

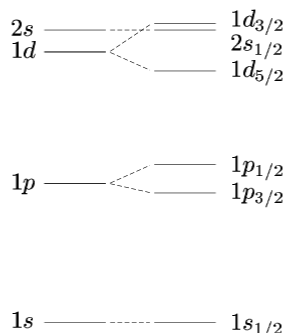
Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik, F3

Skrivtid:	2021-08-26 14:00 - 18:00
Tillåtna hjälpmedel:	Alla hjälpmedel är tillåtna. <i>Det är dock inte tillåtet att samarbeta eller ta hjälp av andra personer.</i>
Inlämning:	Lämna in dina lösningar via Canvas. Se instruktion nedan.
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. Finns tillgänglig för frågor via Zoom kl 16.00.
Rättningsgranskning:	Lösningsskiss, granskade lösningsförslag, och tentaresultat publiceras på Canvas. Kontakta mig via epost vid frågor kring rättningen.

Instruktion för inlämning via Canvas:

- Skrivtiden avslutas kl 18.00, och inlämningen via Canvas stänger automatiskt kl 18.30. Scanna/fotografera dina lösningar och ladda därefter upp till Canvas Assignments: Omtentamen Aug 2021.
- **Om du har beviljats förlängd skrivtid**, då har du 6 timmar på dig att genomföra tentamen, och därefter 45 minuter på dig att ladda upp dina lösningar till Canvas Assignments: Omtentamen Aug 2021 [Förlängd skrivtid]. Inlämningen stänger automatiskt kl 20.45.
- Lösningar till tentamensproblem skall skrivas på papper, som vid en vanlig salstentamen. Det är tillåtet att använda en iPad+pencil eller liknande om du har sådan utrustning.
- **Märk varje papper tydligt med ditt namn, tentamensuppgiftens nummer och sidnummer.**
- Lösningarna förväntas vara välstrukturerade, välmotiverade, och begripligt presenterade. Skriv och rita tydligt.
- Tänk på att ha god belysning när du scannar eller fotograferar dina lösningar. Använd gärna en dokumentscannings-app, t.ex. CamScanner, Genius Scan, OfficeLens, Adobe Scan
- Namnge dina bildfiler enligt Problem_YY_sida_XX.*
Exempel: Problem_01_sida_02.jpg eller Problem_01_sida_02.pdf
- Om du vill kan du sammanställa bilder som tillhör samma lösning i ett dokument (t ex Word eller PDF) och namnge filen Problem_YY. Exempel: Problem_03.docx eller Problem_03.pdf.
- Ladda ej upp lösningar som komprimerade filer, t.ex. av typen, *.zip, *.tgz
- Om du använder Zoom på mobiltelefon och dessutom behöver scanna lösningar så kommer Zoom att bryta videon. Därför måste du skriva "Scannar lösningar" i Zoom-chatten så att tentavakten vet vad som försiggår.

