

Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

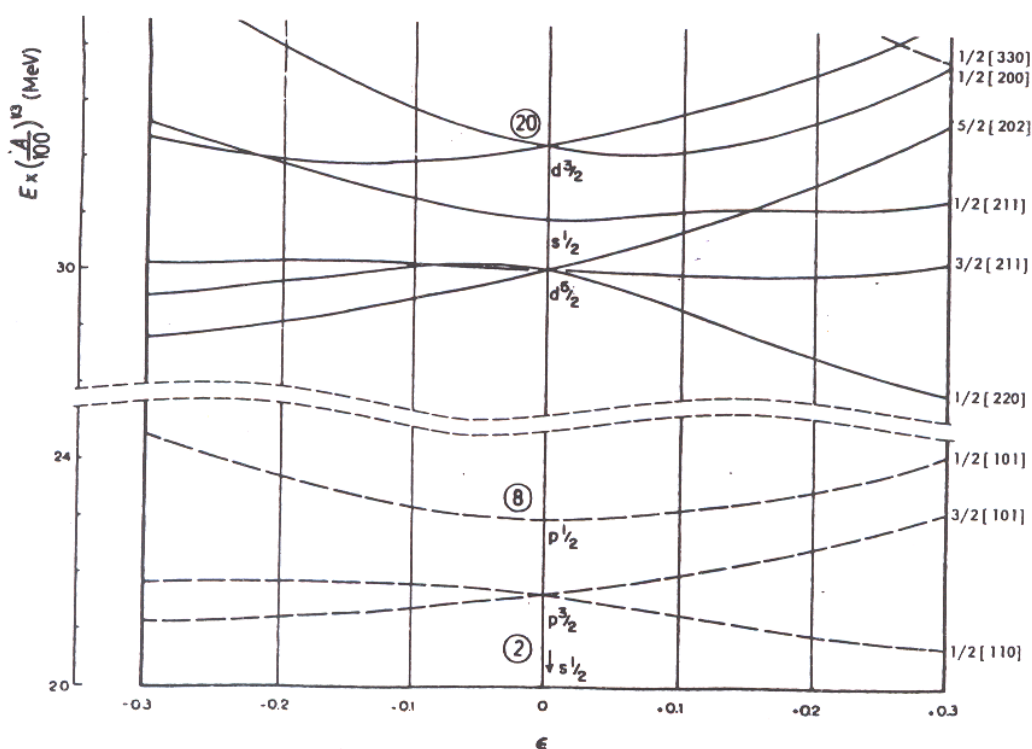
- Tid: 2010-05-27 fm, J
- Hjälpmedel: Physics Handbook (med tillhörande nuklidkarta), Beta, Chalmersgodkänd räknare
- Poäng: Totalt 75 poäng, för betyg 3 krävs 40 poäng, för betyg 4 krävs 60 poäng, för betyg 5 krävs 80 poäng. Ev. poäng från inlämningar inkluderas.
- Frågor: Thomas Nilsson, tel. 772 32 58/0702 144195

1. Beskriv de grundläggande typerna av växelverkan som existerar, även med avseende på utbytespartiklar och räckvidd. Rita ett Feynmandiagram för någon typ av växelverkan. (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. Redogör för hur ^{12}C bildas i unga stjärnor. Beskriv hur sedan förekomsten av kol kan påskynda fusion av väte till helium. (10 p)
4. Den radioaktiva isotopen ^{56}Co ($t_{1/2} = 77$ dagar) kan produceras i reaktionen $^{56}\text{Fe}(p,n)$.
 - a. Om protonerna i den inkommande strålen har den kinetiska energin 12 MeV, vilken excitationenergi har då compoundkärnan? (5 p)
 - b. Tvärsnittet för reaktionen vid den givna energin är 85 mb. Under antagandet att vi har ett strålmål av naturligt järn med tjockleken 45 mg/cm^2 och en protonstråle om $0,35 \mu\text{A}$, beräkna aktiviteten från ^{56}Co efter 6 dagars bestrålning. (10 p)
5. Nukliderna ^{23}Mg och ^{24}Mg är båda deformerade med deformationsparametern $\epsilon = 0,25$. Excitationspektra hos båda kärnorna uppvisar rotationsbands byggda på grundtillståndet. Hos ^{23}Mg återfinns det första exciterade tillståndet vid 0,44 MeV och vid 1,37 MeV hos ^{24}Mg . Ange spinn, paritet och energi för grundtillståndet och de tre första exciterade tillstånden. (10 p)

