

F0005T-2026-03-20

19 okt. 2026, 13 min läsning

UTKAST

#tenta #fysik #vågrörelse #modern-fysik

Kurs: F0005T — Fysik 2 **Datum:** 2026-03-20 **Examinator:** Erik Olsson **Källa:** [originaltentamen](#) · [lärarens lösningar](#) (lösningsfilens rubrik säger 2025-10-30, men innehållet är den här tentan)
Hjälpmedel: miniräknare och Fysika. 6 uppgifter, 18 poäng; betyg 3 vid 9 p, 4 vid 12,5 p och 5 vid 15,5 p.

Översikt

VÅG (uppgift 1–3):

- en våg avbildad vid två tidpunkter: fart, tid mellan bilderna och faskonstant (1), samma uppgift som [augusti 2026](#) uppgift 1
- tre högtalare i rad: utsläckning med visardiagram (2), samma uppställning som [augusti 2026](#) uppgift 2
- reflektion av polariserat laserljus mot glas: Fresnels formler (3)

MOF (uppgift 4–6):

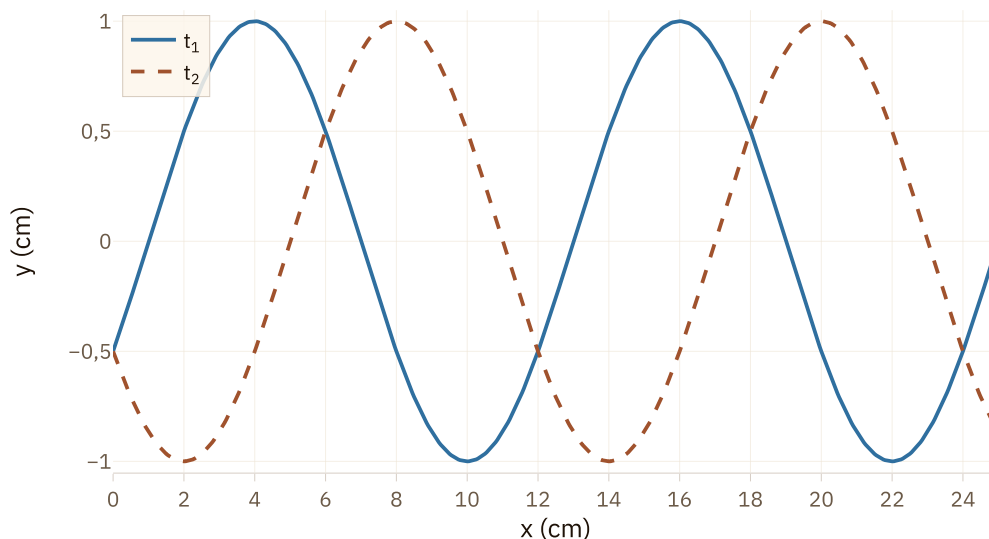
- solpaneler till en rymdstation vid Mars (4)
- comptonspredning: största förskjutningen, spridningsvinkel och elektronens rörelseenergi (5)
- K_α -strålning från koppar och konstanten i Moseleys lag ur Bohrs modell (6)

Så använder du sidan

Försök själv först, med Fysika framme som på tentan. Ledtråd 1 säger vilken sorts uppgift det är och var den står i Fysika, ledtråd 2 (inuti ledtråd 1) ger modellen och ledtråd 3 (inuti ledtråd 2) nyckelsteget eller fällan. **Lösning** är lärares lösning med förklaringar mellan stegen; varje formel och tabellvärde har sin Fysika-kod. Där läraren bara gett svaret (seminarieuppgifter) är lösningsgången egen och svaret kontrollerat mot lärares. Figurerna är interaktiva: håll muspekaren över kurvorna för exakta värden, och dra i reglagen där sådana finns.

1. En våg vid två tidpunkter

En propagerande våg är avbildad vid två olika tidpunkter, t_1 och t_2 där $t_2 > t_1$. Tiden mellan bilderna är mindre än 1 periodtid. Vid den första tidpunkten är en punkt vid $x = 7 \text{ cm}$ på väg i positiv y -riktning. Den maximala partikelhastigheten är $3,142 \text{ m/s}$.



