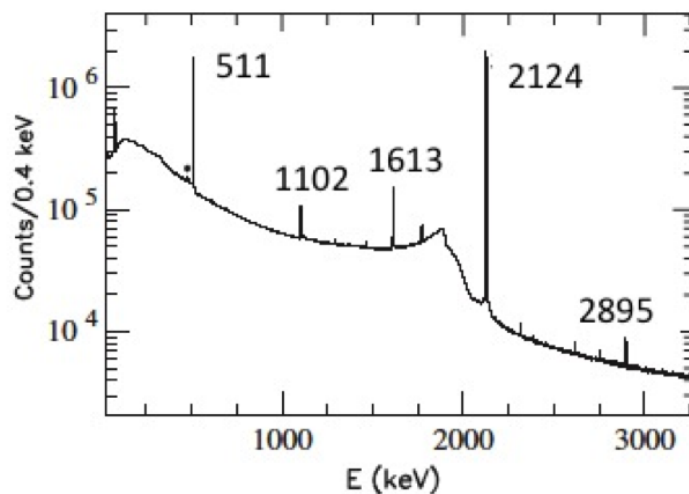


# Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

Tid: 2015-08-27 em  
Hjälpmedel: Physics Handbook, 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: Daniel Sääf, tel. 772 3429, Thomas Nilsson 0702-144 195

1. Aktiveringsenergin för fission av  $^{236}\text{U}$  och  $^{239}\text{U}$  är 6,2 respektive 6,6 MeV
  - a. Vilken minsta neutronenergi krävs för att fissionera  $^{235}\text{U}$  respektive  $^{238}\text{U}$ ? (5 p)
  - b. Vad är den dominerande orsaken till denna skillnad? (Ledtråd: semi-empiriska massformeln) (5 p)
2. I Fig. 1 visas ett gammaspektrum upptaget med en germaniumdetektor i ett sönderfallexperiment. Ge en möjlig förklaring till de gammalinjer vars energi (i keV) har markerats i figuren. (10 p)

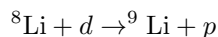


Adopted from: Borge *et al.* Journal of Physics G  
40 (2013) 035109

Figur 1: Gammaspektrum från ett sönderfallsexperiment

3. Beskriv hur man har kunnat fastställa att det finns tre generationer lätta neutriner genom att studera produktion och sönderfall av  $Z^0$ -bosonen. (10 p)

4. Redogör för de processer varmed element tyngre än järn bildats. Beskriv varför förloppet inte kan förklaras med endast en process. (10 p)
5. Vid ett experiment vid ISOLDE-anläggningen på CERN studerades tillstånd i den exotiska kärnan  ${}^9\text{Li}$  genom transferreaktioner. En stråle av  ${}^8\text{Li}$  med kinetiska energin 3.15 MeV/u träffade ett strålmål av deutererad plast ( $\text{C}_6\text{D}_6$ ) så att en reaktion av typen



kunde inträffa.

- a. I experimentet detekterades de utgående protonernas kinetiska energi och vinkel (relativt strålriktningen av den inkommande strålen av  ${}^8\text{Li}$ ) och sammanhörande datapunkter plottades (se Figur 2) med kinematiska kurvor som motsvarar population av grundtillståndet och de tre lägsta exciterade tillstånden i  ${}^9\text{Li}$ . Bestäm med hjälp av figuren excitationsenergier för dessa tre exciterade tillstånd. (10 p)
- b. Använd skalmodellen för att förutsäga spinn och paritet för  ${}^9\text{Li}$  i grundtillståndet, och föreslå utifrån skalmodellen möjliga värden på spinn och paritet för de tre exciterade tillstånden. Motivera! (5 p)
- c. Motivera varför experimentet utfördes i så kallad invers kinematik, dvs. med en stråle av  ${}^8\text{Li}$  på ett strålmål innehållande deuteroner, istället för med en deutronstråle på ett strålmål innehållande  ${}^8\text{Li}$ . (5 p)

