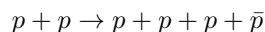


Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

Tid: 2014-08-28 em
Hjälpmedel: Physics Handbook, nuklidkarta, Beta, Chalmersgodkänd räknare
Poäng: Totalt 75 poäng, för betyg 3 krävs 40 poäng, för betyg 4 krävs 60 poäng, för betyg 5 krävs 80 poäng.
Ev. poäng från inlämningar inkluderas.
Frågor: Simon Lindberg, tel. 772 3246, Thomas Nilsson 0702-144 195

1. En radioisotop, ^{11}C , som ska användas för PET (positronemissions-tomografi) produceras i en cyklotron med hjälp av en (p,n) -reaktion på ^{11}B med tvärsnittet 200 mb. För den aktuella undersökningen krävs en initial aktivitet om 40 MBq av ^{11}C . Hantering och preparation av radioisotopen, från det att produktionen stoppas tills undersökningen kan påbörjas tar 45 minuter.
 - a. Under förutsättning att cyklotronen accelererar protoner till 5 MeV med strömmen 10 μA , beräkna den minsta tjocklek (i g/cm^2) som strålmålet måste ha om det består av naturligt borpulver och produktionstiden inte ska överstiga 10 minuter. (10 p)
 - b. Av strålskyddsskäl får inte flödet av gammafotoner i energiintervallet 0.2 - 1.5 MeV överstiga $1000 \text{ s}^{-1}\text{m}^{-2}$ på 2 m avstånd från strålmålet. Vilket avskärmningsmaterial bör användas och vad är den minsta tjocklek som krävs för att alltid tillfredsställa detta villkor även om produktionstiden av misstag skulle överskridas? Inga exciterade tillstånd populeras vare sig i produktionsreaktionen eller sönderfallsprocessen. (5 p)
2. Beskriv nukleosyntesen i samband med Big Bang. Utveckla specifikt varför endast lätta kärnor skapas i denna process. (10 p)
3. Vid FAIR-anläggningen, som är under konstruktion i Tyskland, kommer ett flertal forskningsprojekt använda strålar av antiprotoner. Antiprotoner kan produceras med hjälp av en protonstråle på ett stationärt strålmål bestående av väte genom reaktionen:



- a. Förklara varför inte en antiproton kan skapas utan att samtidigt skapa ytterligare en proton (2 p)
 - b. Rita ett kvarkdiagram för ovanstående reaktion (3 p)
 - c. Vilken är den lägsta kinetiska energi som krävs för protonstrålen för att reaktionen ska kunna inträffa? (5 p)
4. Varför måste färgkvanttalet införas i kvarkmodellen för att förklara existensen av Δ^{++} ? (5 p)

5. Ett underjordiskt kärnvapenprov registrerades med hjälp av seismiska mätningar. 12,5 timmar senare kunde en detektionsanläggning utanför det aktuella landets gränser uppmäta radioaktivitet från två kryptonisotoper, ^{85}Kr och ^{87}Kr , enligt Tabell 1. Antag att de mer neutronrika isotoperna med samma masstal är betydligt mer kortlivade så att kryptonisotopernas aktivitet representerar hela födningen till isobarerna $A=85$ respektive 87 i fissionsprocessen och visa vilket klyvbart material som sannolikt hade använts. (10 p)

Tabell 1: Uppmätt aktivitet

	Aktivitet [kBq]	$T_{1/2}$
^{85}Kr	66,56	4,48 h
^{87}Kr	3,04	76,3 min

6. Symmetrier är centrala koncept inom fysik, och i kursen har C , P och T -operatorerna diskuterats, där dessa står för **charge conjugation**, **parity** och **time reversal**.
- a. I ett klassiskt experiment visade Chien-Shiung Wu hur β -strålningen från en källa bestående av ^{60}Co , där kärnspinnen hade upplinjerats, inte emitterades isotropt. β -partiklarna detekterades med stor sannolikhet riktade parallellt med spinnevektorn hos de radioaktiva kärnorna, och med liten sannolikhet anti-parallellt. Visa hur detta indikerar att pariteten inte bevaras i svag växelverkan. (10 p)
- b. Brott av den kombinerade symmetrin CP har konstaterats i mesoners sönderfall. Beskriv kort denna effekt och hur detta kan ha kosmologisk relevans (5 p)
7. Alfa-sönderfall kan modelleras genom att anta att alfa-partikeln preformeras inuti kärnan och sedan tunnlar ut genom Coulombbarriären. Figur 1 visar den radiella potentialen. Utgående från att differentiella transmissionskoefficienten dT för tunnling genom en infinitesimal del av potentialen (med tjocklek dr) är