- Vilken hastighet har vågen? (1p)
- Hur lång tid har det gått mellan bilderna? (1p)
- Låt den första bilden av vågen vara vid $t = 0$, bestäm faskonstanten om vågen beskrivs med en sin-funktion. (1p)

Totalpoäng: 3

Ledtråd 1

Harmonisk våg, Fashastighet och partikelhastighet och Fas och faskonstant. Fysika: Fc1
(harmonisk våg, $v = f\lambda$, partikelhastighet $v_p = ds/dt$).

Ledtråd 2

Läs av amplituden A och våglängden λ i figuren. Partikelhastigheten är derivatan av y med avseende på t , och dess största värde är ωA . Det ger f , och sedan $v = f\lambda$.

Ledtråd 3

Riktningen avgör vilken förskjutning som gäller mellan bilderna: ett steg framåt eller bakåt. Punkten vid $x = 7 \text{ cm}$ ligger på en nedåtgående sluttning och rör sig uppåt; åt vilket håll måste vågformen då flytta sig? Med "mindre än 1 periodtid" finns bara en möjlig förskjutning. För c: sätt in en dal, där $\sin = -1$.

Lösning

Samma uppgift som [augusti 2026](#) uppgift 1.

a) Ur figuren: amplituden är $A = 1,0 \text{ cm}$ och våglängden $\lambda = 12 \text{ cm}$ (topparna ligger vid $x = 4$ och 16 cm). Partikelhastigheten $v_p = \partial y / \partial t$ har amplituden ωA :

$$v_{\max} = \omega A \Rightarrow f = \frac{v_{\max}}{2\pi A} = \frac{3,142}{2\pi \cdot 0,01} = 50 \text{ Hz}$$

Fysika: Fc1 (partikelhastighet $v_p = ds/dt$, $\omega = 2\pi f$)

Vågens hastighet är alltså

$$v = \lambda f = 0,12 \cdot 50 = 6,0 \text{ m/s}$$

Fysika: Fc1 ($v = f \cdot \lambda$)

Svar: $v = 6,0 \text{ m/s}$

b) Vid t_1 ligger $x = 7 \text{ cm}$ mellan toppen vid 4 cm och dalen vid 10 cm , på en sluttning som går nedåt. Att punkten ändå rör sig uppåt betyder att toppen bakom den är på väg fram, alltså att vågen propagerar i positiv x -riktning. Den streckade kurvan t_2 har sin topp vid 8 cm , så vågen har flyttat sig $\Delta x = 4,0 \text{ cm}$ (den andra möjligheten, -8 cm , går åt fel håll):

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{0,04}{6,0} = 6,7 \text{ ms}$$

Svar: $\Delta t \approx 6,7 \text{ ms}$ (en tredjedels period, $T = 20 \text{ ms}$).

c) Vågen i +x-riktning skrivs

$$y = A \sin(kx - \omega t + \alpha)$$

Fysika: Fc1 (propagerande harmonisk våg; Fysika använder $\cos$ och $\omega t \pm kx$, vilket bara ändrar faskonstantens värde)

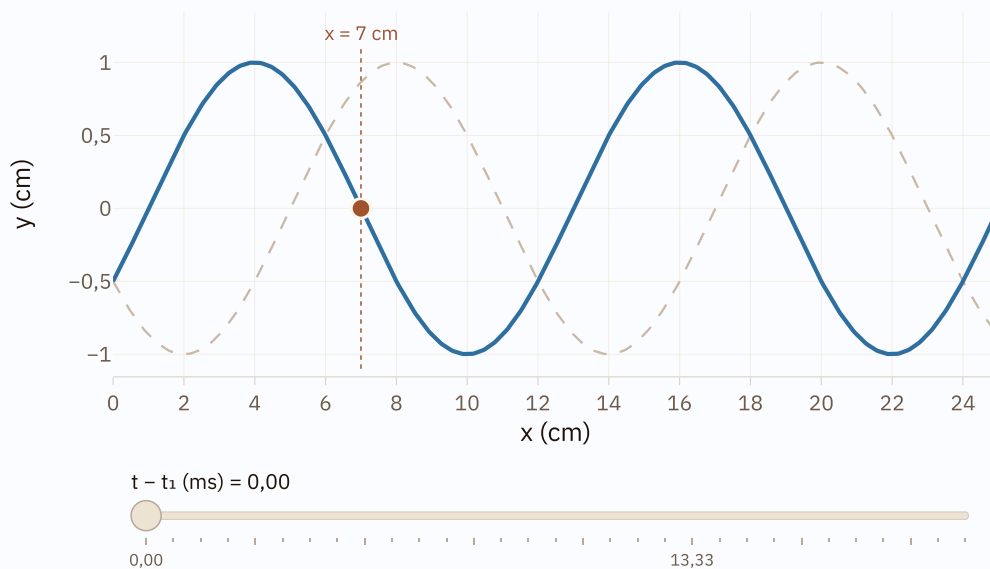
Vid $t = 0$ ligger en dal vid $x = 10$ cm, där $\sin(\dots) = -1$:

$$kx + \alpha = \frac{3\pi}{2} \Rightarrow \alpha = \frac{3\pi}{2} - \frac{2\pi}{12} \cdot 10 = -\frac{\pi}{6}$$

Kontroll: $y(0, 0) = \sin(-\pi/6) = -0,5$ cm, som i figuren.

Svar: $\boxed{\alpha = -\frac{\pi}{6}}$ (eller $\frac{11\pi}{6}$ om man vill ha ett värde mellan 0 och 2π).

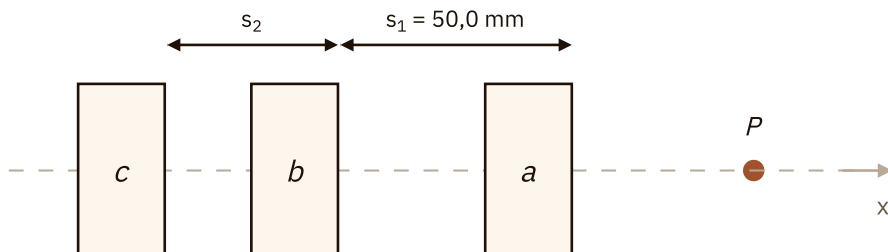
Dra i reglaget: vågen vandrar åt höger och punkten vid $x = 7$ cm går uppåt. Efter 6,67 ms ligger den blå kurvan exakt på bild t_2 .



Kontrollerat mot facit. Lärarens svarsrad i b anger 6,7 μ s, men uträkningen 0,04/6,0 ger 6,7 ms; enheten i svarsraden är ett skrivfel.

2. Tre högtalare längs x-axeln

Tre högtalare är placerade längs x-axeln enligt figuren. I en punkt P är ljudnivån från högtalare a 6,02 dB högre än ljudnivån från högtalare b . Sträckan s_1 är 50,0 mm. Våglängden för ljudet från högtalarna är 200,0 mm och alla högtalarna är kopplade till samma tongenerator. Om ljudnivån ska vara 0 dB i punkten P , hur lång är då sträckan s_2 och vad blir kvoten mellan ljudintensiteterna I_a/I_c ?



Totalpoäng: 3

Ledtråd 1

Ljudintensitet och ljudnivå och Superposition av vågor med visare. Fysika: Fc2 (ljudintensitetsnivå, $I \propto a^2$) och Fc1a (superposition av vågor).

Ledtråd 2

$\Delta L = 10 \log(I_a/I_b)$ ger intensitetskvoten, och eftersom $I \propto a^2$ blir amplitudkvoten roten ur den. Vågen från b går sträckan s_1 längre än vågen från a , så den ligger efter i fas med ks_1 . Rita a och b som visare och addera.

Ledtråd 3

0 dB är 10^{-12} W/m^2 , i praktiken total utsläckning: visaren c måste vara exakt lika lång som $a + b$ och peka rakt mot den. $ks_1 = \pi/2$, så a och b står vinkelrätt mot varandra.

Lösning

Samma uppställning och siffror som augusti 2026 uppgift 2, där frågan är uppdelad i tre deluppgifter.

