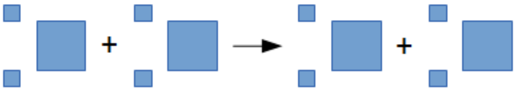
2014-02-24 Klausur 3 Kurs 12Ph1e Physik

Name: ______________________________ Rohpunkte : /

Bewertung : Punkte ( )

1 Die erste Kernumwandlung beobachtete Rutherford 1917: Stickstoffkerne mit der Massenzahl 14 werden von α-Teilchen getroffen und wandeln sich unter Aussendung von einem Proton in einen Sauerstoffkern um.

1.1 Geben Sie die Reaktionsgleichung an, indem Sie alle beteiligten Partner durch die übliche Notation mit Ordnungszahl, Massenzahl und Element-Symbol schreiben:



$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$

1.2 Zeigen Sie rechnerisch, dass die Geschwindigkeit der α-Strahlen mehr als $7500\frac{km}{s}$ betragen muss.

Zunächst muss die Massendifferenz zwischen den beiden Seiten der Rektionsgleichung berechnet werden: $u = 1{,}660538782 \cdot 10^{-27}\,kg \qquad e = 1{,}602176487 \cdot 10^{-19}\,C$

linke Seite: $m_{N-14} + m_{He-4} = 14{,}003074 \cdot u + 4{,}002603 \cdot u = 18{,}005677 \cdot u = 2{,}9899124 \cdot 10^{-26}\,kg$

rechte Seite: $m_{O-17} + m_{H-1} = 16{,}999132 \cdot u + 1{,}007825 \cdot u = 18{,}006957 \cdot u = 2{,}99012495 \cdot 10^{-26}\,kg$

Die Differenz beträgt $\Delta m = 2{,}1255 \cdot 10^{-30}\,kg$ *. In Energie umgerechnet ergibt sich:*

$$E = m \cdot c^2 = 2{,}1255 \cdot 10^{-30}\,kg \cdot \left(2{,}99792458 \cdot 10^{8}\frac{m}{s}\right)^2 = 1{,}91030413 \cdot 10^{-13}\,J \underset{:e}{=} 1192317{,}538\,eV \approx 1{,}19\,MeV$$

Da rechts eine größere Masse als links steht, muss insgesamt eine Massenzunahme erfolgen. Das kann nur über die Bewegungsenergie des α-Teilchens erfolgen, die in Masse umgewandelt wird: $E_\alpha = \frac{1}{2} \cdot m_\alpha \cdot v_\alpha^2 \rightarrow v_\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot E_\alpha}{m_\alpha}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}91030413 \cdot 10^{-13}\,J}{6{,}6464773 \cdot 10^{-27}\,kg}} = 7581768{,}021\frac{m}{s} \approx 7582\frac{km}{s}$

Damit ist rechnerisch gezeigt, dass die Geschwindigkeit größer als $7500\frac{km}{s}$ *sein muss.*

1.3 Begründen Sie, warum dieser Umwandlungsprozess nicht geeignet ist, um in einem Fusionskraftwerk Energie erzeugen zu können.

Der Prozess liefert keine Energie, sondern benötigt Energie, da eine zusätzliche Masse erzeugt werden muss.

1.4 Geben Sie mit Begründung an, ob Rutherford α-Strahler benutzen konnte, die auf der Ihnen vorliegenden Nuklidkarte verzeichnet sind oder ob er einen Teilchenbeschleuniger einsetzen musste.

Die wichtigsten in der Natur vorkommenden radioaktiven α-Strahler liefern alle α-Teilchen mit Energien oberhalb 4 MeV. Da nur etwa 1,2 MeV benötigt werden, konnte Rutherford diese α-Strahler verwenden.

Teilchenbeschleuniger gab es damals übrigens noch gar nicht. Sie wurden erst nach 1920 entwickelt.
Quelle: http://wwwkph.kph.uni-mainz.de/lectures/fprseminar/ss2005/teilchenbeschleuniger.pdf

1.5 Berechnen Sie die kinetische Energie, die die α-Teilchen haben müssten, damit sie bei zentraler Annäherung an den Stickstoffkern diesen erreichen können.
Gehen Sie davon aus, dass ein Atomkern der Massenzahl A den Radius $r=1{,}3\cdot 10^{-15}\cdot\sqrt[3]{A}$ in der Einheit m besitzt.
Die Energie eines geladenen Teilchens der Ladung Q_2, das sich einem geladenen Teilchen der Ladung Q_1 aus dem Unendlichen bis auf den Abstand r nähert, berechnet sich nach der Formel $E=\frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q_1\cdot Q_2}{a}$ (a ist Abstand der Teilchen-Mittelpunkte in m).

