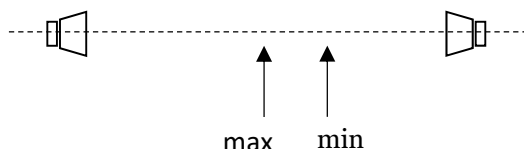


Resultatet på uppgift 1-6 avgör om tentamen blir godkänd.

1. En vattenvåg infaller från djupt till grunt vatten. I det djupa vattnet är vågfarten 1,4 m/s och våglängden 1,2 m. I det grunda vattnet är våghastigheten 0,78 m/s. Beräkna vattenvågornas våglängd och frekvens i det grunda vattnet. 2 p
2. En partikel utför en harmonisk svängningsrörelse med amplituden 0,10 m och svängningstiden 0,80 s. Hur stor elongation har partikeln 0,12 s efter att den passerat sitt jämviktsläge med positiv hastighet? 2 p
3. I stjärnornas inre förekommer bland annat fusionsprocessen ${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} + e^+ + \nu$. Beräkna hur mycket energi som frigörs vid denna reaktion. Svara med två värdesiffror. 2 p
4. Två högtalare är uppställda på 2,5 m avstånd från varandra. Båda högtalarna sänder ut ljud med frekvensen 725 Hz. Högtalarna svänger i fas så att ljudmaximum råder mitt mellan högtalarna. Hur långt från mittpunkten ligger det första ljudminimet på en linje mellan högtalarna? Ljudfarten är 340 m/s. 2 p

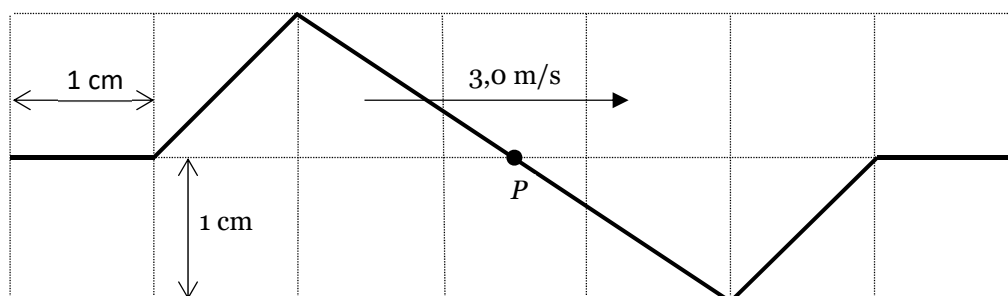


5. I en fotocell bestrålar man en yta av metallen titan med ultraviolett ljus av våglängden 175 nm. Hur stor bromsspänning krävs för att helt stoppa de från metallen utslagna elektronerna? Utträdesarbetet för titan är 4,33 eV. 2 p
6. Hur stor de Broglie-våglängd har neutroner med rörelseenergin 228,7 eV? 2 p

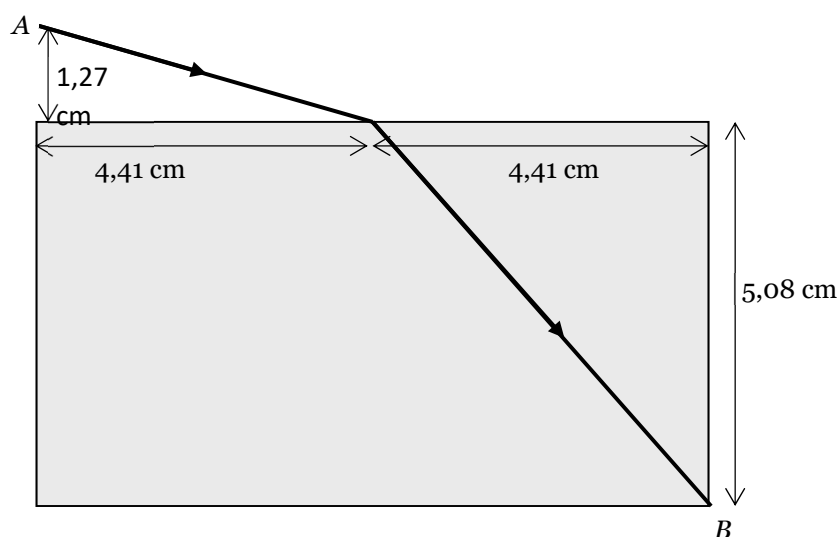
Resultatet på uppgift 7-12 avgör betyget på tentamen.