Vi bestämmer först fasskillnaden mellan våg a och b . Vågen från b har gått s_1 längre till P :

$$\Delta\beta_{ba} = ks_1 = \frac{2\pi}{200} \cdot 50 = \frac{\pi}{2}$$

Fysika: Fc1 ($k = 2\pi/\lambda$)

Förhållandet mellan intensiteterna för våg a och b :

$$\begin{aligned} 10 \log \frac{I_a}{I_0} - 10 \log \frac{I_b}{I_0} &= 6,02 \text{ dB} \\ \Rightarrow \log \frac{I_a}{I_b} &= 0,602 \Rightarrow \frac{I_a}{I_b} = 10^{0,602} = 3,999 \end{aligned}$$

Fysika: Fc2 (ljudintensitetsnivå $L_I = 10 \log(I/I_0)$)

Intensiteten är proportionell mot amplituden i kvadrat, så amplituden för våg a är dubbelt så stor som för våg b .

Fysika: Fc2 (intensitet $I = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 a^2$)

Vi ritar vågorna som visare i komplexa talplanet: a (längd 2) och b (längd 1) står vinkelrätt mot varandra, och summan $a + b$ bildar vinkeln θ mot a :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{b}{a} = \tan^{-1} \frac{1}{2} = 26,57^\circ$$

Fysika: Fc1a (superposition av vågor)

För utsläckning ska c peka rakt mot $a + b$. Den önskade fasskillnaden mellan våg c och b är då

$$\begin{aligned} \Delta\beta_{cb} &= 90^\circ + \theta = 116,57^\circ = 2,0344 \text{ rad} \\ \Rightarrow s_2 &= \frac{\Delta\beta_{cb}}{k} = \frac{2,0344 \cdot 200}{2\pi} = 64,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

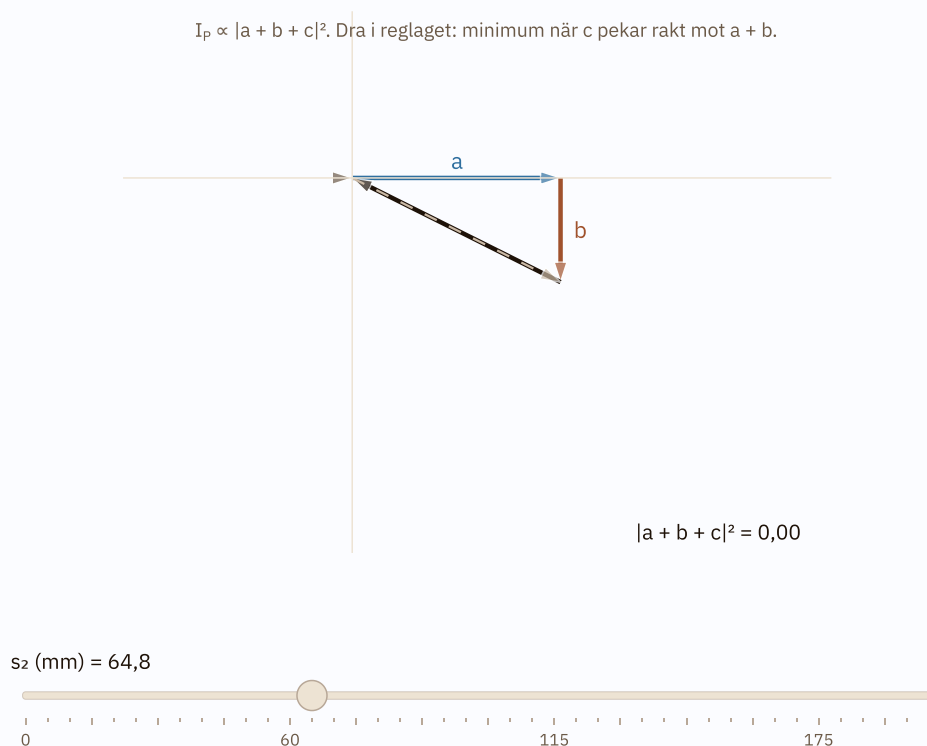
Visaren c måste dessutom vara lika lång som $a + b$. Eftersom a och b är vinkelräta adderas deras intensiteter:

$$I_c = I_a + I_b = I_a + \frac{1}{4}I_a = \frac{5}{4}I_a$$

Ljudnivån 0 dB betyder $I = I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, i praktiken ingenting jämfört med högtalarnas ljud. Visaren c måste alltså ta ut $a + b$ helt, och eftersom a och b är vinkelräta blir $I_c = I_a + I_b = \frac{5}{4}I_a$.