Radius N-14: $r_{N-14}=1{,}3\cdot 10^{-15}\cdot\sqrt[3]{14}\,m=3{,}13318494\cdot 10^{-15}\,m$

Radius He-4: $r_\alpha=1{,}3\cdot 10^{-15}\cdot\sqrt[3]{4}\,m=2{,}06362137\cdot 10^{-15}\,m$

Daraus folgt: $a=r_{N-14}+r_\alpha=5{,}19680631\cdot 10^{-15}\,m$

Einsetzen in die gegebene Gleichung mit $Q_N=7\cdot e$ *und* $Q_\alpha=2\cdot e$ *:*

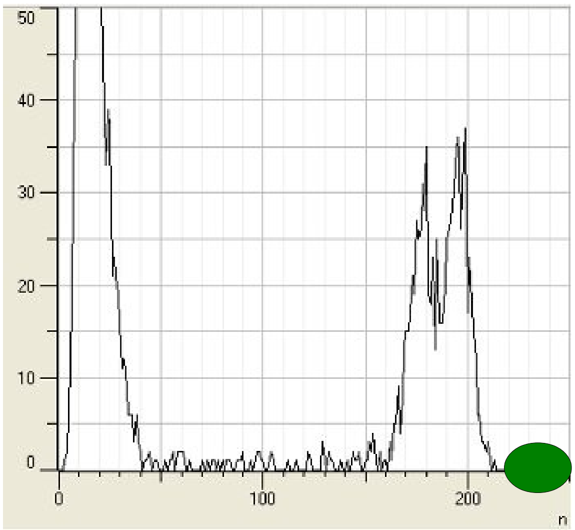
$$E=\frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{7\cdot e\cdot 2\cdot e}{a}=6{,}21518522\cdot 10^{-13}\,J\underset{:e}{=}3879211{,}81\,eV\approx 3{,}9\,MeV$$

Die hier berechnete Energie ist größer als die Energie, die α-Teilchen tatsächlich für den Prozess benötigen. Erläutern Sie, warum die Kernumwandlung dennoch geschehen kann.

Das Durchtunneln des Potentialberges erlaubt eine Überwindung (bzw. besser „Durchdringung“) des Potentialberges auch mit geringerer Energie als der oben berechneten Energie.

2

Das Diagramm zeigt ein α-Spektrum, das mit einem Halbleiterdetektor im Abstand 1 cm vom Präparat aufgenommen wurde.



2.1 Begründen Sie, warum 2 deutlich unterscheidbare Peaks zu sehen sind.

Der α-Strahler sendet α-Teilchen mit zwei unterschiedlichen Energien aus. Das kann z. B. daher kommen, dass ein Zerfallsprodukt der Muttersubstanz auch wieder ein α-Strahler ist.

2.2 Markieren Sie in etwa die Stellen, an denen die Peaks zu sehen wären, wenn man den Versuch im Vakuum durchgeführt hätte.

In Luft geben die α-Teilchen ständig Energie an die Luftmoleküle ab. Im Vakuum wird die gesamte Energie erst im Halbleiterdetektor abgegeben. Dann wird also eine höhere Energie registriert. Die Peaks müssen demnach dann weiter rechts zu finden sein (siehe Markierung).

---

3 Bei einem Thoriumpräparat ${}^{232}_{90}Th$ (in reiner Form) registriert man während einer Messzeit von 10 s durchschnittlich 830 Zerfälle.
Berechnen Sie die Gesamtmasse der Thorium-232-Atome.

Mit Hilfe der Zerfallsgleichung kann die Anzahl der Thorium-Atome bestimmt werden.
Die Halbwertzeit wird aus der Nuklidkarte übernommen. Wegen der großen Halbwertzeit kann mit der Gleichung $\Delta N=-\lambda\cdot N\cdot\Delta t$ *gerechnet werden.*
Multiplikation mit der Massenzahl und der atomaren Masseneinheit ergibt dann die Gesamtmasse.

$$\Delta N=-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}\cdot N\cdot\Delta t \rightarrow N=-\frac{\Delta N\cdot T_{\frac{1}{2}}}{\Delta t\cdot\ln 2}=-\frac{830\cdot 1{,}405\cdot 10^{10}\cdot 365\cdot 24\cdot 3600}{10\cdot\ln 2}=5{,}3056\cdot 10^{19}$$

Gesamtmasse $m=5{,}3056\cdot 10^{19}\cdot 232\cdot u=2{,}044\cdot 10^{-5}kg=2{,}044\cdot 10^{-2}g=20{,}44\cdot 10^{-3}g=20{,}44\,mg$

---

4 In der Physiksammlung gibt es 2 Thallium-204-Präparate, die 1971 und 1992 angeschafft wurden. Beim Kauf der Präparate wurde die Aktivität jeweils mit 925 kBq angegeben.
Bei der Messung am 21.02.2014 mit einem dieser Präparate werden 150 Zerfälle pro Sekunde gezählt.
Dabei ist zu beachten, dass wegen der geringen Ausdehnung des Zählrohres nur etwa 1% der tatsächlich emittierten Strahlung registriert werden kann.
Finden Sie durch Rechnung heraus, mit welchem der beiden Präparate gemessen wurde.