7. Ett metallklot med radien 2,0 cm upphettas till 650°C. Man vill bibehålla denna temperatur hos klotet under 15 minuter. Hur stor energi måste tillföras? Klotet strålar ut energi som en svart kropp. Instrålningen från omgivningen försummas. 2 p

8. Väteatomer i grundtillståndet träffas av elektroner med rörelseenergin 12,5 eV. Vilka våglängder finns i den strålning som atomerna då utsänder? 2 p
9. En vågpuls rör sig på en sträng med farten 3,0 m/s enligt figuren. Beräkna strängens hastighet i punkten P vid den utritade tidpunkten. Ange också hastighetens riktning. 2 p



10. Ett radioaktivt preparat med polonium-210 ska användas som energikälla i en satellit. Hur stor massa av polonium-210 krävs för att producera värmeeffekten 5,0 W? (All energi i den utsända strålningen antas bidra till värmeutvecklingen.) 2 p
11. En ljusstråle passerar först genom luft och kommer sedan in i ett genomskinligt material enligt figuren. Beräkna den tid det tar för ljusstrålen att gå från A till B . 3 p



En uppgift till på nästa sida!

12. En meson med viloenergin 135 MeV och hastigheten 215 Mm/s sönderfaller till två fotoner. Den ena fotonen sänds ut i samma riktning som mesonen hade före sönderfallet. Den andra fotonen sänds ut i rakt motsatt riktning. Hur stora energier får dessa fotoner?

3 p

Lösningsförslag

1. Frekvensen är den samma i det grunda som i det djupa vattnet. Det allmänna sambandet

$$v = f\lambda \text{ ger } f = \frac{v_{\text{djupt}}}{\lambda_{\text{djupt}}} = \frac{1,4}{1,2} \text{ Hz} \approx 1,167 \text{ Hz. Våglängden i det grunda vattnet ges av}$$

$$\lambda_{\text{grund}} = \frac{v_{\text{grund}}}{f} \approx \frac{0,78}{1,167} \text{ m} \approx 0,67 \text{ m.}$$

Svar: Frekvens 1,2 Hz, våglängd 0,67 m.

2. Elongationen ges av $y = A \sin \omega t$, där $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Jämviktsläget $y = 0$ passeras vid $t = 0$.

$$0,12 \text{ s senare får vi elongationen } y = 0,10 \sin\left(\frac{2\pi}{0,80} \cdot 0,12\right) \text{ m} \approx 0,081 \text{ m. } \underline{\text{Svar:}} 8,1 \text{ cm.}$$

3. Massa före reaktionen $m_{\text{före}} = 2M_{\text{H}} - 2m_e$. Massa efter reaktionen

$$m_{\text{efter}} = M_{\text{He}} - m_e + m_e + 0. \text{ Massminskning } \Delta m = M_{\text{före}} - M_{\text{efter}} = 2M_{\text{H}} - M_{\text{He}} - 2m_e = (2 \cdot 1,007825 - 2,014102 - 2 \cdot 0,00054858) \text{ u} = 0,00045084 \text{ u (de sista decimalerna osäkra).}$$

$$\text{Frigjord energi } E_f = c\Delta m \text{ ges direkt av omräkningsfaktorn: } E_f = 931,494 \cdot 0,00045084 \text{ MeV} \approx 0,41995 \text{ MeV.}$$

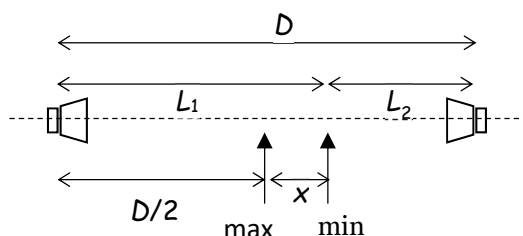
Svar: 0,42 MeV.