${}^8\text{Li}$	8,022487362 u
${}^9\text{Li}$	9,026789505 u

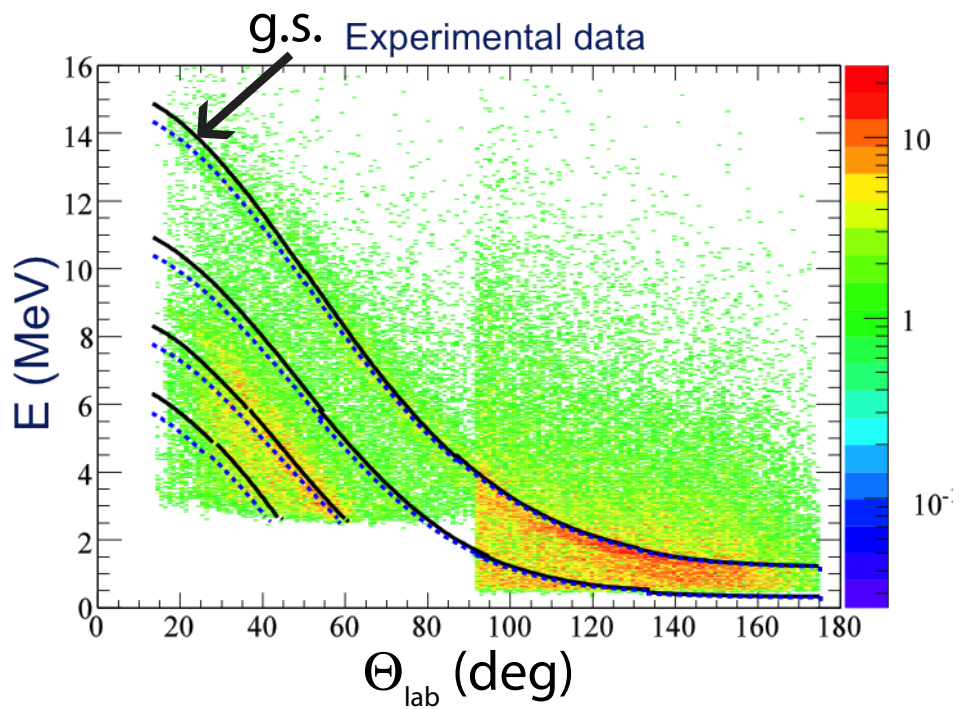
Tabell 1: Atommassor för de aktuella litiumisotoperna

6. Visa att differentiella tvärsnittet för Rutherfordspridning kan skrivas

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{zZe^2}{4\pi\epsilon_0}\right)\left(\frac{1}{4T_a}\right)\frac{1}{\sin^4\frac{\theta}{2}}$$

(15 p)

(Ledning:  $v = \frac{dr}{dt}\hat{r} + r\frac{d\beta}{dt}\hat{\beta}$ )



Figur 2: Figuren visar experimentella datapunkter för protoner från reaktionen  ${}^8\text{Li}({}^2\text{H}, p)$  där tillstånd i  ${}^9\text{Li}$  kan populeras. De heldragna linjerna visar de kinematiska kurvor som datapunkterna följer om man populerar  ${}^9\text{Li}$  i sitt grundtillstånd (markerad *g.s.*) eller i något av de tre exciterade tillstånden med lägst excitationenergi (övriga heldragna kurvor). Bortse från de streckade kurvorna i figuren.

# Lösningsskisser tentamen FUF050 Subatomär Fysik 150827

Thomas Nilsson

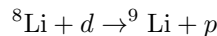
- a. För compoundkärnans excitationsenergi efter fusion med en termisk neutron (försumbar kinetisk energi) gäller:

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

där det senare ledet uttrycks i 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  $^{235}\text{U}$  saknar tröskelenergi. För fission av  $^{238}\text{U}$  krävs neutroner med minst  $6.6 - 4.8 = 1.8 \text{ MeV}$  om vi försummar rekyl i fusionsreaktionen ( $238 \gg 1$ )

- b. Excitationsenergin höjs respektive sänks med partermen  $\delta$  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.
2. Toppen vid 511 keV kommer sannolikt från annihilation av positroner, vilket tyder på ett  $\beta^+$ -sönderfall. Topparna vid 1102 och 1613 keV har energier som är 1022 respektive 511 keV lägre än toppen vid 2124 keV. Då denna energi med marginal överstiger det som krävs för parbildning (1022 keV) har vi "single escape"- och "double escape"-processer som ger topparna vid lägre energi. Kvarstår gör alltså 2124 keV och 2895 keV som bör komma från desexcitation av exciterade tillstånd i dotterkärnan. Då intensiteten av den senare övergången är mycket svagare rör det sig troligtvis inte om succesiva övergångar utan att  $\beta^+$ -sönderfallet föder flera tillstånd, t.ex. vid just 2124 keV och 2895 keV excitationsenergi som sedan övergår till grundtillståndet.
3. Se kurslitteratur.
4. Se kurslitteratur och slides, exempel på punkter som bör vara med:
  - s- och r-process, neutronflöde, jämvikt mellan  $(n, \gamma)$
  - isotoper "skyddade" från r-process av stabila isotoper
  - produktion av de tyngsta elementen och neutronrika som ej nås i s-process

