Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

Tid:	2022-08-25 14:00 - 18:00
Tillåtna 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. Motivera dina lösningar väl.
Examinator:	Andreas Ekström
Frågor:	Andreas Heinz (besök 15:00+17:00) (telefon: 0709-934393)
Rättningsgranskning:	Tid och plats annonseras på Canvas.

Notera att tentan innehåller 6 stycken uppgifter och att figurerna ligger sist. Totalt 3 stycken sidor.

1. År 1964, vid Brookhaven National Laboratory, observerades för första gången Ω^- baryonen (figur 1). Den skapades i reaktionen $K^- + p^+ \to \Omega^- + K^+ + K^0$. Använd följande kvarkinnehåll för dessa hadroner: $K^- = \bar{u}s$, $p^+ = uud$, $\Omega^- = sss$, $K^+ = \bar{s}u$, $K^0 = d\bar{s}$.

   a. Är baryontal och kvarktal (för alla smaker) bevarade? Vilken växelverkan är ansvarig för reaktionsprocessen? Rita ett Feynmandigram på kvarknivå som beskriver processen. (4 p)

   b. Om protonen befinner sig i vila i labbsystemet, vilken kinetisk energi, i labbsystemet, behöver den inkommande kaonen minst ha för att reaktionen skall kunna ske? (6 p)

2. Vilka kvanttal L är tillåtna för det (relativa) banrörelsemängdsmoment mellan en proton och en neutron som är bundna till en deuteron? Deuteronens grundtillstånd karaktäriseras av $J^\Pi = 1^+$. Motivera ditt svar! (10 p)

3. Utnyttja skalmodellen och dom kända bindningenergierna för ^{15}O (111.96 MeV), ^{16}O (127.62 MeV), och ^{17}O (131.76 MeV) för att uppskatta energiskillnaden mellan neutron-nivåerna $1p_{1/2}$ och $1d_{5/2}$ för atomkärnor med masstalet $A \approx 16$. (15 p)

4. a. Visa, med hjälp av dimensionsanalys hur man konverterar söndersfallsvidden Γ_μ för en muon
$$\Gamma_\mu = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{192\pi^3}$$
från ett uttryck angivet med naturliga enheter till ett uttryck angivet i fysikaliska enheter, dvs där man ej längre antar $\hbar = c = 1$. Sönderfallsvidden är relaterad till medellivslängden τ via $\Gamma = \hbar/\tau$. (6 p.)

   b. Beräkna medellivslängden för en muon enligt uttrycket du härledde i (a)-uppgiften. (4 p.)

5. En välfokuserad stråle bestående av alfakärnor (^{4}He), med kinetisk energi $T = 0.1$ GeV per alfakärna, Rutherfordsprids mot ett stillastående och $d = 1$ mm tjockt strålmål bestående av guld (densitet $\rho = 19.3$ g/cm^3, molmassa M =197 g/mol). Mot strålmålet inkommer $\Phi = 10^9$ alfakärnor/s. En partikeldetektor är placerad med en vinkel $\theta = 30°$ mot den inkommande strålens riktning och $L = 1$m från strålmålet, se skiss i figur 2. Detektorn har

100% detektionseffektivitet samt en total aktiv yta motsvarande 1 cm^2 sett från strålmålet. Uppskatta hur många alfakärnor som detekteras per sekund. Motivera ditt svar tydligt. (Du kan försumma energiförluster i strålmålet och anta ett konstant spridningstvärsnitt över detektorns rymdvinkel) (15 p)

6. Den semiempiriska formeln för atomära massor $M(Z, A)$ som funktion av protontal Z och masstal $A = N + Z$, där N anger neutrontal, ges av

$$M(Z, A) = Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n - a_v A + a_s A^{2/3} + a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_a \frac{(Z - A/2)^2}{A} + a_p A^{-1/2}.$$