Svar: $s_2 \approx 64,8 \text{ mm}$ och $I_a/I_c = 4/5$

Dra i reglaget för s_2 . Summan $|a + b + c|^2$, som är proportionell mot intensiteten i P , blir noll vid 64,8 mm:



Kontrollerat mot facit.

3. Laserstråle mot en glasyta

En laserstråle träffar en glasyta, med brytningsindex 1,55, vid infallsvinkeln 35° . Laserstrålens polarisationsriktning bildar vinkeln 60° med infallsplanets normal.

a) Beräkna reflektionskoefficienterna för sagittalt och parallellt polariserat ljus. (1p)

b) Hur stor andel av laserstrålen reflekteras från glasytan? (2p)

Totalpoäng: 3

Ledtråd 1

Fresnels formler och Polarisation. Fysika: Fc3 (Fresnels formler, reflekterad intensitet) och Fc6a (brytningslagen).

Ledtråd 2

Snells lag ger brytningsvinkeln b , och sedan $R_{\perp} = \sin^2(i - b) / \sin^2(i + b)$ och $R_{\parallel} = \tan^2(i - b) / \tan^2(i + b)$. Dela upp laserljuset i en s-del och en p-del och reflektera dem var för sig: $I_r = R_{\perp} I_{\perp} + R_{\parallel} I_{\parallel}$.

Ledtråd 3

Infallsplanets **normal** är s-riktningen. Vinkeln 60° mot den ger $I_s = I_0 \cos^2 60^\circ$ och $I_p = I_0 \sin^2 60^\circ$, inte tvärtom.

Lösning

a) Vi bestämmer brytningsvinkeln utifrån Snells lag:

$$\sin i = n \sin b \Rightarrow b = \sin^{-1}\left(\frac{\sin i}{n}\right) = 21,7187^\circ$$

Fysika: Fc6a (brytningslagen)

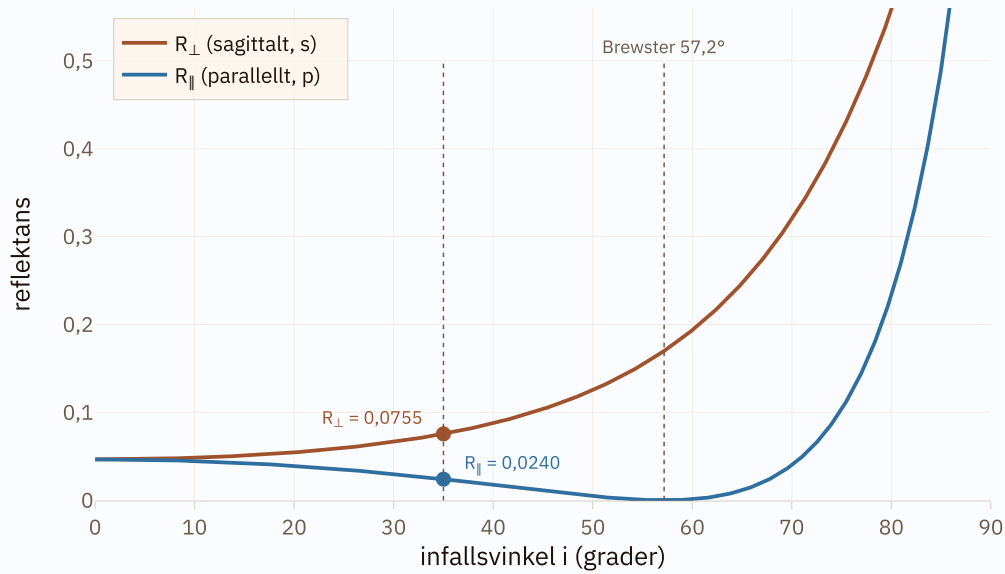
Reflektionskoefficienterna:

$$R_s = \frac{\sin^2(i - b)}{\sin^2(i + b)} = 0,0755$$

$$R_p = \frac{\tan^2(i - b)}{\tan^2(i + b)} = 0,0240$$

Fysika: Fc3 (Fresnels formler för reflekterat ljus)

Svar: $R_s \approx 0,076$ och $R_p \approx 0,024$



b) Vi delar upp det infallande ljuset i s- och p-komponenter. Polarisationen bildar $\beta = 60^\circ$ med infallsplanets normal, som är s-riktningen:

$$I_s = I_0 \cos^2 \beta, \quad I_p = I_0 \sin^2 \beta$$

Fysika: Fc3 (Malus lag, $I = I_0 \cos^2 \theta$, för varje komponent)