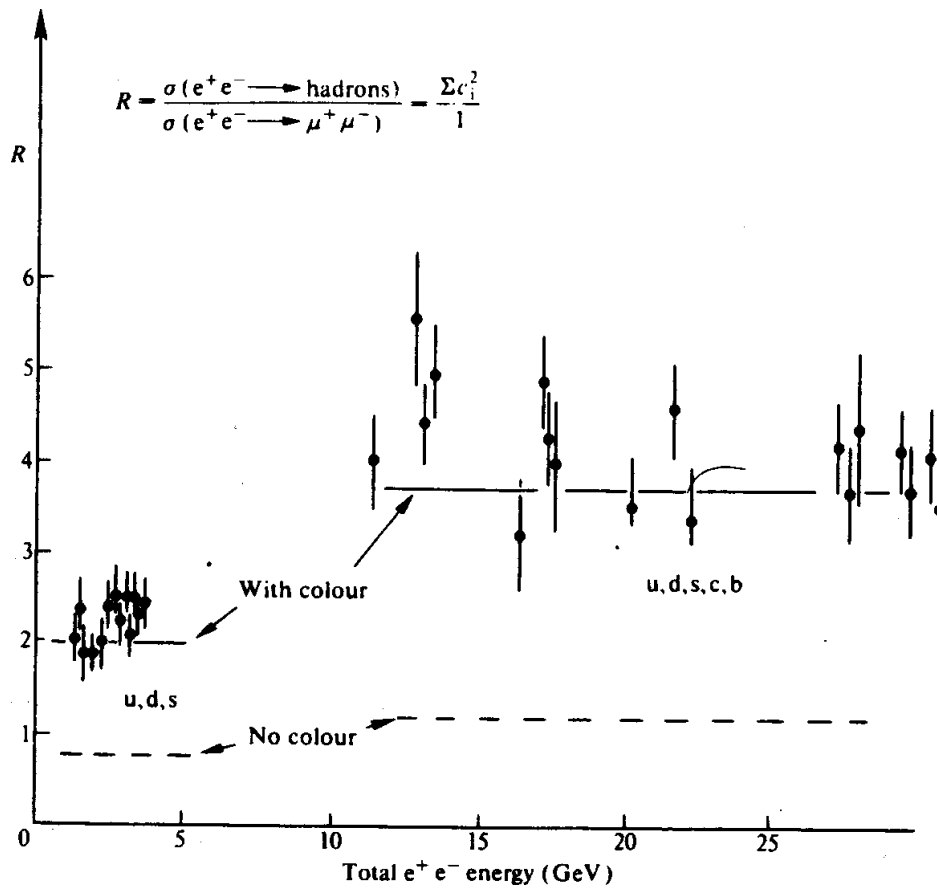
Ytterligare uppgifter finns på baksidan

6. Färgkvanttal i kvarkmodellen:
- Varför måste färgkvanttalet införas för att beskriva Ω^- ? (5 p)
 - Hur har existensen av färgkvanttal kunnat påvisas experimentellt (se fig. 2)? En kvalitativ förklaring är tillräcklig. (5 p)
7. Enligt Fermis teori för betasönderfall kan betaspektrums form beskrivas som en funktion av kinetiska energin T_e för elektronen. Visa att då $Q \ll m_e c^2$ är medelenergin av ett betaspektrum $\langle T_e \rangle = Q/3$ då Q är ändpunktsenergin för sönderfallet (10 p)

Nilsson diagram for protons or neutrons, $Z \leq 50$



Figur 1 Nilsson diagram för $Z < 50$



Figur 2 Färgkvanttal

Lösningsskisser tentamen FUF050 Subatomär Fysik 100527

Thomas Nilsson

27 juni 2010

1. Se Krane, punkter som bör vara med:

- Samtliga fyra typer av växelverkan med utbytespartiklar
- Utbytespartiklarnas massa relaterat till räckvidden

2. a För compoundkärnans excitationenergi 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 bindningsenergier. 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 rekylenergin i fusionsreaktionen ($238 \gg 1$)

b Se Krane, excitationenergin 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 excitationenergi.