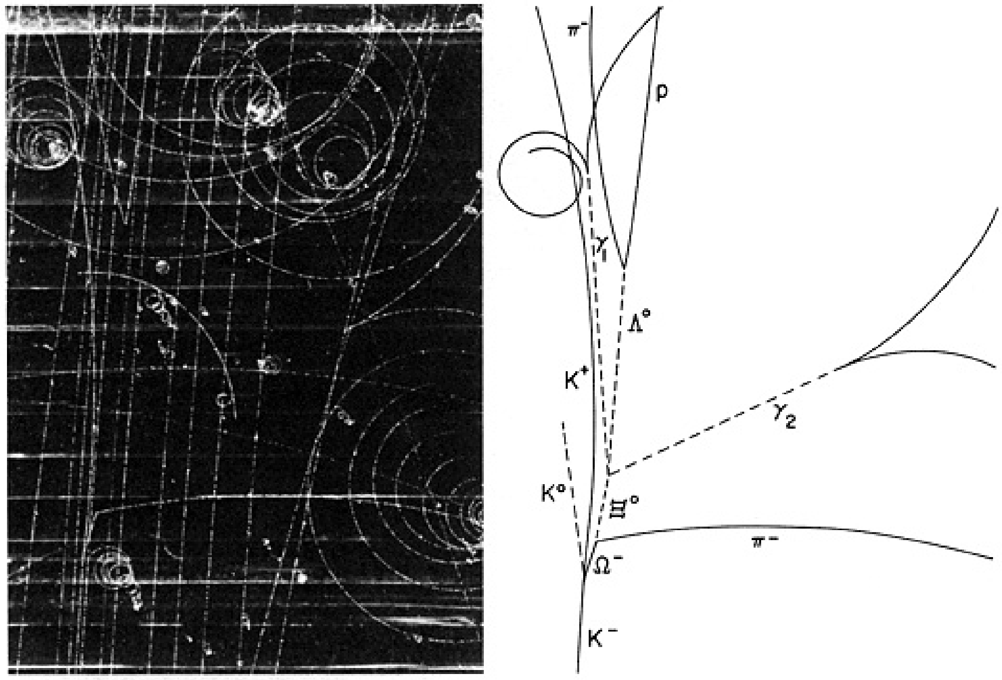
a. Förklara och motivera den fysikaliska innebörden av alla ingående termer. (5 p)

b. Koefficienterna i den semiempiriska massformeln kan extraheras från en statistisk anpassning till experimentellt uppmätta bindningsenergier. En sådan anpassning ges i kursboken:

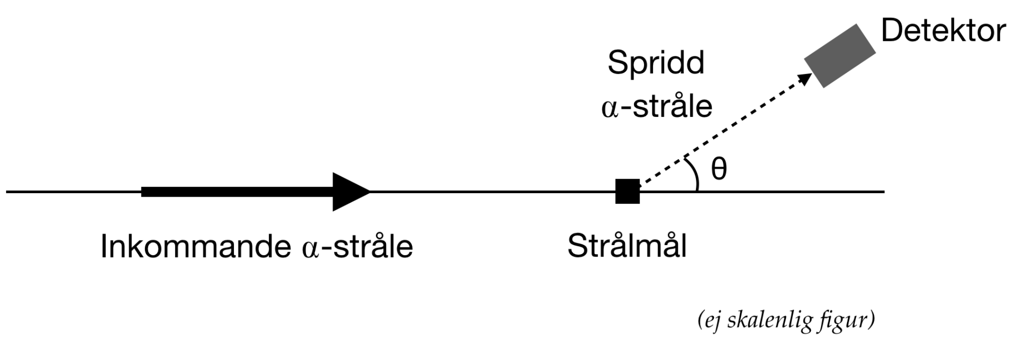
$$a_v = 15.56, \quad a_s = 17.23, \quad a_c = 0.697, \quad a_a = 93.14, \quad a_p = \delta \cdot 12.$$

Alla koefficienter har enheten MeV/c^2, och δ ges av $+1(-1)$ om Z och N båda är udda(jämna), och $\delta = 0$ om A är udda. Till anpassningen användes $m_p = 938.272$ MeV/c^2, $m_n = 939.565$ MeV/c^2, och $m_e = 0.511$ MeV/c^2. Använd semiempiriska massformeln för att bestämma vilken $A = 64$ isobar med jämnt antal protoner som är mest stabil? (10 p)

Lycka Till!



Figur 1: I fotografiet till vänster syns spåren från elektriskt laddade partiklar i en bubbelkammare. Figuren till höger förtydligar relevanta spår. Notera hur ett pålagda magnetfält böjer negativt laddade partiklar till höger och positivt laddade partiklar till vänster. De streckade linjerna visar var oladdade partiklar har passerat (utan att lämna några spår i bubbelkammaren). I den aktuella bilden kommer en K^- in i bubbelkammaren från bildens nederkant och växelverkar med en proton (bubbelkammaren består av flytande väte) och skapar en K^+, en K^0 samt en Ω^-. Därefter följer ett antal sönderfall och parbildningar.