Det reflekterade ljuset får då intensiteten

$$\begin{aligned} I_r &= R_p I_p + R_s I_s = R_p I_0 \sin^2 \beta + R_s I_0 \cos^2 \beta \\ &= (0,0240 \cdot \sin^2 60^\circ + 0,0755 \cdot \cos^2 60^\circ) I_0 \\ &= 0,0369 I_0 \end{aligned}$$

Fysika: Fc3 (reflekterad intensitet $I_r = R_{\parallel} I_{i\parallel} + R_{\perp} I_{i\perp}$)

Svar: 3,7 %

Kontrollerat mot facit.

4. Solpaneler vid Mars

En rymdstation ska placeras i omloppsbana runt Mars. Stationens energibehov är 250 kW. Moderna solpaneler med verkningsgraden 30 % används för att försörja stationen med elektrisk energi. Hur stor area solpaneler krävs för att tillgodose stationens energibehov? Nödvändiga naturkonstanter och astronomiska data finns i formelsamlingen.

Totalpoäng: 3

Ledtråd 1

Svartkroppsstrålning och **Stefan-Boltzmanns lag**. Fysika: $Fd4$, Te (σ); solens temperatur i $Tj2$, solens radie och Mars banradie i $Tj1$.

Ledtråd 2

Solens effekt är $P_s = \sigma T^4 \cdot 4\pi R^2$. Vid Mars är den utspridd över en sfär med radien d : $I = P_s/(4\pi d^2)$. Panelerna ger $P = \eta IA$.

Ledtråd 3

Använd Mars **banradie** (avståndet till solen), inte Mars radie. Verkningsgraden gör att panelen måste fånga mer än 250 kW solljus: dela med η .

Lösning

Indata ur Fysika: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$, solens ytemperatur $T = 5778 \text{ K}$, solens radie $R = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$ och avståndet sol-Mars $d = 2,28 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

Fysika: Te (σ), $Tj2$ (solens effektiva ytemperatur), $Tj1$ (solens radie, Mars banradie)

Solen utstrålar effekten

$$P_s = 4\pi R^2 \sigma T^4 = 3,8472 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Fysika: $Fd4$ (Stefan-Boltzmanns lag, $I = \sigma T^4$)

Vid Mars har den strålningen intensiteten

$$I = \frac{P_s}{4\pi d^2} = 588,94 \text{ W/m}^2$$

Fysika: Fc2 (intensitet $I = P/(4\pi r^2)$ för en sfärisk våg)

Ytan solpaneler som behövs blir då

$$A = \frac{P}{I\eta} = \frac{2,50 \cdot 10^5}{588,94 \cdot 0,30} = 1414 \text{ m}^2$$

Svar: $A \approx 1,4 \cdot 10^3 \text{ m}^2$

 **Genväg via tabellen**

Fysika T j2 ger också solens totalt utstrålade effekt, $3,846 \cdot 10^{26} \text{ W}$, så temperaturen och radien behövs egentligen inte. Svaret blir detsamma, 1415 m^2 .

Kontrollerat mot facit.

5. Comptonspridning

Ekvationen nedan används för att beskriva hur högfrekvent elektromagnetisk strålning sprids mot en fri elektron.

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$$

a) Beskrivs den elektromagnetiska strålningen som en våg eller som partiklar enligt denna ekvation? Motivera ditt svar. (0,5p)

b) Vilken är den största möjliga förändringen i våglängd vid spridning mot en fri elektron? (0,5p)

En foton med våglängden $50,0 \text{ pm}$ sprids mot en stillastående elektron och har efteråt våglängden $53,6 \text{ pm}$.

c) I vilken riktning rör sig fotonen efter stöt relativt riktningen innan stöt? (1p)

d) Vilken rörelseenergi får elektronen efter stöt? (1p)

Totalpoäng: 3

 Ledtråd 1

Comptonspridning och **Fotonen**. *Fysika: Fd3* (comptonspridning, fotonenergi) och *Te* (elektronens comptonvåglängd $h/(m_e c)$).

