

Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

Tid: 2009-05-30 fm, VV
Hjälpmedel: Physics Handbook (med tillhörande nuklidkarta),
Chalmersgodkänd räknare
Poäng: Totalt 75 poäng
Frågor: Thomas Nilsson, tel. 772 32 58/0702 144195

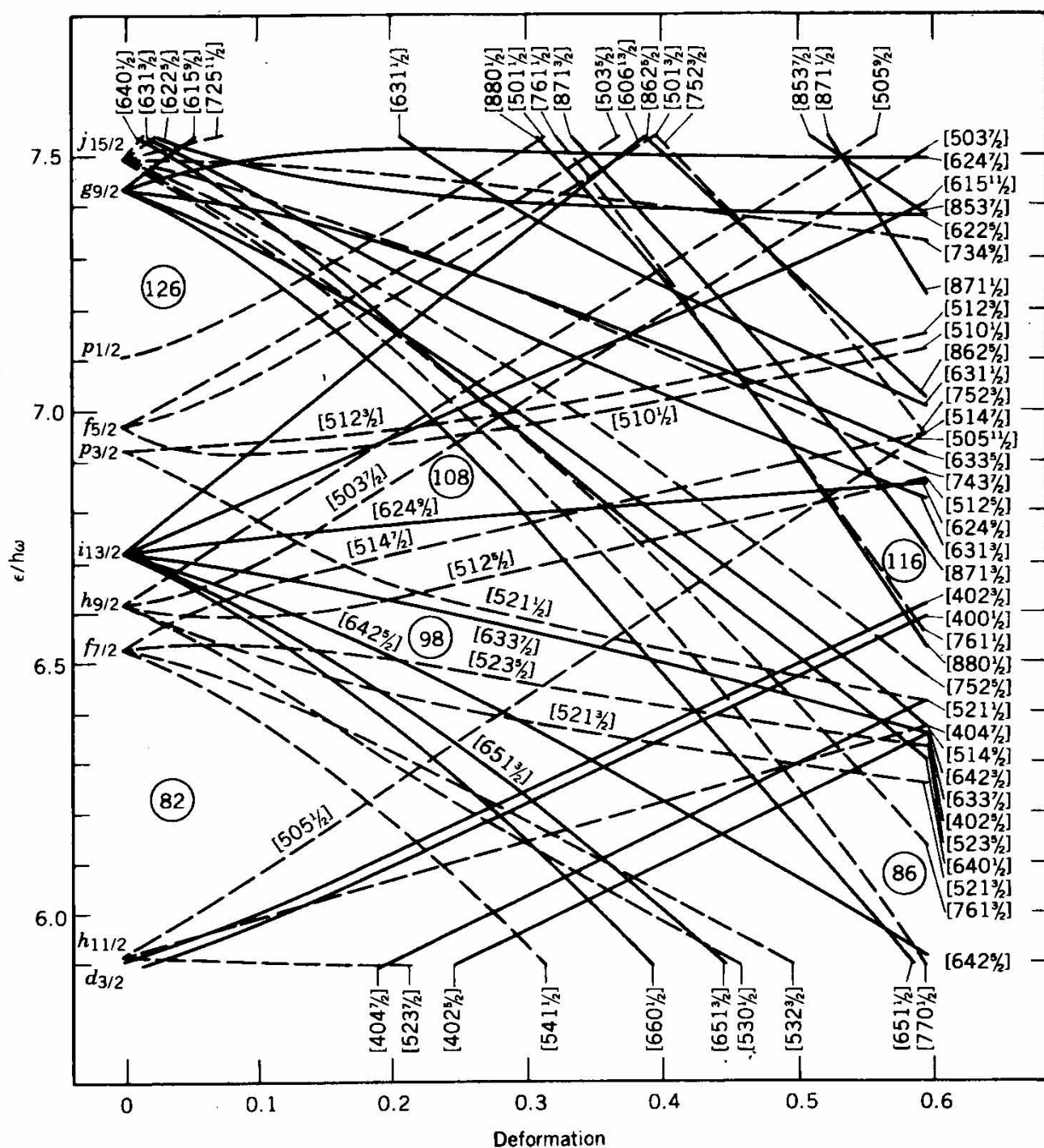
- Genom att skicka en stråle av ^8Li på ett strålmål av deutererad plast (C_6D_6) kan compoundkärnan ^{10}Be bildas. Antag att tvärsnittet för reaktionen är 12 mb, strålintensiteten är $10^7/\text{s}$, energin 3,1 MeV/u och att strålmålet (plastfolien) har tjockleken $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$:
 - Hur många ^{10}Be bildas per sekund? (5 p)
 - Vilken excitationsenergi får compoundkärnorna? (5 p)
 - En högt exciterad kärna kan, utöver att de-exiteras genom gammaemission, sönderfalla genom att emittera partiklar som neutroner, protoner och alfapartiklar. Vilka av dessa sönderfallskanaler är möjliga i detta fall? (5 p)
- Redogör för de processer varmed element tyngre än järn bildats. Beskriv varför förloppet inte kan förklaras med endast en process. (10 p)
- 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)
 - $\eta \rightarrow \mu^+ + e^-$
 - $\eta \rightarrow 3\pi^0$
 - $\eta \rightarrow \Omega + e^- + \bar{\nu}$
 - $\eta \rightarrow 2\gamma$
 - $\eta \rightarrow J/\psi$
- Skalmodellen reproducerar bl.a. de magiska talen
 - redogör för grunderna i modellen (5 p)