Figur 2: En inkommande stråle med α-partiklar sprids mot ett strålmål bestående av guld. En detektor är placerad $\theta = 30°$ grader mot strålaxeln.

Lösningsskiss Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik 2022-08-25

Naturliga enheter ($\hbar = c = 1$) om inget annat anges.

1. a. Baryontal och all kvarktal bevarade smakvis. Sannolikt stark växelverkan. Feynmandiagram där t.ex. $u\bar{u}$ annihilerar för att parbilda $s\bar{s}$ via en gluon g, samt att ett par $s\bar{s}$ bildas från gluon utsänd från någon annan kvark, t.ex. en d-kvark i protonen

   b. Beräkning med 4-rörelsemängd och massor $m_{K^-} = 493.7$ MeV, $m_p = 938.3$ MeV, $m_\Omega^- = 1972.5$ MeV, $m_{K^+} = 493.7$ MeV, $m_{K^0} = 497.6$ MeV, ger $E_{K^-} = 3182.2$ MeV, vilket medför en kinetisk (tröskel)energi $T_{K^-} = E_{K^-} - m_{K^-} = 2688.5$ MeV.

2. Nukleonerna har spinkvanttal $s = 1/2$, vilket ger möjliga totala spin $S = 0, 1$. Möjliga $L = 0, 1, 2$ ty dessa kan koppla till $S = 0, 1$ och ge totalt $J = 1$. Eftersom total paritet ges av $(-)^L$ och denna måste vara positiv så är endast $L = 0, 2$ tillåtna.

3. ^{17}O har en valensneutron i $1d_{5/2}$, ^{15}O har en valensneutron i $1p_{1/2}$, och ^{16}O har helt fyllda skal. Neutron-separationsenergin ges av $S_n = BE(N, Z) - BE(N - 1, Z)$. Vi får $S_n = 4,14$ MeV och $S_n = 15,66$ MeV för ^{17}O och ^{16}O. Skillnaden mellan dessa två separationsenergier ger energiskillnaden 11.52 MeV mellan neutron-nivåerna $1p_{1/2}$ och $1d_{5/2}$ för atomkärnor med masstalet $A \approx 16$.

4. a. Tänk på att dimensionen för G_F är $E^{-2}(\hbar c)^3$. Ansätt

$$[\Gamma_\mu] = \frac{[G_F]^2[m_\mu]^5[\hbar]^x[c]^y}{[192\pi^3]}$$

   vilket löses av $x = -6$ och $y = 4$.

   b. Insättning av $\hbar = 6.58212{\cdot}10^{-25}$ GeV s, $G_F/(\hbar c)^3 = 1.16638{\cdot}10^{-5}$ GeV^{-2}, och m_μ =105.65 MeV/c^2 ger $\tau \approx 2.19 \cdot 10^{-6}$ s.

5. Utifrån strålmålets densitet (ρ), tjocklek (d), och molmassa (M) samt vetskap om antalet inkommande alfapartiklar per sekund (Φ), kan vi beräkna flödet av inkommande partiklar mot strålmålet

$$L = \Phi \frac{\rho N_A}{M} d \ = 5899726\,\mathrm{s}^{-1}\mathrm{fm}^{-2},$$

   där $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ betecknar Avogradros konstant.

   Rutherfords uttryck för spridningstvärsnittet ger

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \left(\frac{Z_b Z_t \alpha \hbar c}{4T\sin^2(\theta/2)}\right)^2 = 0.72\,\mathrm{b/sr}.$$

   Detektorn upptar en väldigt liten rymdvinkel $\Omega_{\text{detektor}} = A/r^2 = 10^{-4}$ sr över vilken spridningstvärsnittet inte varierar särskilt kraftigt vilket i sin tur medför att vi kan uppskatta det integrerade tvärsnittet som

$$\sigma = \int_{\text{detektor}} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega \approx \frac{d\sigma}{d\Omega} \cdot \Omega_{\text{detektor}} = 0.72 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{b}.$$

   Antalet partiklar som sprids in i detektorn ges av $L \cdot \sigma \approx 425\,\mathrm{s}^{-1}$.

6. a. se kursbok.
   b. Beteckna bindingsenergi med B, och behandla Z och A som kontinuerliga variabler

$$\frac{\partial B(Z,A)}{\partial Z} = 0$$

har som nollställe

$$Z_0 = \frac{A}{2\left(1 + \frac{a_c}{a_a} A^{2/3}\right)}$$

vilket för $A = 64$ get $Z_0 = 28.57$, rundat till närmsta jämna tal är $Z = 28$.