 Ledtråd 2

Formeln härleds ur en stöt där rörelsemängd och energi bevaras. $1 - \cos \theta$ är som störst när $\cos \theta = -1$. I c löser du ut $\cos \theta$ ur formeln; i d bevaras energin, så elektronen får det fotonen förlorat.

 Ledtråd 3

$h/(m_e c)$ står färdigt i Te som comptonvåglängden, 2,426 pm, så $\Delta\lambda_{\max}$ är bara dubbla den. I d: skillnaden mellan två fotonenergier hc/λ , inte $hc/\Delta\lambda$.

 Lösning

a) Strålningen beskrivs som **partiklar**. Ekvationen härleds genom att behandla spridningen som en stöt mellan två partiklar, fotonen och elektronen, där rörelsemängd och energi bevaras.

b) Högerledet i ekvationen är störst när $\theta = 180^\circ$, där $1 - \cos \theta = 2$:

$$\Delta\lambda_{\max} = \frac{2h}{m_e c} = 2 \cdot 2,4263 \text{ pm} = 4,853 \text{ pm}$$

Fysika: Fd3 (comptonspridning), *Te* (elektronens comptonvåglängd $\lambda_C = h/(m_e c) = 2,4263 \cdot 10^{-12} \text{ m}$)

Svar: $\Delta\lambda_{\max} \approx 4,85 \text{ pm}$, när fotonen studsar rakt tillbaka.

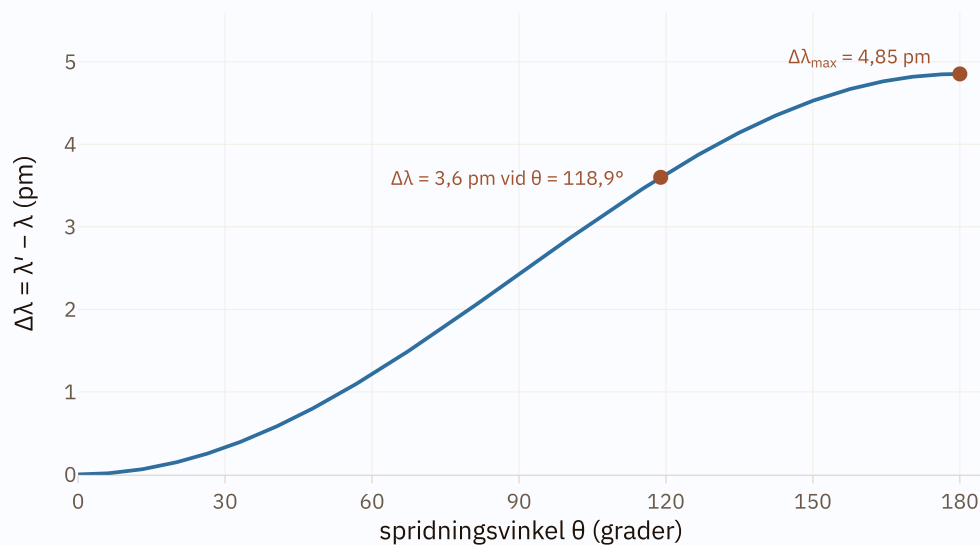
c) Vi löser ut spridningsvinkeln:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

$$\Rightarrow \theta = \cos^{-1} \left(1 - \frac{m_e c}{h} (\lambda' - \lambda) \right) = 118,9^\circ$$

Fysika: Fd3 (comptonspridning)

Svar: fotonen rör sig $\theta \approx 119^\circ$ från sin ursprungliga riktning, alltså snett bakåt.



d) Energin bevaras, så elektronen får den energi fotonen förlorar:

$$E_{f1} = E_{f2} + K_e \Rightarrow K_e = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2}$$

$$= 2,668 \cdot 10^{-16} \text{ J} = 1,666 \text{ keV}$$

Fysika: Fd3 (fotonenergi $E = hc/\lambda$), Te (h, c, e)

Svar: $K_e \approx 1,67 \text{ keV}$

Kontrollerat mot facit. Lärarens svar i b är 4,901 pm, men uträkningen använder elektronmassan $9,019 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ i stället för $9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; med rätt massa blir $\Delta\lambda_{\max} = 4,853 \text{ pm}$. Svaren i c och d stämmer.

