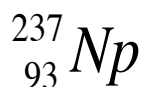


Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

- Tid: 2010-08-19 fm
- Hjälpmedel: Physics Handbook (med tillhörande 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 32 58/0702 144195

1. Neutriner från solens fusionsreaktioner kan detekteras genom att de inducerar ett inverst beta-sönderfall:
 - a. Beräkna de lägsta neutrinoenergier som kan detekteras med hjälp av detektorer som har ^{37}Cl respektive ^{71}Ga som aktivt material (10 p)
 - b. Kan dessa material användas för att studera neutriner från proton-proton-fusion i solen (första steget i pp-kedjan)? (5 p)
2. Redogör för de processer varmed element tyngre än järn bildats. Beskriv varför förloppet inte kan förklaras med endast en process. (10 p)
3. Nivåschema för kärnan $^{237}_{93}\text{Np}$ framgår av figuren nedan. För grundtillståndet samt de fyra lägsta nivåerna anges spinn och paritet (I^π) samt energi i keV

$(I^\pi)_3$	—————	E_3
$(I^\pi)_2$	—————	E_2
$(I^\pi)_1$	—————	E_1
$7/2^-$	—————	103
$9/2^+$	—————	76
$5/2^-$	—————	60
$7/2^+$	—————	33
$5/2^+$	—————	0



- a. Bestäm med hjälp av bifogat Nilssondiagram (Figur 1) deformationen ϵ för kärnan. Motivera! (5 p)

Ytterligare uppgifter finns på baksidan

b. Beräkna spinn, paritet ($I\pi$) samt energier för de tre högst exciterade nivåerna i nivåskemat. (10 p)

4. Förklara och exemplifiera isospinnbegreppet i kärnor (5 p) och partiklar (5 p)

5. Den fysiska eta-mesonen kan ses som en superposition av kvark-antikvarktillstånd enligt

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d})\cos\alpha - 2s\bar{s}\sin\alpha$$

där α är en "mixing angle". Vilka av följande sönderfallskanaler är möjliga för eta-mesonen? Indikera möjliga processer på kvarknivå för dessa (utan att ta hänsyn till normaliseringsfaktorer), visa vilka urvalsregler som bryts för övriga. (10 p)

a. $\eta \rightarrow \mu^+ + e^-$

b. $\eta \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

c. $\eta \rightarrow B^- + e^+ + \nu_e$

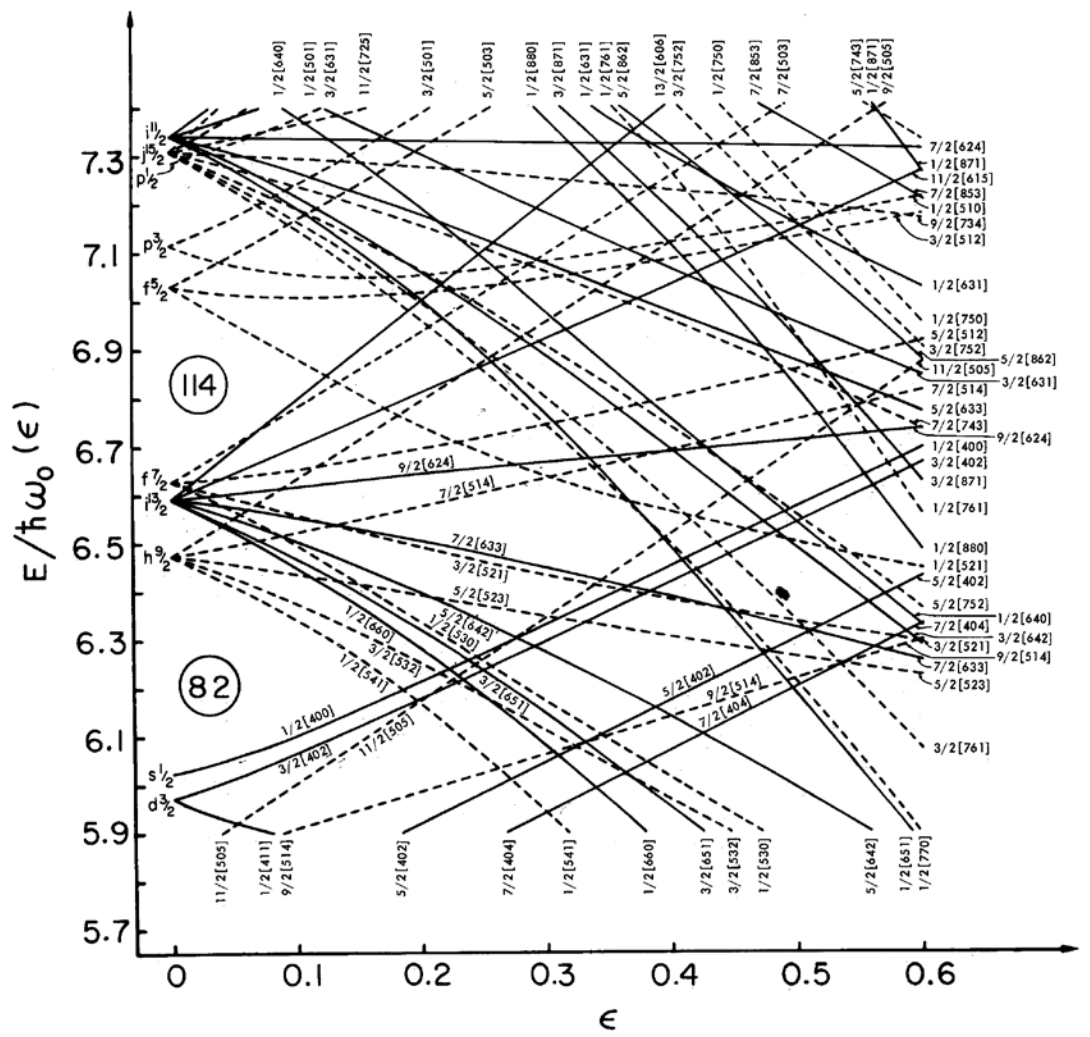
d. $\eta \rightarrow \pi^+ + \pi^- + 2\gamma$