Ytterligare uppgifter finns på baksidan

b. visa hur energin hos ett tillstånd med givet l -kvanttal splittas upp för de möjliga värdena hos j -kvanttalet, och att totala antalet tillstånd bevaras. (10 p)

5. I en gamma-spektroskopisk undersökning finner man att $^{157}_{64}\text{Gd}_{93}$ har exciterade nivåer vid 54,5; 131,5; 227,3; 347,3 keV och 63,9; 115,7; 180,2; 272,3 keV. Genom koincidensmätning fastställs att de fyra första nivåerna tillhör samma kaskad, och att de resterande tillhör en ytterligare kaskad. Antag att kärnan är deformerad med deformationsparametern 0,26 och ange och motivera spinn och partitet för dessa tillstånd. (15 p)

6. Beskriv Pound och Rebkas experiment och hur detta visade ekvivalensprincipen i allmänna relativitetsteorin. (10 p)



Lösningsskisser tentamen FUF050 Subatomär Fysik 090530

Thomas Nilsson

11 juni 2009

1. a Strålmålet har lika många deuteroner som kolatomer, varje "par" har molmassan $M_{CD} \approx 14g/mol$

Antal deuteroner/areaenhet:

$$N_d = \frac{\rho N_A}{M_{CD}} = \frac{10^{-4} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{14} \left[\frac{g/cm^2}{mol \cdot g/mol} \right] = 4.3 \cdot 10^{18} cm^{-2}$$

Produktionshastighet:

$$\begin{aligned} R &= I \cdot N_d \cdot \sigma \\ &= 10^7 \cdot 4.3 \cdot 10^{18} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-24} [s^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot barn \cdot \frac{cm^2}{barn}] \\ &= 0.56s^{-1} \end{aligned}$$

- b 8Li fusionerar med 2H och bildar compoundkärnan ${}^{10}Be^*$. För denna gäller att:

$$\vec{P}_{10^*} = \vec{P}_8 + \vec{P}_d \quad (1)$$

där

$$\vec{P}_8 = [0, 0, p_8, E_8/c], \vec{P}_d = [0, 0, 0, m_d c]$$

kvadrera 1:

$$\begin{aligned} -m_{10^*}^2 c^2 &= \vec{P}_{10^*}^2 = (\vec{P}_8 + \vec{P}_d)^2 \\ &= \vec{P}_8^2 + \vec{P}_d^2 + 2\vec{P}_8 \cdot \vec{P}_d \\ &= -m_8^2 c^2 - m_d^2 c^2 - 2m_d E_8 \\ &= -m_8^2 c^2 - m_d^2 c^2 - 2m_d (T_8 + m_8 c^2) \end{aligned}$$

alltså är excitationensenergin:

$$\begin{aligned} E^* &= (m_{10^*} - m_{10})c^2 \\ &= (\sqrt{m_8^2 + m_d^2 + 2m_d(T_8/c^2 + m_8)} - m_{10})c^2 \end{aligned}$$

med $m_{10} = M(^{10}\text{Be}) = 10.013534$ u, $m_8 = M(^8\text{Li}) = 8.022486$ u, $m_d = M(^2\text{H}) = 2.01410178$ u och $T_8 = 8 \cdot 3.1$ MeV fås $E^* = 26.45 \text{ MeV}$. En icke-relativistisk lösning är givetvis även OK då $T_8 \ll m_8$.