6. Koppar och Moseleys lag

- a) Vilken minsta spänning måste elektronerna accelereras genom för att kunna ge upphov till K_α strålning från koppar? (0,5p)
- b) Om elektronerna accelereras genom den spänning du angav i uppgift a, vilken är den kortaste våglängd som bromsstrålningen kan ha? (0,5p)
- c) I Fysika finns följande ekvation för beräkning av våglängden för K_α -strålning

$$\lambda^{-1} = a(Z - 1)^2$$

Beräkna värdet på konstanten a utifrån Bohrs modell för väteliknande system. (2p)

Totalpoäng: 3

Ledtråd 1

Röntgenstrålning, Bromsstrålning och Moseleys lag, med Väteliknande system. Fysika: T k1 (koppars bindningsenergi), Fd3 ($\lambda_{\min}$, energinivåer för väteliknande system, Moseleys lag) och Te (E_H , hc).

Ledtråd 2

K_α kräver ett hål i K -skalet, så elektronerna måste ha minst K -skalets bindningsenergi. $\lambda_{\min} = hc/(eU)$. I c är K_α övergången $n = 2 \rightarrow n = 1$ i ett väteliknande system.

Ledtråd 3

Elektronen som faller från L -skalet ser inte hela kärnladdningen Ze : den kvarvarande elektronen i K -skalet skärmar av en laddning, så den effektiva laddningen är $(Z - 1)e$. Det är därför $(Z - 1)^2$ står i Moseleys lag.

Lösning

a) Koppars bindningsenergi i K -skalet är 8979 eV. Elektronerna måste ha minst så mycket rörelseenergi, $eU \geq E_K$.

Fysika: T k1 (Cu: $K = 8979$ eV)

Svar: $U = 8979 \text{ V}$

b) Kortaste våglängden får man när hela rörelseenergin går till en enda foton:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} = 138,1 \text{ pm}$$

Fysika: Fd3 (gränsvåglängd för kontinuerlig röntgenstrålning)

Svar: $\lambda_{\min} \approx 138,1 \text{ pm}$

c) Fotonens energi motsvarar övergången mellan $n = 2$ och $n = 1$. Energinivåerna ges av ett väteliknande system där elektronen i L -skalet ser nettoladdningen $(Z - 1)e$ innanför sin orbital:

$$\begin{aligned} \frac{hc}{\lambda} &= -E_H \left(\frac{(Z-1)^2}{2^2} - \frac{(Z-1)^2}{1^2} \right) = \frac{3}{4} E_H (Z-1)^2 \\ \Rightarrow \lambda^{-1} &= \frac{3}{4} \frac{E_H}{hc} (Z-1)^2 \end{aligned}$$

Fysika: Fd3 (energinivåer för väteliknande system $E_n = -E_H Z^2/n^2$, fotonenergi $E = hc/\lambda$)

Vid jämförelse med Moseleys lag får vi

$$a = \frac{3}{4} \frac{E_H}{hc} = \frac{3}{4} \cdot \frac{13,6057}{1,23984 \cdot 10^{-6}} = 8,23 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$$

Fysika: Fd3 (Moseleys lag, $a = 8,23 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$), $T_e (E_H, hc)$

Svar: $a \approx 8,23 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}$, samma värde som Fysika anger.

Hur bra stämmer det för koppar?

Med $Z = 29$ ger Moseleys lag $\lambda = 1/(8,23 \cdot 10^6 \cdot 28^2) = 155 \text{ pm}$. Tabellen T k1 anger $154,2 \text{ pm}$ för $K_{\alpha 1}$ i koppar: den enkla avskärningsmodellen träffar inom en procent.

Kontrollerat mot facit.

Se även

- [F0005T](#) — kurssidan med alla tentor
 - [Harmonisk våg](#) · [Fashastighet och partikelhastighet](#) · [Fas och faskonstant](#) · [Ljudintensitet och ljudnivå](#) · [Superposition av vågor](#) · [Fasordigram](#)
 - [Fresnels formler](#) · [Polarisation](#)
 - [Svartkroppsstrålning](#) · [Stefan-Boltzmanns lag](#) · [Comptonspridning](#) · [Fotonen](#)
 - [Röntgenstrålning](#) · [Bromsstrålning](#) · [Moseleys lag](#) · [Väteliknande system](#)
-