e. $\eta \rightarrow K_0$

6. Tillstånd hos den exotiska nukliden ^{12}Be (atommassa 12,026921 u) kan studeras genom att populera dessa genom transferreaktioner. Vi använder reaktionen $^2\text{H}(^{11}\text{Be},p)$ i s.k. invers kinematik vilket motsvarar en (d,p)-reaktion i normal kinematik. Då ett exciterat tillstånd i ^{12}Be med excitationenergin 2,10 MeV populeras i denna reaktion, kommer det omedelbart att desexciteras genom att emittera en foton.

a. Antag att experimentuppställningen omges i alla riktningar av gammadetektorer där hela fotonenergin detekteras. Beräkna, under förutsättning att den inkommande strålen är ^{11}Be -joner med den kinetiska energin 3,1 MeV/u, det energiintervall inom vilken den utgående fotonen detekteras. (10 p)

b. Varför genomförs experimentet i invers kinematik, och vilka egenskaper hos gammadetektorerna är önskvärda? (5 p)



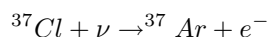
Figur 1 Nilsson diagram för protoner

Lösningsskisser tentamen FUF050 Subatomär Fysik 100527

Thomas Nilsson

23 augusti 2010

1. a För en detektor baserad på ^{37}Cl gäller att reaktionen



kan induceras. Denna har Q-värdet (rekylen från neutronens rörelsemängd försummas):

$$\begin{aligned} Q &= [m(^{37}\text{Cl}) - m(^{37}\text{Ar}) - m_e]c^2 \\ &= [(M(^{37}\text{Cl}) - 17m_e) - (M(^{37}\text{Ar}) - 18m_e) - m_e]c^2 \\ &= [M(^{37}\text{Cl}) - M(^{37}\text{Ar})]c^2 \end{aligned}$$

med $M(^{37}\text{Cl}) = 36.965903u$ och $M(^{37}\text{Ar}) = 36.966776u$ fås $Q = -0.81\text{MeV}$. Neutrinernas energi måste alltså överstiga $-Q$ för att reaktionen ska kunna hända. P.s.s. för ^{71}Ga och ^{71}Ge fås $Q = -0.24\text{MeV}$

- b För reaktionen $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu$ har vi

$$Q = [2m_p - m_d - m_e]c^2 = [2M(^1\text{H}) - M(^2\text{H}) - 2m_e]c^2 = 0.42\text{MeV}$$

vilket ger den maximala neutrinoenergin. (Notera att totala Q-värdet för processen att slå ihop två väteatomer till en deutron är $2m_e c^2 = 1.022\text{MeV}$ högre då den innefattar annihilation av positronen. Denna energi finns emellertid inte tillgänglig för neutronen.) Dessa kan alltså enbart detekteras i en gallium-baserad detektor.

2. Se Krane, exempel på punkter som bör vara med:

- s- och r-process, neutronflöde
- isotoper "skyddade" från r-process av stabila isotoper
- produktion av de tyngsta elementen och neutronrika som ej nås i s-process

3. a Enligt nivåschema har vi $\frac{5}{2}^+$ som grundtillstånd, nästa tillstånd är $\frac{7}{2}^+$ som är en trolig rotationsexcitation byggd på grundtillståndet. Följande tillstånd har $\frac{5}{2}^-$ och genom negativ paritet inte byggd på grundtillståndet. Vi ska alltså söka en region i Nilsson-diagrammet där den 93:e protonen är i $\frac{5}{2}^+$, med ett $\frac{5}{2}^-$ -tillstånd som trolig enpartikelexcitation. Avläsning ger att detta stämmer för $0.23 < \epsilon < 0.28$
- b Rotationstillstånd hos $^{23,24}Mg$. För ^{23}Mg ger avläsning i Nilsson-diagram 11:e neutronen i $[211\frac{3}{2}]$ utgående från $d\frac{5}{2}$, alltså $\pi = 1$ vilket ger $I^\pi = \frac{3}{2}^+$.