4. Våglängd $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{725} \text{ m} \approx 0,4690 \text{ m}$. Den sökta sträckan kallas x .

$$\text{Vid första min gäller } L_1 - L_2 = \frac{\lambda}{2}. \text{ Ur figuren framgår att } L_1 = \frac{D}{2} + x \text{ och } L_2 = \frac{D}{2} - x.$$

$$\text{Villkoret blir alltså att } 2x = \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow x = \frac{\lambda}{4} \approx 0,1172 \text{ m.}$$

Svar: 12 cm.



5. Fotoelektriska lagen $hf = E_u + E_k$ ger elektronernas maximala rörelseenergi

$$E_k = hf - E_u = \frac{hc}{\lambda} - E_u. \text{ Här kan det vara lämpligt att räkna om fotonenergin till eV:}$$

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6261 \cdot 10^{-34} \cdot 299792458}{175 \cdot 10^{-9}} \text{ J} \approx 1,1351 \cdot 10^{-18} \text{ J} \approx 7,0848 \text{ eV.}$$

Maximala rörelseenergin blir $(7,0848 - 4,33) \text{ eV} \approx 2,75 \text{ eV}$. Detta motsvarar den energi en elektron får om den accelereras av spänningen $2,75 \text{ V}$. För att stoppa elektronerna krävs därmed en bromsspänning på $2,75 \text{ V}$.

Svar: $2,75 \text{ V}$.

6. Enligt icke-relativistisk beräkning ges neutronernas fart av

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 228,7 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19}}{1,6749 \cdot 10^{-27}}} \text{ m/s} \approx 209175 \text{ m/s. Detta är långt}$$

under 1 % av ljushastigheten, varför icke-relativistisk beräkning är berättigad.

$$\text{de Broglie-våglängd } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6,6261 \cdot 10^{-34}}{1,6749 \cdot 10^{-27} \cdot 209175} \text{ m} \approx 1,891 \cdot 10^{-12} \text{ m.}$$

Svar: $1,891 \text{ pm}$.

7. För att bibehålla klotets temperatur måste man tillföra lika stor energi som den energi som lämnar klotet via strålning. Stefan-Boltzmanns lag ger emittansen:

$$M_e = \sigma \cdot T^4 = 5,6705 \cdot 10^{-8} \cdot (650 + 273,15)^4 \text{ W/m}^2 = 41,18 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

Den utstrålade effekten:

$$P = M_e \cdot A = M_e \cdot 4\pi \cdot r^2 = 41,2 \cdot 10^3 \cdot 4\pi \cdot 0,020^2 \text{ W} = 207,0 \text{ W}$$

Under 15 minuter utstrålas energin

$$E = P \cdot t = 207,0 \cdot 15 \cdot 60 \text{ J} = 1,863 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Det måste således tillföras $0,19 \text{ MJ}$.

Svar: $0,19 \text{ MJ}$

8. Elektroner med rörelseenergin E_k kan orsaka excitationer om excitationsenergin $\Delta E \leq E_k$. Energinivåerna i väte ges av $E = -\frac{E_R}{n^2}$, där $E_R = 13,6$ eV. Detta ger

$$\Delta E_{1 \rightarrow 2} = \left(-\frac{13,6}{2^2} + \frac{13,6}{1^1} \right) \text{ eV} = 10,2 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{1 \rightarrow 3} = \left(-\frac{13,6}{3^2} + \frac{13,6}{1^2} \right) \text{ eV} \approx 12,089 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{1 \rightarrow 4} = \left(-\frac{13,6}{4^2} + \frac{13,6}{1^2} \right) \text{ eV} = 12,75 \text{ eV osv. Som synes räcker elektronernas}$$

rörelseenergi bara till excitation upp till tillståndet $n = 3$.