$$dT(r) = \exp\left[-\frac{2}{\hbar} dr \sqrt{2m(V_C(r) - E_\alpha)}\right]$$

och att

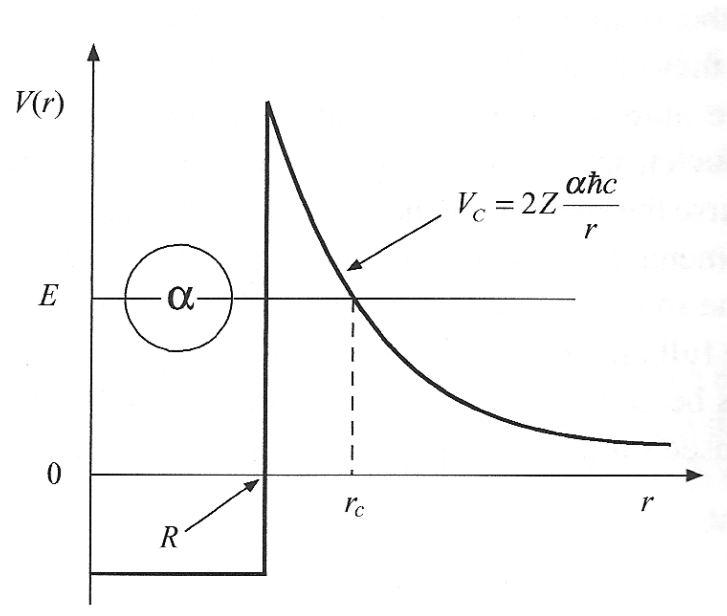
$$r_C = \frac{2Z\alpha\hbar c}{E_\alpha}$$

(där finstrukturkonstanten $\alpha = 1/137,0360$ och $\alpha\hbar c = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$), visa hur man med rimliga approximationer kan komma fram till Geiger-Nuttalls samband (se fig. 2) :

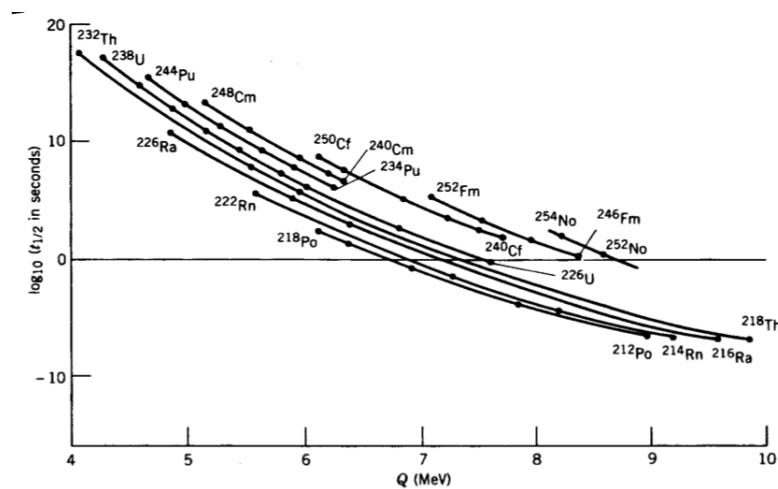
$$\log T_{1/2} = a + b \frac{Z}{\sqrt{E_\alpha}}$$

där $T_{1/2}$ är halveringstid, Z atomnummer, E_α alfa-partikelns energi och a respektive b är konstanter. (10 p)

(Tips: antag att $r_C \gg R$ trots att detta inte framgår av figur, och utnyttja att $\arccos(x) \approx \frac{\pi}{2}$ för små x .)



Figur 1: Skiss av den radiella potentialen för alfa-sönderfall.



Figur 2: Geiger-Nuttalls samband mellan atomnummer, Q-värde (approximativt alfa-partikelns energi) och halveringstid i alfa-sönderfall

Lösningsskisser tentamen FUF050 Subatomär Fysik 140828

Thomas Nilsson

1. a. För att ha en aktivitet om 40 MBq efter 45 minuter krävs en aktivitet vid avslutad produktion av

$$A_0 = Ae^{\frac{\ln 2}{t_{1/2}} t_w} = 40e^{\frac{\ln 2}{20.33} 45} = 184.8 MBq$$

För aktiveringen gäller:

$$N = \frac{R}{\lambda}(1 - e^{-\lambda \cdot t})$$

där R är produktionshastigheten. För aktiviteten gäller att $A = \lambda \cdot N$:

$$A = R(1 - e^{-\lambda \cdot t})$$

vilket ger

$$R = A/(1 - e^{-\lambda \cdot t}) = 184.8 \cdot 10^6 / (1 - e^{-\frac{\ln 2}{20.33} \cdot 10}) = 6.41 \cdot 10^8 s^{-1}$$

för produktionsraten om den önskade aktiviteten ska uppnås inom 10 minuter.

$$R = I \cdot N \cdot \sigma$$

Med $I = 10 \cdot 10^{-6} / 1.60 \cdot 10^{-19} [A/C] = 6.25 \cdot 10^{13} s^{-1}$ och $\sigma = 0.2b$ krävs $N_{11} \text{ } ^{11}B/\text{areaenhet}$:

$$\begin{aligned} N_{11} &= \frac{R}{I \cdot \sigma} = \frac{6.41 \cdot 10^8}{6.25 \cdot 10^{13} \cdot 0.2 \cdot 10^{-24}} \left[\frac{1}{\text{barn}} \cdot \frac{\text{barn}}{\text{cm}^2} \right] \\ &= 5.13 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-2} \end{aligned}$$

