

Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

Tid: 2012-08-30 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: Thomas Nilsson, tel. 772 3258, 0702-144 195

1. Redogör för hur ^{12}C bildas i unga stjärnor. Beskriv hur sedan förekomsten av kol kan påskynda fusion av väte till helium. (10 p)

2. Aktiveringsenergin för fission av ^{236}U och ^{239}U är 6,2 respektive 6,6 MeV

a. Vilken minsta neutronenergi krävs för att fissionera ^{235}U respektive ^{238}U ? (5 p)

b. Vad är den dominerande orsaken till denna skillnad? (Ledtråd: semi-empiriska massformeln) (5 p)

3. Beta-sönderfall

a. Med utgångspunkt i Fermis gyllene regel

$$\lambda = \frac{2\pi}{\hbar} |V_{fi}|^2 \rho(E_f)$$

härled ett uttryck för formen hos energispektrum i tillåtna beta-sönderfall. (10 p)

b. Beskriv hur tritiums sönderfall potentiellt kan användas för att bestämma elektronneutrinons massa (5 p)

4. Figur 1 visar sönderfallsschemat för ^{16}N till tillstånd i ^{16}O med givna excitationenergier, spinn och paritet.

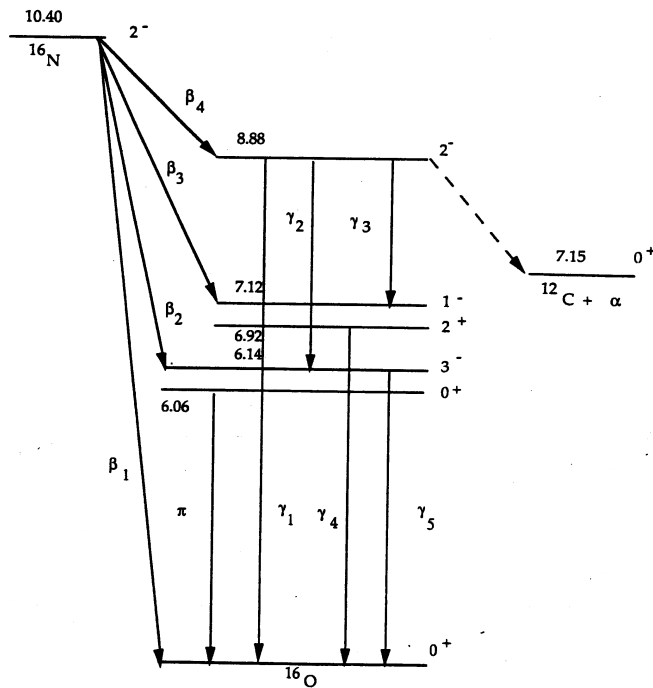
a. Vilka β -övergångar är tillåtna? (2 p)

b. Förklara varför β_2 är den dominerande övergången (2 p)

c. Klassificera γ -övergångarna efter multipolaritet. Då flera multipolariteter är möjliga, ange den starkaste. (2 p)

d. Diskutera speciellt övergången som markerats med π (2 p)

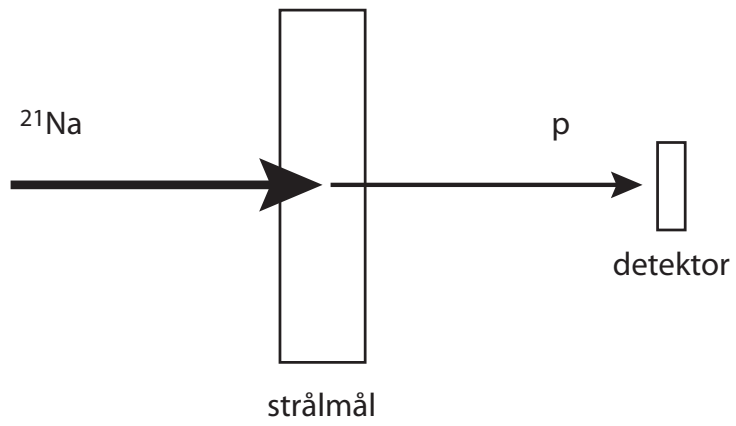
e. Tillståndet vid 8,88 MeV excitationenergi kan, sett till den tillgängliga energin, α -sönderfalla till grundtillståndet i ^{12}C som indikerat med den streckade pilen i figuren. Diskutera varför detta sönderfall inte observeras i realiteten. (2 p)



Figur 1: Sönderfallsschema för ^{16}N

5. 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. Wu och hennes medarbetare visade 1957 att paritet inte bevaras i svag växelverkan genom att studera beta-sönderfall. Beskriv hur detta kunde konstateras. (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)

6. I ett experiment vid REX-ISOLDE-anläggningen i augusti 2012 användes s.k. resonant elastisk protonspridning för att studera exciterade tillstånd i ^{22}Mg . Detta utfördes genom att sända en stråle av ^{21}Na med 3 MeV/u kinetisk energi mot ett strålmål som innehöll protoner. Strålmålet hade en tillräcklig tjocklek för att bromsa in och stoppa natriumjonerna inuti materialet. Den relativa energin mellan jonerna och protonerna i strålmålet ändrades alltså kontinuerligt då jonerna successivt bromsades in, och på så sätt kunde ett stort energiintervall för excitationens energi hos det sammansatta systemet ^{22}Mg populeras. Då den relativa energin motsvarar ett exciterat tillstånd hos ^{22}Mg ökar tvärsnittet för elastisk spridning kraftigt.
 - a. I laboratoriesystemet detekterades protoner med kinetiska energierna 7,5 MeV och 10,1 MeV med stora tvärsnitt i strålens riktning (se fig. 2). Vilka excitationensenergi motsvarar detta hos ^{22}Mg ? En icke-relativistisk behandling är tillräcklig, och vi kan försumma energiförlusten hos protonerna i strålmålet efter reaktionen. (10 p)
 - b. Motivera varför experimentet utfördes i så kallad invers kinematik, dvs. med en stråle av ^{21}Na på ett proton-strålmål, istället för med en protonstråle på ett strålmål innehållande ^{21}Na . Motivera även varför energiförlusten hos protonerna är försumbar jämfört med natriumjonernas energiförlust. (5 p)