- a. Vi har en situation där



Vi kan uttrycka detta med fyrvektorer:

$$\vec{P}_8 + \vec{P}_2 = \vec{P}_9 + \vec{P}_1$$

Vi bildar den invarianta massan av  ${}^9\text{Li}$  genom:

$$\begin{aligned} -m_9^2 c^2 &= \vec{P}_9^2 = (\vec{P}_8 + \vec{P}_2 - \vec{P}_1)^2 \\ &= \vec{P}_8^2 + \vec{P}_2^2 + \vec{P}_1^2 + 2(P_8 P_2 - P_8 P_1 - P_2 P_1) \\ &= -(m_8^2 + m_2^2 + m_1^2)c^2 + 2(P_8 P_2 - P_8 P_1 - P_2 P_1) \end{aligned}$$

Om den inkommande strålen rör sig i z-led, deuteronen är i vila och vi antar att protonen sprids med polära vinkeln  $\theta$  i yz-planet så kan vi teckna:

$$\begin{aligned}\vec{P}_8 &= [0, 0, p_8, E_8/c] \\ \vec{P}_2 &= [0, 0, 0, m_2c] \\ \vec{P}_1 &= [0, p_1 \sin\theta, p_1 \cos\theta, E_1/c]\end{aligned}$$

vilket ger:

$$\begin{aligned}m_9c^2 &= \sqrt{(m_8^2 + m_2^2 + m_1^2)c^4 - 2c^2(-m_2E_8 - p_8p_1\cos\theta + \frac{E_8E_1}{c^2} + m_2E_1)} \\ &= \sqrt{(m_8c^2)^2 + (m_2c^2)^2 + (m_1c^2)^2 + 2(m_2c^2E_8 + p_8p_1c^2\cos\theta - E_8E_1 - m_2c^2E_1)}\end{aligned}$$

Vi har att  $m_8c^2 = 7472.899\text{MeV}$ ,  $m_2c^2 = 1876.124\text{MeV}$ ,  $m_1c^2 = 938.783\text{MeV}$  och att  $E_8 = 3.15 \cdot 8 + m_8c^2 = 7498.1\text{MeV}$ . Vi kan beräkna:

$$p_8 = \sqrt{\frac{E_8^2}{c^2} - m_8^2c^2} = 614.22\text{MeV}/c$$

Avläs protonernas kinetiska energi i figuren vid ex.  $\theta = 30^\circ$  och beräkna totalenergi och rörelsemängd på samma sätt som för  $^8\text{Li}$ :

$N_{ex}$	$T_1$	$E_1$	$p_1$
0	13.2	952.0	158.0
1	9.3	948.1	132.5
2	6.7	945.5	112.4
3	4.7	943.5	94.1

och sätt in i uttrycket för  $m_9c^2$  och bilda  $E_{ex} = m_9c_N^2 - m_9c_0^2$ :

$N_{ex}$	$m_9c^2$ [MeV]	$E_{ex}$ [MeV]
0	8408.3	0
1	8411.1	2.7
2	8412.7	4.4
3	8413.8	5.4

Vi kan notera att det tabellerade värdet för massan är  $m_9c^2 = 8408.40\text{MeV}$  och att de lägsta exciterade tillstånden finns vid 2691 keV, 4301 keV och 5380 keV - stämmer alltså väl!

b. Vi har för  $^9\text{Li}$  att  $(Z, N) = (3, 6)$ , enligt skalmodellen hamnar den oavparade valensprotonen i  $1p_{3/2}$ , alltså  $I^\pi = 3/2^-$  för grundtillståndet. Möjliga en-partikelexcitationer för att beskriva exciterade tillstånd är t.ex.:

- valensprotonen i  $1p_{1/2}$ , ger  $I^\pi = 1/2^-$
- valensprotonen i  $1d_{5/2}$ , ger  $I^\pi = 5/2^+$
- excitation av ena neutronen från  $1p_{3/2}$  till  $1p_{1/2}$  med protonen i  $1p_{3/2}$ , ger  $I^\pi = 1/2^-, 3/2^-, 5/2^-, 7/2^-$

c. Då  $^8\text{Li}$  har en halveringstid på 0.84 s kan man inte tillverka ett strålmål av isotopen.

6. Se räkneövningsanteckningar