Mit den gegebenen Werten wird mit Hilfe der Aktivitätsgleichung das Alter des Präparates bestimmt. Dieses wird dann mit den Angaben zum Erwerb (43 Jahre und 22 Jahre) verglichen.
Die Halbwertzeit wird aus der Nuklidkarte abgelesen.
Die Anzahl der Zerfälle wird (wegen „1%“) auf 15000 korrigiert.

$$A(t)=A(0)\cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}\cdot t} \rightarrow \frac{A(t)}{A(0)}=e^{-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}\cdot t} \rightarrow \ln\left(\frac{A(t)}{A(0)}\right)=-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}\cdot t \rightarrow t=-\frac{T_{\frac{1}{2}}}{\ln 2}\cdot\frac{A(t)}{A(0)} \rightarrow$$

$$t=-\frac{3{,}78\,a}{\ln 2}\cdot\ln\left(\frac{15000}{925000}\right)=-22{,}5\,a$$

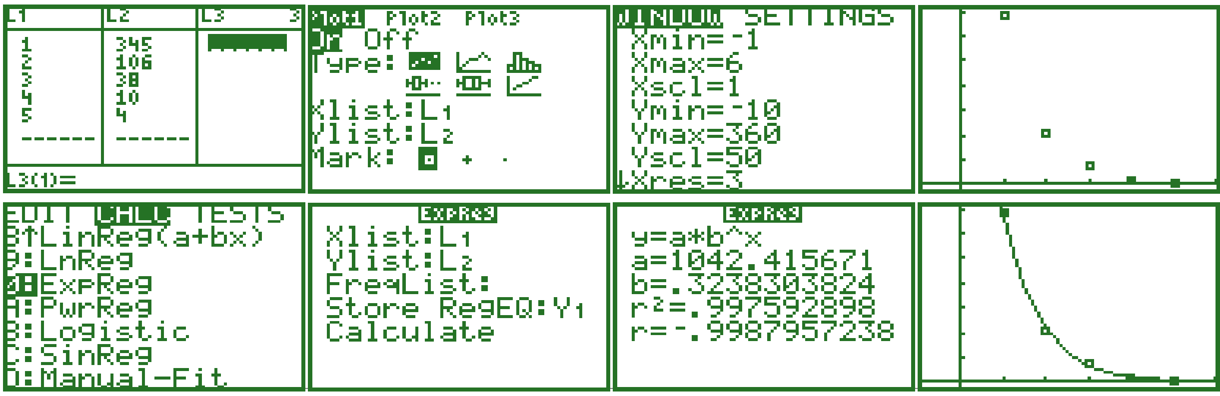
Da $2014-22{,}5=1991{,}5$ *, wurde die Messung mit dem im Jahr 1992 angeschafften Präparat durchgeführt.*

5	Beim Durchgang von β⁻-Strahlen durch unterschiedlich dicke Aluminiumscheiben misst man unterschiedliche Zählraten.

Bestimmen Sie rechnerisch die Halbwertsdicke von Aluminium, die angibt, bei welcher Dickenzunahme sich die Zählrate halbiert.

Dicke in mm	Zählrate
1	345
2	106
3	38
4	10
5	4

Mit dem Taschenrechner werden die Messpunkte dargestellt.
Ist eine Halbwertgröße zu bestimmen, liegt eine exponentielle Abnahme vor. Es wird deshalb eine entsprechende Regression (ExpReg) durchgeführt.



Als Gleichung für die Zählrate N(d) ergibt sich $N(d)=1042\cdot 0{,}32383^{d}$
Vergleicht man mit der Gleichung $N(t)=N(0)\cdot e^{-\lambda\cdot t}$ *, so erkennt man, dass N(0)=1042 ist und dass* $e^{-\lambda}=0{,}32383 \rightarrow -\lambda=\ln(0{,}32383)$ *und mit* $\lambda=\frac{\ln 2}{d_{\frac{1}{2}}}$ *sich folgende Halbwertdicke ergibt:*

$$d_{\frac{1}{2}}=\frac{\ln 2}{\lambda}=\frac{\ln 2}{-\ln(0{,}32383)}\approx 0{,}615$$

Da die Strecken in der Einheit mm gemessen wurden, beträgt die Halbwertdicke etwa 0,615 mm.

Erlaubte Materialien:

Tabellen mit wichtigen Naturkonstanten und mit Atommassen einiger Nuklide (Codata-Datenbank)

Formelsammlung, Nuklidkarte, grafikfähiger Taschenrechner

Formeln

$N(t)=N(0)\cdot e^{-\lambda\cdot t}$ $\qquad \Delta N=N(0)\cdot\left(1-e^{-\lambda\cdot t}\right)$ $\qquad \Delta N=-\lambda\cdot N\cdot\Delta t$

$A=\frac{\Delta N}{\Delta t}$ $\qquad A(t)=A(0)\cdot e^{-\lambda\cdot t}$ $\qquad \lambda=\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}}$ $\qquad E=m\cdot c^{2}$

Viel Erfolg bei der letzten Physik-Arbeit vor dem Abitur!