c Q-värden för emission av neutroner, protoner och alfapartiklar från grundtillståndet hos ^{10}Be ges av:

$$\begin{aligned} Q_n &= [M(^{10}\text{Be}) - M(^9\text{Be}) - m_n]c^2 = -6.81 \text{ MeV} \\ Q_p &= [M(^{10}\text{Be}) - M(^9\text{Li}) - M(^1\text{H})]c^2 = -19.64 \text{ MeV} \\ Q_\alpha &= [M(^{10}\text{Be}) - M(^6\text{He}) - M(^4\text{He})]c^2 = -7.41 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Då $E^* + Q > 0$ för samtliga fall är alla möjliga.

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. Kvardiagram för b) och 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 OK
- c Bryter baryontal, laddning och energikonservering ($m_\Omega > m_\eta$)
- d OK
- e Bryter energikonservering ($m_{J/\psi} > m_\eta$)

4. Se Krane

a Punkter som bör vara med:

- Utveckling från lād- resp. harmonisk oscillatorpotential till realistisk potential (Woods-Saxon)
- Införandet av spinn-bankoppling, uppsplittring som ger magiska tal

5. Avläsning i Nilsson-diagram ger 93:e neutronen i $[521 \frac{3}{2}]$ och att $[642 \frac{5}{2}]$ kan vara ett exciterat tillstånd. Detta ger $I^\pi = \frac{3}{2}^-$ resp. $I^\pi = \frac{5}{2}^+$. Antag att första kaskaden är ett rotationsband byggd på grundtillståndet, då gäller att

$$E = E_0 + \frac{\hbar^2}{2J}[I(I+1) - K^2]; I = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \dots$$

vilket ger att

$$E_{\frac{5}{2}} - E_{\frac{3}{2}} = \frac{\hbar^2}{2j} \left[\frac{5}{2} \left(\frac{5}{2} + 1 \right) - \frac{3}{2} \left(\frac{3}{2} + 1 \right) \right] = 54.5 \text{ keV} \Rightarrow \frac{\hbar^2}{2j} = 54.5/5 = 10.9 \text{ keV}$$

Detta leder till att

I	E	exp
5/2 ⁻	130.8	131.5
7/2 ⁻	228.9	227.3
9/2 ⁻	348.8	347.3

P.s.s. för andra rotationsbandet byggt på 5/2⁺:

$$\begin{aligned} E_{\frac{7}{2}} - E_{\frac{5}{2}} &= \frac{\hbar^2}{2j} \left[\frac{7}{2} \left(\frac{7}{2} + 1 \right) - \frac{5}{2} \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \right] = 115.7 - 63.9 \text{ keV} = 51.8 \text{ keV} \\ &\Rightarrow \frac{\hbar^2}{2j} = 51.8/7 = 7.4 \text{ keV} \end{aligned}$$

för tillstånden vid högre energi fås:

$$\begin{aligned} E_{\frac{9}{2}} &= 7.4 \left[\frac{9}{2} \left(\frac{9}{2} + 1 \right) - \frac{5}{2} \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \right] + 63.9 \text{ keV} = 182.3 \text{ keV} \\ E_{\frac{11}{2}} &= 7.4 \left[\frac{11}{2} \left(\frac{11}{2} + 1 \right) - \frac{5}{2} \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \right] + 63.9 \text{ keV} = 263.7 \text{ keV} \end{aligned}$$

som överensstämmer relativt väl med experimentell data. För tillstånden gäller alltså att $I^\pi = 3/2^-, 5/2^-, 7/2^-, 9/2^-, 5/2^+, 7/2^+, 9/2^+, 11/2^+$.

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

- jämförelse mellan accelererat och gravitationellt system
- visa storleken på Dopplerskift
- Mößbauereffekt, experimentell uppställning