mal so viel Teilchen wie in 1 Sekunde ausgesendet. Dazu gehört die Energie $60 \cdot 3000 \cdot 4,2$ MeV

Die Energiedosis ist der Quotient aus Energie und Masse:

$$D_E = \frac{E}{m} = \frac{60 \cdot 3000 \cdot 4,2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ kg}} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Gy}$$

Mit dem Qualitätsfaktor 20 für α -Teilchen ergibt sich damit für die Äquivalentdosis:

$$D_q = q \cdot D_E = 20 \cdot 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} = 24 \cdot 10^{-7} \text{ Sv} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} = 2,4 \mu\text{Sv}$$

- 4 Neben dem am häufigsten vorkommenden Wasserstoffisotop ^1_1H tritt in der Natur auch das Isotop ^2_1H auf. Man nennt dieses Isotop Deuterium. Leitet man genügend energiereiche γ -Strahlung auf Deuterium, so kann der Atomkern in seine Bestandteile aufspalten werden. Berechnen Sie die Energie, die man für die Aufspaltung mindestens benötigt.

Massen ausgewählter Teilchen:

Elektron	e	$9,1093897 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Neutron	n	1,0086649-u
Proton	p oder ^1_1H	1,0072765-u
Deuterium	^2_1H	2,0135534-u

α -Teilchen ${}^4_2\text{He}$ 4,001506-u

$$1u = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

Berechnung des Massenunterschieds zwischen Deuterium und seinen Bestandteilen:

Deuterium: $m_{H-2} = 2,0135534 \cdot u$

Proton + Neutron: $m_p + m_n = 1,0072765 \cdot u + 1,0086649 \cdot u = 2,0159414 \cdot u$

Massendefekt: $m_{H-2} - (m_p + m_n) = 2,0135534 \cdot u - 2,0159414 \cdot u = -0,002388 \cdot u$

Umrechnung des Massendefektes in Energie mit Hilfe der Beziehung $E = m \cdot c^2$:

$$0,002388 \cdot u = 0,002388 \cdot 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{kg} = 3,96537 \cdot 10^{-30} \text{kg} \rightarrow$$

$$E = m \cdot c^2 = 3,96537 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{J} = 3,5688 \cdot 10^{-13} \text{J} = 2230521 \text{eV} = 2,23 \text{MeV}$$

Das zur Spaltung des Deuteriums benötigte γ -Teilchen müsste also mindestens eine Energie von 2,23 MeV besitzen.

5 Th-232 hat eine Halbwertszeit von $1,4 \cdot 10^{10}$ Jahren.

1g Th-232 besitzt etwa $2,6 \cdot 10^{21}$ Atome.

Berechnen Sie, wie viele Atome davon in 10 Sekunden zerfallen.

Rechnen Sie mit beiden angegebenen Formeln.

Die Ergebnisse stimmen nicht ganz überein. Geben Sie mit Begründung an, welche Formel man in diesem Fall zur Berechnung heranziehen sollte.

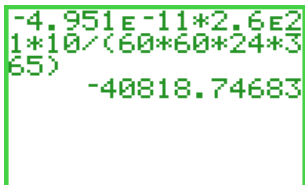
$$\text{Aktivität } A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N \quad N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$$

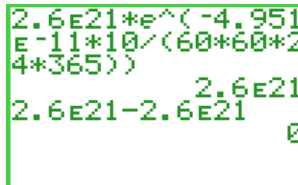
Berechnung der Zerfallskonstante: $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{1,4 \cdot 10^{10} \text{a}} \approx 4,951 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{a}}$

1. Formel: $A = \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N \rightarrow \Delta N = -\lambda \cdot N \cdot \Delta t = -4,951 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{a}} \cdot 2,6 \cdot 10^{21} \cdot \frac{10}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \text{a} \approx 40819$

2. Formel: $N(10 \text{s}) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot 10 \text{s}} = 2,6 \cdot 10^{21} \cdot e^{\frac{-4,951 \cdot 10^{-11}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \cdot 10} = 2,6 \cdot 10^{21} \rightarrow N(10 \text{s}) - N(0 \text{s}) = 0$

Taschenrechnerausgaben zu den beiden Formeln:

1. Formel: 

2. Formel: 

In beiden Formeln kommen die Werte $N(0) = 2,6 \cdot 10^{21}$ und $-\lambda \cdot \Delta t = -4,951 \cdot 10^{-10}$ vor, allerdings in anderer Zusammensetzung:

Formel 1: $N(0) \cdot (-\lambda \cdot \Delta t) = 2,6 \cdot 10^{21} \cdot (-4,951 \cdot 10^{-10})$

Formel 2: $N(0) \cdot e^{(-\lambda \cdot \Delta t)} = 2,6 \cdot 10^{21} \cdot e^{-4,951 \cdot 10^{-10}}$

Bei Formel 1 ergibt sich sofort die Anzahl der zerfallenen Teilchen, bei Formel 2 die noch vorhandenen Teilchen. Der Unterschied zwischen den Teilchenzahlen zu Beginn und zum Ende des 10-s-Abschnittes ist aber so gering, dass der Taschenrechner wegen fehlender Stellenzahl diese Zahl bei der Subtraktion als 0 interpretiert (\rightarrow Subtraktionskatastrophe). Also muss man hier (bei großer Halbwertszeit und kleiner Beobachtungszeit) Formel 1 benutzen.