Ljus utsänds när de exciterade tillstånden övergår till lägre tillstånd. Om de exciterade tillstånden motsvarar huvudkvanttalerna $n = 2$ och 3 , blir de möjliga övergångarna till lägre tillstånd $2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$ och $3 \rightarrow 1$. Fotonenergierna blir de samma som motsvarande

excitationsenergies. Återstår att beräkna $\Delta E_{2 \rightarrow 3} = \left(-\frac{13,6}{3^2} + \frac{13,6}{2^2} \right) \text{ eV} \approx 1,889 \text{ eV}$.

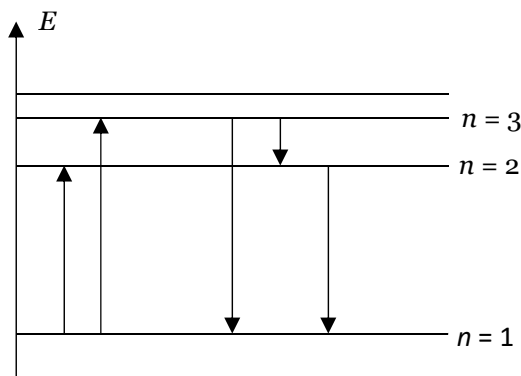
Våglängderna vid övergångarna ges av $\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{\Delta E}$. För de tre möjliga deexcitationerna blir våglängderna

$$\lambda_{21} = \frac{hc}{\Delta E_{1 \rightarrow 2}} = \frac{6,6261 \cdot 10^{-34} \cdot 299792458}{10,2 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19}} \text{ m} \approx 1,2155 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_{31} = \frac{hc}{\Delta E_{1 \rightarrow 3}} = \frac{6,6261 \cdot 10^{-34} \cdot 299792458}{12,089 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19}} \text{ m} \approx 1,0256 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

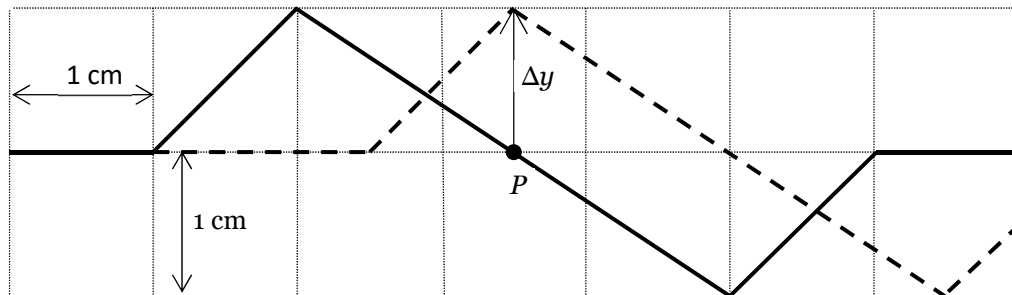
$$\lambda_{32} = \frac{hc}{\Delta E_{2 \rightarrow 3}} = \frac{6,6261 \cdot 10^{-34} \cdot 299792458}{1,8889 \cdot 1,60218 \cdot 10^{-19}} \text{ m} \approx 6,5639 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Svar: 103 nm, 122 nm och 656 nm.



9. Punkten P kommer att röra sig med konstant fart tills den når av ett hörn av pulsen. Detta händer då pulsen rört sig 1,5 cm, vilket motsvarar tiden $\Delta t = 0,015/3,0 \text{ s} = 0,005 \text{ s}$. Strängens utseende vid denna tid ritas in i figuren. Man ser då att punkten P har flyttat sig sträcken $\Delta y = 1,0 \text{ cm}$ uppåt. Hastigheten blir $v = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{0,010 \text{ m}}{0,005 \text{ s}} = 2,0 \text{ m/s}$.

