

Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

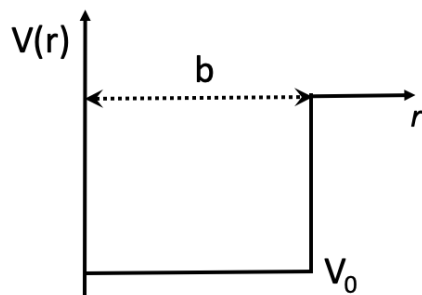
Tid:	2021-10-08 14:00 - 18:00
Tillåtna hjälpmedel:	Physics Handbook, Beta, Chalmersgodkänd räknare
Poäng:	Totalt 75 poäng, för betyg 3 krävs 40 poäng, för betyg 4 krävs 60 poäng, för betyg 5 krävs 80 poäng. Ev. poäng från inlämningar inkluderas.
Examinator:	Andreas Ekström tel. 0705-089198 (besök 16:00)
Rättningsgranskning:	via Canvas.

1. Varför kan en fri proton ej β^+ -sönderfalla till en neutron? Varför kan en fri proton ej sönderfalla på något annat sätt enligt Standardmodellen? Varför ser vi ändå β^+ -sönderfallande atomkärnor? (10 p.)
2. Reaktionen $p + n \rightarrow p + n$, dvs elastisk spridning av protoner mot neutroner, har i årtionden använts för att studera den starka kraften mellan nukleoner.
 - a. Vilken är den maximala kinetiska energin, i labbsystemet, som den inkommande protonen kan ha för att vi skall vara säkra på att det inte kan bildas en verklig pion π^0 i spridningsprocessen. Antag att neutronen befinner sig i vila i labbsystemet. (6 p)
 - b. Spridningsexperimentet $p + n \rightarrow p + n$ är egentligen omöjligt att genomföra med fria neutroner ty dessa är instabila och sönderfaller via $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$ med en halveringstid på ungefär 10 minuter. Vilken växelverkan är ansvarig för sönderfallet? Motivera ditt svar. Rita även ett Feynmandiagram på kvarknivå som beskriver sönderfallsprocessen. (4 p)
3. En partikel X sönderfaller i vila via den svaga kraften enligt $X \rightarrow \pi^0 + \mu^+ + \nu_\mu$. Avgör X -partikelns
 - a. elektriska laddning
 - b. baryontal
 - c. leptontal
 - d. spin
 - e. minsta massa i MeV/c² (10 p)
4. a. Visa, med hjälp av dimensionsanalys hur man konverterar sönderfallsvidden 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. 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)
 6. En sfärisk lådpotential $V(r)$ i 3 rumsdimensioner är en väldigt enkel modell av den starka kraften som binder en proton och en neutron till en deuteron. Antag att lådpotentialen har en utsträckning $b = 1.9 \times 10^{-15}$ m, och ett djup $V_0 = 40$ MeV. Det vill säga, att potentialen ges av $V(r) = -V_0$ för $0 \leq r \leq b$ och $V(r) = 0$ för $r > b$, där r motsvarar avståndet mellan protonen och neutronen. Antag vidare att protonen och neutronen har ett relativt banrörelsemängdsmoment motsvarande ett kvanttal $\ell = 0$. Ignorera spinn.



Figur 1: Skiss av lådpotentialen som vi kan använda som modell för den starka kraften mellan en proton och en neutron.

Använd även att $m_n = m_p = M = 940 \text{ MeV}/c^2$, samt att $kb = \frac{\pi}{2}$, där $k = \sqrt{\frac{M(V_0 - E_d)}{\hbar^2}}$ och $E_d > 0$ betecknar deuterons bindningsenergi i den här modellen.

Notera att den radiella delen av Laplacianen ∇^2 uttryckt i sfäriskt polära koordinater ges av

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d}{dr} \right).$$

Lös Schrödingerekvationen för den här modellen, och beräkna E_d samt hur stor sannolikheten är att protonen och neutronen befinner sig på ett inbördes avstånd kortare än b ?

(tips: utnyttja en omskrivning av vågfunktionen $\Psi(r) = u(r)/r$, där $u(r) \rightarrow 0$ då $r \rightarrow 0$ samt $u(r) \rightarrow 0$ då $r \rightarrow \infty$.) (20 p)

Lösningsskiss Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik

2021-10-08

Se kursbok och föreläsningssanteckningar för detaljer.

1. Sönderfallet har negativt Q -värde.

En proton är den lättaste baryonen i Standardmodellen, och eftersom baryontalet är bevarat i vedertagna teorier, kan sönderfallet ej ske på annat vis heller.

Inuti en atomkärna är situationen annorlunda, ty protonen växelverkar med övriga nukleoner. Sönderfallet kan ske så länge Q -värdet är positivt.

2. a. Relativistisk beräkning ger maximal kinetisk energi för en inkommande proton motsv. 280 MeV
b. Se kursbok, t.ex. Fig. 6.7

3. a. laddning +1

b. baryontal 0

c. leptontal 0

d. spin 0,1

e. $m_X \geq (m_\pi + m_\mu + m_\nu) \approx (135 + 106 + 0) \text{ MeV}/c^2 = 241 \text{ MeV}/c^2$

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

5. ^{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 $S_n = 4, 14 \text{ MeV}$ och $S_n = 15, 66 \text{ MeV}$ 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 $A \approx 16$.

6. Se kompendium, räkneövning 2, eller bok i kvantmekanik för lösningar till Schrödingerekvationen för en attraktiv lådpotential. Specifika resultat för uppgiften är $E_d \approx -11.7 \text{ MeV}$, samt att slh för $r_{np} < b$ är ≈ 0.5 .