Naturligt bor innehåller 80.1 % ^{11}B och har molmassan 10.811:

$$M_{11} = \frac{5.13 \cdot 10^{19} \cdot 10.811}{0.801 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}} \left[\frac{\text{cm}^{-2} \cdot \text{g/mol}}{\text{mol}^{-1}} \right] = 1.15 \text{mg/cm}^2$$

- b. Vid oändligt lång aktivering har vi att $A = R = 6.41 \cdot 10^8 Bq$, och då inga exciterade tillstånd populeras kommer gammastrålningen enbart från positronannihilation, med ett fotonflöde om $1.28 \cdot 10^9$ i 4π vid 511 keV. På 2 m avstånd har vi ett flöde om

$$\Phi = \frac{1.28 \cdot 10^9}{4\pi \cdot 2^2} = 2.5 \cdot 10^7 s^{-1} m^{-2}$$

För att uppfylla strålskyddskraven krävs attenuation med en faktor:

$$\frac{\Phi_{ext}}{\Phi} = e^{-\mu \cdot d} = \frac{10^3}{2.5 \cdot 10^7}$$

vilket ger ett värde på $\mu \cdot d = 10.1$

Avläsning i PH ger $\mu_{Pb} \approx 1.7 \text{cm}^{-1}$ för $E_\gamma \sim 500 \text{keV}$ vilket ger $d \approx 6 \text{cm}$. I första approximationen räcker det alltså med 6cm bly.

2. Se kurslitteratur och föreläsningssanteckningar
3. a. Laddnings- och baryontal måste bevaras
 - b. Kan göras på ett flertal sätt där ett par av uud och $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$ skapas.
 - c. För att skapa ett system W som kan sönderfalla i tre protoner och en antiproton måste det ha minst den invarianta massan $m_W = 4m_p$. Bilda invarianta massan genom

$$\begin{aligned}\vec{W} &= \vec{P}_b + \vec{P}_t \\ -m_W^2 c^2 &= \vec{W}^2 = \vec{P}_b^2 + \vec{P}_t^2 + 2\vec{P}_b \cdot \vec{P}_t = -2m_p^2 c^2 + 2\vec{P}_b \cdot \vec{P}_t\end{aligned}$$

där p_b och p_t är strål- respektive strålmålsprotonen med $\vec{P}_b = [0, 0, p_b, E_p/c]$, $\vec{P}_t = [0, 0, 0, m_p c]$. Sätt in detta samt tröskelvärdet:

$$\begin{aligned}-m_W^2 c^2 &= -16m_p^2 c^2 = -2m_p^2 c^2 - 2m_p E_p \\ 7m_p c^2 &= E_p\end{aligned}$$

Totala energin måste alltså minst motsvara $7m_p c^2$, alltså $T_b > 6m_p c^2 = 5.63 \text{ GeV}$ kinetisk energi.

4. Se kurslitteratur och föreläsningssanteckningar
5. Med utbyten Y_{85} respektive Y_{87} för $A = 85, 87$ har vi för de relativa aktiviteterna vid tiden t_1 :

$$\begin{aligned}\frac{A_{85}}{A_{87}} &= \frac{\lambda_{85} \cdot N_{85}(t_1)}{\lambda_{87} \cdot N_{87}(t_1)} = \frac{\lambda_{85} Y_{85} \cdot e^{-\lambda_{85} \cdot t_1}}{\lambda_{87} Y_{87} \cdot e^{-\lambda_{87} \cdot t_1}} \\ &= \frac{\lambda_{85} Y_{85}}{\lambda_{87} Y_{87}} \cdot e^{(\lambda_{87} - \lambda_{85}) \cdot t_1}\end{aligned}$$

vilket med aktiviteter från Tabell 1, $T_{85} = 4.48h$, $T_{87} = 76.3min$ och $t_1 = 12.5h$ ger:

$$\begin{aligned}\frac{Y_{85}}{Y_{87}} &= \frac{\lambda_{87} A_{85}}{\lambda_{85} A_{87}} \cdot e^{(\lambda_{85} - \lambda_{87}) \cdot t_1} = \frac{T_{85} A_{85}}{T_{87} A_{87}} \cdot e^{(1/T_{85} - 1/T_{87}) \cdot \ln 2 \cdot t_1} \\ &= \frac{4.48}{(76.3/60)} \frac{66.56}{3.04} \cdot 2 \cdot e^{(1/(4.48) - 60/76.3) \cdot 12.5} = 0.586\end{aligned}$$

Från PH ser vi att för ^{235}U har vi $\frac{Y_{85}}{Y_{87}} = 0.516$, för ^{239}Pu har vi $\frac{Y_{85}}{Y_{87}} = 0.582$, de relativa aktiviteterna tyder alltså på det senare klyvbara materialet.

Tabell 1: Uppmätt aktivitet

	Aktivitet [kBq]	$T_{1/2}$
^{85}Kr	66,56	4,48 h
^{87}Kr	3,04	76,3 min

6. Se kurslitteratur och föreläsningssanteckningar
7. Se kurslitteratur och föreläsningssanteckningar