Svar: 2,0 m/s uppåt.



C

10. Först beräknas antalet radioaktiva kärnor N som krävs.

$$\text{Effekt } P = AE_f = \lambda N E_f = \frac{\ln 2}{T} N E_f,$$

där $E_f = \Delta mc^2$ är den frigjorda energin vid varje sönderfall.

Sönderfallet sker enligt formeln ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + {}^4_2\text{He}$. Detta ger massminskningen

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_{\text{Po}} - 84m_e - (m_{\text{Pb}} - 82m_e + m_{\text{He}} - 2m_e) = m_{\text{Po}} - m_{\text{Pb}} - m_{\text{He}} \\ &= (209,9829 - 205,9744 - 4,002603) \text{ u} = 0,005897 \text{ u}. \end{aligned}$$

Omräkningsfaktorn ger

$$E_f = 931,494 \cdot 0,005897 \text{ MeV} \approx 5,476 \text{ MeV} \approx 8,774 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Insatta siffror ger

$$N = \frac{PT}{E_f \ln 2} = \frac{5,0 \cdot 138,4 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}{8,774 \cdot 10^{-13} \cdot \ln 2} \approx 9,831 \cdot 10^{19}.$$

$$\text{Massan blir } m = N M_{\text{Po}} \approx 9,801 \cdot 10^{19} \cdot 209,9829 \cdot 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 3,428 \cdot 10^{-5} \text{ kg}.$$

Svar: 34 mg.

11. Sträckorna beräknas med Pytagoras sats: $L_1 = \sqrt{1,27^2 + 4,41^2} \text{ cm} \approx 4,5892 \text{ cm}$,
 $L_2 = \sqrt{5,08^2 + 4,41^2} \text{ cm} \approx 6,7271 \text{ cm}$. Det genomskinliga materialets brytningsindex n ges av brytningslagen, där luftens brytningsindex sätts till 1:

$$1 \cdot \sin \alpha_1 = n \cdot \sin \alpha_2 \Rightarrow n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2},$$

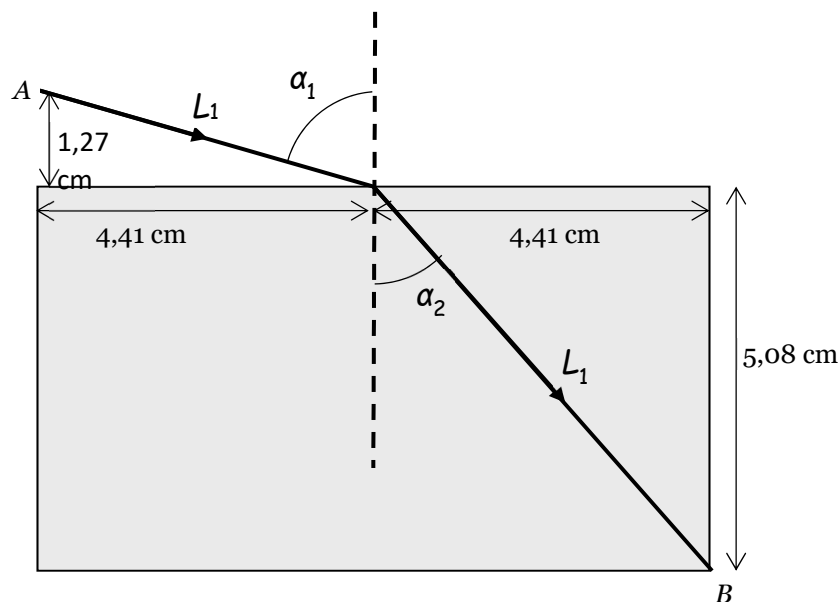
där $\alpha_1 = \arctan \frac{4,41}{1,27} \approx 73,935^\circ$ och $\alpha_2 = \arctan \frac{4,41}{5,08} \approx 40,962^\circ$. Detta ger $n \approx 1,4659$.