Vi antar ett rotationsband byggd på grundtillståndet som har

$$E = E_0 + \frac{\hbar^2}{2J}[I(I+1) - K^2]; I = \frac{5}{2}^+, \frac{7}{2}^+, \frac{9}{2}^+, \dots$$

vilket ger att

$$E_{\frac{7}{2}^+} - E_{\frac{5}{2}^+} = \frac{\hbar^2}{2J}[\frac{7}{2}(\frac{7}{2} + 1) - \frac{5}{2}(\frac{5}{2} + 1)] = 33keV \Rightarrow \frac{\hbar^2}{2J} = 33/7keV$$

Detta leder till:

I^π	E
$7/2^+$	33
$9/2^+$	75
$11/2^+$	127
$13/2^+$	189
$15/2^+$	259

Då energin för $\frac{7}{2}^+$ -tillståndet stämmer bra, tycks antagandet vara OK. P.s.s. för $\frac{5}{2}^-$:

I^π	E
$5/2^-$	60
$7/2^-$	103
$9/2^-$	158
$11/2^-$	226
$13/2^-$	306

De eftersökta nivåerna är alltså:

	I^π	E
1	$11/2^+$	127
2	$9/2^-$	158
3	$13/2^+$	189
4	$11/2^-$	226

4. Se Krane
5. Kvarkelement för d) kan göras på många triviala sätt då ingående och utgående partiklar består av linjärkombinationer av kvark-antikvarkpar eller endast fotoner

- a Bryter L_e och L_μ
 - b Bryter leptontal
 - c Bryter hyperladdning och energikonservering ($m_B > m_\eta$)
 - d OK
 - e Bryter hyperladdning, kvarkinnehåll ej konserverat
6. a Den emitterade gammafotonen har 2.1 MeV i det inertialsystem som utgörs av $^{12}\text{Be}^*$ efter transferreaktionen. Denna energi kommer att Dopplerskiftas då vi studerar processen i laboratoriesystemet, beroende på hastighetsvektorn av rekylkärnan som beror på i vilken riktning protonen har emitterats, och beroende på i vilken riktning relativt rekylkärnans rörelse som gammafotonen emitteras. För masscentrum gäller att (se ex. PH)

$$v_{cm} = \frac{m_{11}}{m_{11} + m_d} v_{11} \quad (1)$$

och ^{11}Be och ^2H har då hastigheterna

$$v'_{11} = v_{11} - v_{cm} = \frac{m_d}{m_{11} + m_d} v_{11}$$

respektive $v'_d = -v_{cm}$ i masscentrumssystemet. I detta system delar produkterna på energin

$$T'_{12} + T'_p = W = Q + T'_{11} + T'_d = Q + \frac{m_d}{m_d + M_{11}} T_{11}$$

enligt

$$T'_{12} = \frac{W}{1 + m_{12}/m_p}$$

med $Q = [m_{11} + m_d - m_{12} - m_p]c^2 - E_{exc}$

Numeriskt med $m_{11} = M(^{11}\text{Be}) = 11.021658u$, $m_p = M(^1\text{H}) = 1.007825u$, $m_{12} = M(^{12}\text{Be}) = 12.026921u$ och $m_d = M(^2\text{H}) = 2.014102u$ fås:

$$Q = 0.944 - 2.1\text{MeV} = -1.16\text{MeV}$$

och

$$W = -1.16 + \frac{2}{13} \cdot 11 \cdot 3.1 = 4.1\text{MeV}$$

där

$$T'_{12} = 0.31\text{MeV}$$

vilket motsvarar

$$v'_{12} = \sqrt{\frac{2T'_{12}}{m_{12}}} = 0.0075c$$

I laboratoriesystemet kommer rekylkärnan att ha hastigheter i intervallet $v_{cm} \pm v'_{12}$ beroende på i vilken riktning den har relativt den inkommande strålen. Med (1) fås att

$$v_{cm} = 0.069c$$

så kärnans hastighet befinner sig inom $[0.061c, 0.077c]$. Det största Doppler-skiftet enligt

$$E'_\gamma = E_\gamma(1 + v/c)$$

(då emissionen sker parallellt med rörelsevektorn) fås vid den högsta rekylhastigheten och $v = \pm 0.077c$ ger 2.26 MeV respektive 1.94 MeV. Vi detekterar alltså gammafotoner i energiområdet $[1.94\text{MeV}, 2.26\text{MeV}]$

- b Då ^{11}Be har en halveringstid på 13.8 s kan inget strålmål bestående av nukliden skapas. Det stora Dopplerskiftet visar att en god lägesbestämning/granularitet hos gammadetektorerna är extremt viktigt för reaktionsexperiment.