Figur 2: Schematisk uppställning för resonant elastisk protonspridning

Lösningsskisser tentamen FUF050 Subatomär Fysik 120830

Thomas Nilsson

24 augusti 2012

1. Se kurslitteratur och slides, exempel på punkter som bör vara med:

- jämvikt mellan $2\ ^4\text{He} \leftrightarrow\ ^8\ \text{Be}$
- trippel-alfa via resonanstillstånd i ^{12}C
- hela CNO-cykeln och att den undviker flaskhalsen $^1\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow\ ^2\ \text{H} + e^+ + \nu$

2. a. För compoundkärnans excitationsenergi efter fusion med en termisk neutron (försumbar kinetisk energi) gäller:

$$E_x = [M(^A X) + m_n - M(^{A+1} X)]c^2 = B(^{A+1} X) - B(^A X)$$

där det senare ledet uttrycks i bindningsenergi. Detta ger $(E_x)_{236} = 6.55\text{MeV}$ resp $(E_x)_{239} = 4.81\text{MeV}$ vilket ger att (som väntat) fission av ^{235}U saknar tröskelenergi. För fission av ^{238}U krävs neutroner med minst $6.6 - 4.8 = 1.8\text{MeV}$ om vi försummar rekylet i fusionsreaktionen ($238 \gg 1$) w

b. Se kurslitteratur och slides, excitationsenergin höjs respektive sänks med partermen δ om compoundkärnan är jämn-jämn respektive udda-jämn. Detta ger $2\delta = 2a_p A^{-3/4} \approx 1.1\text{MeV}$ vilket motsvarar större delen av skillnaden i excitationsenergi.

3. Se kurslitteratur och utdelat material

4. a. $\beta_{2,3,4}$ uppfyller alla $\Delta I = 0, 1$, ingen paritetsändring - tillåtna

b. β_2 dominerar på grund av störst Q-värde ($\propto Q^5$)

c.
$$\left. \begin{array}{l} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 \end{array} \right| \begin{array}{l} \text{M2} \\ \text{M1, (E2, M3, E4, M5)} \\ \text{M1, (E2, M3)} \\ \text{E2} \\ \text{E3} \end{array}$$

d. $0^+ \rightarrow 0^+$ kan inte ske med reella fotoner, övergången måste ske med intern konversion.

- e. Q-värdet är lågt, vilket leder till en mycket lång halveringstid för α -sönderfall, medan tillståndet depopuleras ytterst snabbt genom γ -övergångar

5. Se kurslitteratur

6. a. Vid maximalt 3 MeV/u kan en icke-relativistisk behandling göras, dvs addition av hastighetsvektorer. Mätning i strålens riktning gör att problemet är en-dimensionellt. Den inkommande jonen har på grund av den successiva energiförlusten en okänd rörelsemängd p_{21} i lab-systemet. I masscentrum-systemet gäller att

$$p'_{21} + p'_p = 0$$

både före och efter den elastiska spridningen. Masscentrums rörelse är då $v_{cm} = -v'_p$ då protonen är i vila i lab-systemet. Då den sker i en dimension får vi att protonens hastighet efter spridning är $v''_p = -v'_p$ vilket i lab-systemet blir

$$v'''_p = v''_p + v_{cm} = 2v'_p$$

Med en uppmätt protonenergi T_p i lab-systemet fås

$$v'_p = -v'''_p/2 = -\sqrt{\frac{T_p}{2m_p}}$$

i masscentrum, och att $v'_{21} = -v'_p \frac{m_p}{m_{21}}$. Den totala energin i masscentrum blir då:

$$\begin{aligned} E_{tot} &= [m_{21} + m_p]c^2 + [m_{21}(v'_{21})^2 + m_p(v'_p)^2]/2 \\ &= [m_{21} + m_p]c^2 + \left[\frac{m_p}{m_{21}} + 1\right]m_p(v'_p)^2/2 \\ &= [m_{21} + m_p]c^2 + \frac{1}{4}\left[\frac{m_p}{m_{21}} + 1\right]T_p \end{aligned}$$

Då vi har för excitationenergin att $E_{ex} = E_{tot} - m_{22}c^2$ ger det att

$$E_{ex} = [m_{21} + m_p - m_{22}]c^2 + \frac{1}{4}\left[\frac{m_p}{m_{21}} + 1\right]T_p$$

med

$$Q = [m_{21} + m_p - m_{22}]c^2 = 5,50 \text{ MeV} \quad (1)$$

så har vi excitationenergierna på 7,47 MeV resp. 8,15 MeV som motsvarar de detekterade protonenergierna.

- b. Med en halveringstid på 22,5 s kan man inte göra ett strålmål at ^{21}Na så invers kinematik är nödvändig. Energiförlust hos laddade partiklar enl. Bethe-Bloch-formeln (se Martin) kan förenklas till

$$-\frac{dE}{dx} \propto \frac{z^2}{\beta^2}$$

laddningsberoendet ger en faktor 11^2 lägre energiförlust för protoner relativt Na-joner, hastighetsberoendet ytterligare en faktor $\sim 3^2$. Protonernas energiförlust är alltså ca 1000 ggr mindre.