1. Två frågor om atomkärnors form och densitet.
 - a. Utnyttja resultat från klassisk elektrodynamik för att visa att en atomkärna med ett elektriskt kvadrupolmoment $Q = 0$ b troligtvis har en sfärisk laddningsfördelning. (5 p.)
 - b. Gör rimliga fysikaliska antaganden och uppskatta en atomkärnas massdensitet. Svara i g/cm^3 . (5 p.)
2. Rita första ordningens Feynmandiagram för de elektromagnetiska reaktionerna nedan. Glöm inte att rita ut vald tidsriktning och att märka ut alla partikeltyper. (10 p.)
 - a. $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$
 - b. $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
 - c. $e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$
3. Vi studerar sönderfallet i ett från början (dvs vid $t = 0$) rent prov av ^{79}Sr som sönderfaller i en kedja $^{79}\text{Sr}(t_{1/2} = 2.25\text{m}) \rightarrow ^{79}\text{Rb}(t_{1/2} = 22.9\text{m}) \rightarrow ^{79}\text{Kr}(t_{1/2} = 35\text{h}) \rightarrow ^{79}\text{Br}$ (stabil). Respektive halveringstid står inom parenteser. Efter hur lång tid har vi maximalt med ^{79}Rb ? (10 p.)
4. Vid acceleratoren LHC på CERN studerar man naturens minsta beståndsdelar med hjälp av motriktade proton-proton kollisioner med total energi $E_{\text{tot}} = 13 \text{ TeV}$. Det vill säga att två kolliderande protoner med vardera $E_{p,1} = E_{p,2} = 6.5 \text{ TeV}$ energi har exakt motriktade rörelsemängder i LAB-systemet.
 - a. Om vi istället antar att kollisionen sker i ett s.k. fixed-target experiment där en av protonerna är stillastående i LAB-systemet, hur mycket energi E_p , i LAB-systemet, måste den andra protonen ha för att vi ska åstadkomma en kollision med total energi $E_{\text{tot}} = 13 \text{ TeV}$. Jämför värdena för E_p och $E_{p,1}$ och diskutera resultatet. (10 p.)
 - b. Med vilken hastighet måste en bålgeting flyga för att uppnå samma kinetiska energi som den inkommande protonen i deluppgift (a)? En bålgeting väger ungefär 0.5g . Ange ditt svar i km/h . (10 p.)
5. En elektron med rörelsemängd $p = 720 \text{ MeV}/c$ sprids elastiskt mot ett strålmål bestående av ^{12}C . Det uppmätta tvärsnittet vid 5° spridningsvinkel är 80 mb/sr . Använd detta för att beräkna kärnradien R för ^{12}C . Du kan anta att atomkärnorna i strålmålet är sfäriskt symmetriska samt att formfaktorn $F(\mathbf{q}^2) = 1 - \frac{\mathbf{q}^2}{6\hbar^2} \langle r^2 \rangle + \dots$ är reell och positiv. (15 p.)
6. I den här uppgiften skall du analysera isotopen ^5He med hjälp av skalmodellen. Antag att energinivåerna i skalmodellen är ordnade enligt figur 1. Motivera alla svar.



Figur 1: Energinivåer i skalmodellen. Den högra delen visar energiuppdelningen på grund av spinn-ban-kopplingen i den starka kraften. Kvanttalen för varje enpartikeltillstånd i skalmodellen är givna på formen nl_j med spektroskopisk notation s, p, d, f, g, \dots för bankvanttalet $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$, det kopplade rörelsemängdsmomentet ges av $\mathbf{j} = \mathbf{l} + \mathbf{s}$, där s betecknar nukleonens spinnkvanttal, och $n = 1, 2, 3, \dots$ är ett nodkvanttal.

- a. Vilken skalmodellskonfiguration har grundtillståndet? (2 p.)
- b. Ange grundtillståndets paritet Π och totalt kopplat spin J enligt skalmodellen. (3 p.)
- c. Ange den mest sannolika skalmodellskonfigurationen för det första exciterade tillståndet samt totalt J och Π . (5 p.)

Lycka Till!

Lösningsskiss Tentamen i FUF050 Subatomär Fysik 2021-08-26

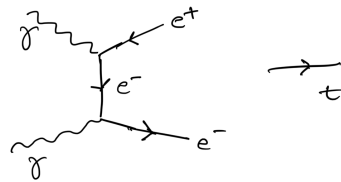
Andreas Ekström

- a. Vi har att $Q = \frac{2}{5}Z(a^2 - b^2)$ b för en ellipsoid med halvaxlar a och b vilket för $a = b$ ger $Q = 0$ b i lämpliga enheter. (5 p.)
b. Vi antar att kärnans bindningsenergi är försumbar ($B/A \sim 8$ MeV), att proton och neutron-massorna är identiska ($m_p \approx m_n$), och att kärnradien (matter radius) ges av $R \approx r_0 A^{1/3}$ fm där $r_0 = 1.2$ fm. Detta ger oss

