Lys, bølger, kvanter og atomer - 09.01.15

Løsningsskisser

Oppgave 1

a) Hva er forskjellen på en bølge og en svingning?
b) Hvorfor er det mørke linjer i solspekteret?
c) Hvorfor er elektromagnetisk stråling med høy frekvens farligere enn elektromagnetisk stråling med lav frekvens?

a)
En svingning er en periodisk bevegelse i et system.
En bølge er en svingning som brer seg.
b)
Solen sender ut et kontinuerlig spekter.
I solens atmosfære har vi gasser (H, He, ...) som absorberer fotoner fra sollyset som har frekvenser som passer med energiovergangene i gass-atomene. Mangelen på fotoner med disse frekvensene opptrer da som mørke striper i solspekteret, som vi derfor kaller et absorpsjonsspektrum.
c)
Kvantehypotesen $E = hf$, viser at energien til hvert *enkelt foton* øker med frekvensen. Hvis energien for hvert enkelt foton er stor nok, vil den føre til at strålingen kan ionisere atomer i celler i levende vev, noe som har vist seg å være skadelig og kreftfremkallende.

Oppgave 2

Fotoner i synlig lys har bølglengder mellom ca. 400 nm og 800 nm.

a) Bruk bølgelengdene og lyshastigheten $c = 3 \cdot 10^8$ m/s til å regne ut hvilke frekvenser fotonene i synlig lys kan ha.

b) Regn deretter ut hvilke energier fotoner i synlig lys kan ha.
(Plancks konstant: $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$Js)

a) og b)
Formel: $c = \lambda f \Leftrightarrow f = \frac{c}{\lambda}$

Største bølgelengde, laveste frekvens og energi:
$f = \frac{3 \cdot 10^8}{800 \cdot 10^{-9}} \approx 3.75 \cdot 10^{14}$ [hz]
$E = hf = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3.75 \cdot 10^{14} \approx 0.249$ [aJ]

Minste bølgelengde, høyeste frekvens og energi:
$f = \frac{3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} \approx 7.50 \cdot 10^{14}$ [hz]
$E = hf = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 7.5 \cdot 10^{14} \approx 0.497$ [aJ]

Oppgave 3

Et svingesystem, nærmere bestemt en pendel bruker 10 sekunder på 5 svingninger.
Regn ut perioden og frekvensen til pendelen.

Periode/svingetid: $T = \frac{10}{5} = 2$ [s]

Frekvens: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5$ [hz]

Oppgave 4

I et interferensforsøk med gitter bruker vi lys med bølgelengde $\lambda = 630$ nm.
Gitteret har 600 linjer per. millimeter.
a) Regn ut retningen (vinkelen θ) for lysmaksimum av første orden.

b) Interferensmønstrene viser seg på en skjerm som står 2 meter unna gitteret.
Hvor langt er det mellom lysmaksimum av nullte og første orden på skjermen?

a)
Interferens-formelen: $d \sin\theta_n = n\lambda$

Spaltebredde: $d = \frac{0.001}{600} \approx 1.67 \cdot 10^{-6}$
Første orden: $\sin\theta_1 = \frac{1\,\lambda}{d} = \frac{630 \cdot 10^{-9}}{1.67 \cdot 10^{-6}} \approx 0.37725$
$\theta_1 = 22.2^\circ$
b)
Formel: $\tan\theta_1 = \frac{a}{L}$, der $L = 2$ [m]

Avstand fra nullte til første ordens maksimum:
$a = L\tan\theta_1 = 2\tan 22.2^\circ \approx 0.82$ [m]

Oppgave 5

En rød lyspære gir en lyseffekt på 15 Watt, det vil si at den sender ut en energi på
15 Joule i sekundet. Det røde lyset har bølgelengde $\lambda = 700$ nm.
Hvor mange fotoner sendes ut hvert sekund?