Ljushastigheten i det genomskinliga materialet $c_m = \frac{c}{n} \approx \frac{299792458}{1,4659} \text{ m/s}$

$\approx 2,0452 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Sökta tiden $t = \frac{L_1}{c} + \frac{L_2}{c_m} \approx 4,8201 \cdot 10^{-10} \text{ s}$.

Svar: 482 ps



12. Före sönderfallet har mesonen energin $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

och rörelsemängden $p = \frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{vE}{c^2}$.

Fotonernas energier betecknas E_1 för den foton som fortsätter i mesonens rörelseriktning och E_2 för den foton som sänds ut i motsatt riktning.

Fotonerna rör sig med ljusfarten. Allmänna formeln för rörelsemängd $p = \frac{vE}{c^2}$ ger

därför fotonernas rörelsemängder $p_1 = \frac{cE_1}{c^2} = \frac{E_1}{c}$ respektive $p_2 = \frac{E_2}{c}$.

Energins bevarande ger $E_1 + E_2 = E$.

Rörelsemängdens bevarande ger

$$p_1 - p_2 = p \Rightarrow \frac{E_1}{c} - \frac{E_2}{c} = \frac{vE}{c^2} \Leftrightarrow E_1 - E_2 = \frac{vE}{c}.$$

Här kan man för enkelhets skull räkna ut högerleden i MeV:

$$E = \frac{135}{\sqrt{1 - \frac{(215 \cdot 10^6)^2}{299792458^2}}} \text{ MeV} \approx 193,71 \text{ MeV}$$

$$\frac{vE}{c} \approx \frac{215 \cdot 10^6 \cdot 193,71}{299792458} \approx 138,92 \text{ MeV}.$$

$$\text{Ekvationssystemet blir då } \begin{cases} E_1 + E_2 = 193,71 \text{ MeV} \\ E_1 - E_2 = 138,92 \text{ MeV} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_1 = 166,32 \text{ MeV} \\ E_2 = 27,39 \text{ MeV} \end{cases}.$$

Svar: Den foton som sänds ut i mesonens rörelseriktning får energin 166 MeV. Den andra fotonen får energin 27 MeV.

Rättningsmall

Omvandlingsfel t.ex. km/h till m/s; ton till kg.....-1 p
Avrundningsfel, t.ex. $1,37 \approx 1,3$, $1,41 \approx 1,40$-1 p/uppgift
Räknefel.....-1 p
Fysikaliska fel.....-2 p minst
Enhetsfel, t.ex. $F = 3,0 \text{ J}$-1 p
För få värdesiffror i delberäkning.....-1 p/uppgift
Omvandlingsfel i svaret vid frivilligt enhetsbyte.....inget avdrag om rätt svar finns tidigare
Felaktigt antal värdesiffror i svaret (+/- 1 OK).....-1 p/tentamensdel första gången
Odefinierade beteckningar (ej självklara).....-1 p
Ofullständiga lösningar/lösningar svåra att följa.....-1 p minst
Avskrivningsfel som inte påverkar uppgiften.....-1 p

1. Kommenterar inte att frekvensen är oförändrad -0 p?
2. -
3. Får rätt svar genom att använda nakna protonmassor samt atommassan för deuterium och strunta i positronen, utan skälig motivering: -1 p
4. -
5. -
6. Motiverar inte orelativistisk räkning: -0 p
7. -
8. Visar inte tydligt att excitation kan ske till antingen $n = 2$ eller $n = 3$: -0 p (?)
Varje saknad deexcitation: -1 p
9. Hastighetens riktning fel eller saknas; -1 p
Figur eller likvärdig motivering saknas: -1 p
10. Struntar i elektronmassorna utan motivering: -1 p
11. Enkla trigonometriska fel som inte ger orimligt svar: -1 p per gång.
12. Anger fotonens rörelsemängd till E/c utan motivering: OK
Rätt ekvationer men algebraiska eller numeriska fel vid lösningen: -1 p