3. Se Krane, 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 $^1\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow\ ^2\text{H} + e^+ + \nu$

4. Protonen fusionerar med ^{56}Fe och bildar compoundkärnan $^{57}\text{Co}^*$ som sedan sönderfaller i $^{56}\text{Co} + n$. För compoundkärnan gäller att:

$$\vec{P}_{57^*} = \vec{P}_{56} + \vec{P}_1 \quad (1)$$

där

$$\vec{P}_1 = [0, 0, p_1, E_1/c], \vec{P}_{56} = [0, 0, 0, m_{56}c]$$

kvadrera 1:

$$\begin{aligned}
 -m_{57^*}^2 c^2 &= \overrightarrow{P_{57^*}}^2 = (\overrightarrow{P_{56}} + \overrightarrow{P_1})^2 \\
 &= \overrightarrow{P_{56}}^2 + \overrightarrow{P_1}^2 + 2\overrightarrow{P_{56}} \cdot \overrightarrow{P_1} \\
 &= -m_{56}^2 c^2 - m_1^2 c^2 - 2m_1 E_{56} \\
 &= -m_{56}^2 c^2 - m_1^2 c^2 - 2m_{56}(T_1 + m_1 c^2)
 \end{aligned}$$

alltså är excitationsenergien:

$$\begin{aligned}
 E^* &= (m_{57^*} - m_{57})c^2 \\
 &= (\sqrt{m_{56}^2 + m_1^2 + 2m_{56}(T_1/c^2 + m_1)} - m_{57})c^2
 \end{aligned}$$

med $m_{57} = M(^{57}\text{Co}) = 56.936294$ u, $m_{56} = M(^{56}\text{Fe}) = 55.934939$ u, $m_1 = M(^1\text{H}) = 1.007825$ u och $T_1 = 12$ MeV fås $E^* = 17.8\text{MeV}$. En icke-relativistisk lösning är givetvis även OK då $T_1 \ll m_1$.

Antal ^{56}Fe /areaenhet (^{56}Fe utgör 91.7% av naturligt järn):

$$\begin{aligned}
 N_{56} &= \frac{0.917\rho N_A}{M_{Fe}} \\
 &= \frac{0.917 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{55.8} \left[\frac{g/cm^2}{mol \cdot g/mol} \right] = 4.45 \cdot 10^{20} cm^{-2}
 \end{aligned}$$

Produktionshastighet med $I = 0.35 \cdot 10^{-6}/1.60 \cdot 10^{-19}[A/C] = 2.19 \cdot 10^{12} s^{-1}$:

$$\begin{aligned}
 R &= I \cdot N_d \cdot \sigma \\
 &= 2.19 \cdot 10^{12} \cdot 4.45 \cdot 10^{20} \cdot 85 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-24} [s^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot barn \cdot \frac{cm^2}{barn}] \\
 &= 8.29 \cdot 10^7 s^{-1}
 \end{aligned}$$

Aktivitet efter 6 dagar:

$$A = \lambda N = R(1 - e^{-\lambda \cdot t}) = 8.29 \cdot 10^7 (1 - e^{-6 \cdot \ln(2)/77}) = 4.36\text{MBq}$$

5. Rotationstillstånd hos $^{23,24}\text{Mg}$. 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 $I^\pi = \frac{3}{2}^+$. Ett rotationsband byggd på grundtillståndet har då

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

vilket ger att

$$E_{\frac{5}{2}} - E_{\frac{3}{2}} = \frac{\hbar^2}{2j}[\frac{5}{2}(\frac{5}{2}+1) - \frac{3}{2}(\frac{3}{2}+1)] = 0.44\text{MeV} \Rightarrow \frac{\hbar^2}{2j} = 0.44/5 = 88\text{keV}$$

Detta leder till:

I^π	E
$5/2^+$	0.44
$7/2^+$	1.06
$9/2^+$	1.85

^{24}Mg har grundtillstånd 0^+ (j-j) och bara jämna rotationstillstånd:

$$E = \frac{\hbar^2}{2j} I(I+1); I = 0^+, 2^+, 4^+, \dots$$

På samma sätt som ovan:

I^π	E
2^+	1.37
4^+	4.57
6^+	9.59

6. Se Krane, punkter som bör vara med:

- Tre s-kvarkar, fermioner, Pauliprincipen
- Relativa tvärsnitt för hadron rel. myonproduktion, kombinatorik med färger, analogi med Rutherford

7. Se räkneövningsanteckningar