Frekvens: $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{700 \cdot 10^{-9}} \approx 4.29 \cdot 10^{14}$ [hz]

Energi: $E = hf = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 4.29 \cdot 10^{14} \approx 2.84 \cdot 10^{-19}$ [J]

Antall fotoner i et sekund: $n = \frac{15}{2.84 \cdot 10^{-19}} \approx 5.3 \cdot 10^{19}$

Oppgave 6

Energinivåene i et hydrogenatom i tilstand n er som kjent $E_n = -\frac{2.18}{n^2}$ aJ.

a) Hva er bølgelengde og frekvens for fotoner som sendes ut ved overgang fra
tilstand $n = 4$ til tilstand $n = 3$?
b) Hvor mye energi må til for å løsrive elektronet fra et hydrogenatom i tilstand $n = 3$?

a)
Bohr: $E_{43} = E_4 - E_3 = -\frac{2.18}{4^2} - (-\frac{2.18}{3^2}) \approx 0.106$ [aJ]

Kvantehypotesen $E = hf$ gir frekvensen:
$f = \frac{E}{h} = \frac{0.106 \cdot 10^{-18}}{6.63 \cdot 10^{-34}} \approx 1.60 \cdot 10^{14}$[hz]

Bølgelengde: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.60 \cdot 10^{14}} \approx 1.9 \cdot 10^{-6} = 1.9$ [μm]

b)
Løsrivningsenergi/Ioniseringsenergi:
$E = E_\infty - E_3 = 0 - (-\frac{2.18}{3^2}) \approx 0.242$ [aJ]

Oppgave 7

En stemmegaffel er en gaffellignende metalldings som svinger med frekvensen $f = 440$ hz hvis man satt igang svingningene ved å slå den mot for eksempel et notestativ. (Musikere bruker stemmegafler for å ha en referansetone å stemme instrumentene sine etter.) Stemmegaffelen er et svingesystem som sender ut lydbølger med frekvensen f.

Hva er bølgelengden til lydbølgen stemmegaffelen sender ut?
(Lydens fart er ca. $c = 340$ m/s.)

Bølgelengde: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340}{440} \approx 0.77$ [m]

Oppgave 8

Hydrogen har fiolett, blå, grønn og rød linje i sitt emisjonsspekter.
a) Bruk Bohrs formel (se oppgave 6) til å regne ut bølgelengden til den blå linjen.

b) I forsøket vi gjorde på fagdagen med spektrometer brukte vi interferensformelen:
$$d \sin\theta_n = n\lambda$$
til å regne ut bølgelengden til spektrallinjer.
Hva blir bølgelengden til den blå linjen i Hydrogenspekteret, hvis vi har målt vinklene til førsteordens avbøyninger på hver side av nullte orden til henholdsvis 349.5° og 366° på spektrometerets gradskive?

a)
Rød, grønn, blå og fiolett tilsvarer energiovergangene:
$3 \to 2$, $4 \to 2$, $5 \to 2$ og $6 \to 2$

Bohr gir for blå linje:
$E_{52} = -\frac{2.18}{5^2} - (-\frac{2.18}{2^2}) \approx 0.458$ [aJ]
$E_{52} = hf = h\frac{c}{\lambda}$ gir:
Bølgelengde: $\lambda = \frac{hc}{E_{52}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0.458 \cdot 10^{-18}} \approx 434$ [nm]
b)
Avbøyningsvinkel ut fra avleste vinkler:
$\theta_1 = \frac{366^\circ - 349.5^\circ}{2} = 8.25^\circ$
Glemte i oppgaven å oppgi spaltebredden i gitteret:

300 linjer/mm: $d \approx 3.33 \cdot 10^{-6}$

Bølgelengde ut fra interferensformelen:

$\lambda = \frac{d \sin\theta_1}{1} = 3.33 \cdot 10^{-6} \cdot \sin(8.25^\circ) \approx 478$ [nm]

Kommentar: Var meningen at b) og a) skulle gi omtrent samme svar, men jeg glemte at den grønne linjen (slik den ser ut i figurene i boken) så blå ut i spektroskopet, så i a) burde jeg ha sagt grønn, og da ville vi regnet ut fra nivå $n = 4$ til $n = 2$:

$E_{42} = -\frac{2.18}{4^2} - (-\frac{2.18}{2^2}) \approx 0.409$ [aJ]

$E_{42} = hf = h\frac{c}{\lambda}$ gir:

Bølgelengde: $\lambda = \frac{hc}{E_{52}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0.409 \cdot 10^{-18}} \approx 486$ [nm]

Da ser vi at vi får omtrent samme bølgelengde i a) og b).