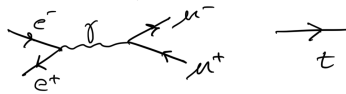
$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{A \cdot m_p}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A} \approx \frac{3 \cdot 1.67 \cdot 10^{-24} \text{g}}{4\pi(1.2 \cdot 10^{-13} \text{cm})^3} \approx 2.3 \cdot 10^{14} \text{g/cm}^3$$

- Se figur 1 nedan.
- Vi har en sönderfallskedja $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow \dots$ med $N_A(t=0) = 1$ och $N_B(t=0) = N_C(t=0) = \dots = 0$ och söker tiden t då vi har maximalt N_B . Enligt Martin har vi $N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(0) [\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t)]$ och finner att max för $N_B(t)$ ges av $t = \frac{\log\left(\frac{\lambda_B}{\lambda_A}\right)}{\lambda_B - \lambda_A}$. Vilket med data i uppgiften medför $t = 501$ s.
- a. Vid LHC har vi från fyrrörelsemängdens bevarande $E_{\text{tot}}^2 = (E_{p,1} + E_{p,2})^2$. För fixed-target experiment har vi $E_{\text{tot}}^2 = 2m_p^2 + 2E_p m_p$ vilket medför $E_p = \frac{E_{\text{tot}}^2 - 2m_p^2}{2m_p} \approx 9 \cdot 10^{16}$ eV. Det krävs mer energi vid ett fixed-target experiment ty vi måste även accelerera masscentrum för de två kolliderande protonerna.
b. Vi har en kinetisk energi $T = E_p = 9 \cdot 10^{16}$ eV. Vi kan med god marginal använda klassisk kinematik när vi betraktar bälgetingar vid dessa energier. Vi får $v_{\text{bälgeting}} = \sqrt{\frac{2T}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{16} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{J}}{0.5 \cdot 10^{-3} \text{kg}}} = 27$ km/h. (Vilket är ungefär lika fort som maxhastigheten för en bälgeting).
- Ultrarelativistisk elektron ty $p \gg m_e$. Vi har $\beta \approx 1$ och $E \approx pc$. Detta ger ett Mott-tvårsnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{Z^2 \alpha^2 (\hbar c)^2 \cos^2(\theta/2)}{4(pc)^2 \sin^4(\theta/2)} = 99.3$ mb/sr med data från uppgiften. Vi noterar att LAB och CM system näst intill överlappar ty elektronen väger väldigt lite jämfört strålmålet.

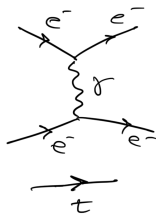
a) $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$



b) $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$



c) $e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$



Figur 1: Feynmandiagram uppgift 2

Vi har

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{expt}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} |F(\mathbf{q})|^2$$

Vilket ger $|F(\mathbf{q}^2)|^2 = 80/99 \approx 0.81$. Enligt information i uppgiften kan vi anta att $F(\mathbf{q}^2)$ reell och positiv, dvs $F(\mathbf{q}^2) = 0.9$. Vi har också att $q = 2p \sin(\theta/2) = 62.8 \text{ MeV}/c$ vilket med första ordningens Taylorexansion av formfaktorn gör det möjligt att erhålla ett uttryck för radien $\langle r^2 \rangle \approx (1 - 0.9) \frac{6 \cdot 197.3^2}{62.8^2} \text{ fm}^2$, dvs $\langle r^2 \rangle \approx 5.9 \text{ fm}^2$.

Kärnradien ges av $R = \sqrt{\frac{5}{3} \langle r^2 \rangle} \approx 3.1 \text{ fm}$.

6. a. $\pi[(1s_{1/2})^2] \nu[(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})]$
- b. Fyllda s -skal och valensneutron i $1p_{3/2}$ enpartikel $\ell = 1$ vilket medför $\Pi = (-1)^1 = -$ och totalt $J = 3/2$
- c. Sannolikt valensneutron in $1p_{1/2}$ och på samma sätt som i (b) $J = 1/2$ och $\Pi = -$.