# 12 Elektromagnetisk strålning

## Värmestrålning

12.1 Effekt anger energi omvandlad per tidsenhet, t.ex. den energi ett föremål emitterar per sekund.

$$P = \frac{E}{t}$$

Effekt kan uttryckas i emittans

$$P = MA$$

där emittansen i sin tur kan skrivas som

$$M = \sigma T^4$$

vilket ger $P = \sigma T^4 A$

Förhållandet mellan effekten vid 20 och vid 250 °C ges nu av

$$\frac{P_{250}}{P_{20}} = \frac{\sigma(250+273)^4 A}{\sigma(20+273)^4 A} = \frac{(250+273)^4}{(20+273)^4} = 10{,}2$$

Svar: Sant

12.2 Energin stjärnan strålar ut kan uttryckas som

$$E = Pt$$

där $P = MA$

vilket ger $E = MAt$

där emittansen fås från Stefan-Boltzmanns lag som

$$M = \sigma T^4$$

och $A = 4\pi r^2$

vilket ger $E = \sigma T^4 4\pi r^2 t$

Temperaturen fås från Wiens förskjutningslag enligt

$$\lambda_{\text{maz}} T = a$$

$$T = \frac{a}{\lambda_{\text{maz}}}$$

vilket ger oss den sökta energin som

$$E = \sigma \left( \frac{a}{\lambda_{\text{maz}}} \right)^4 4\pi r^2 t$$

där $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \text{W}/\left(\text{m}^2\text{K}^4\right)$, $a = 2{,}90 \cdot 10^{-3}\ \text{Km}$,

$\lambda_{\text{maz}}$=299 nm, $r$ = 1,9·10$^9$ m och $t$ = 1 s

Detta ger energin stjärnan strålar ut varje sekund som

$$E = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}}{299 \cdot 10^{-9}} \right)^4 4\pi \left(1{,}9 \cdot 10^9\right)^2 \cdot 1\ \text{J} =$$

$$= 2{,}28 \cdot 10^{28}\ \text{J}$$

Svar: $2{,}3 \cdot 10^{28}$ J

12.3 Kubens emittans ges av

$$M = \sigma T^4$$

vilket ger oss dess temperatur som

$$T = \left( \frac{M}{\sigma} \right)^{1/4}$$

där $M = \dfrac{P}{A}$

vilket ger $T = \left( \dfrac{P}{\sigma A} \right)^{1/4}$

där $P$ = 12 W och $A$ = 25 cm$^2$ = $25 \cdot 10^{-4}$ m$^2$.

Detta ger kubens temperatur som

$$T = \left( \frac{12}{5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 25 \cdot 10^{-4}} \right)^{1/4} \text{K} = 539{,}4\ \text{K}$$

Svar: 540 K

12.4 Wiens förskjutningslag ger oss våglängden enligt

$$\lambda_{\text{maz}} T = a$$

$$\lambda_{\text{maz}} = \frac{a}{T}$$

där $a = 2{,}90 \cdot 10^{-3}\,\text{Km}$ och $T = 3500\ ^\circ\text{C} = 3773\ \text{K}$

Detta ger den sökta våglängden som

$$\lambda_{\text{maz}} = \frac{2{,}90 \cdot 10^{-3}}{3773}\,\text{m} = 768{,}6\ \text{nm}$$

Svar: 770 nm

12.5 Temperaturen fås från Stefan-Boltzmanns lag enligt

$$M = \sigma T^4$$

$$T = \left(\frac{M}{\sigma}\right)^{1/4}$$

Där emittansen kan skrivas som

$$M = \frac{P}{A}$$

vilket ger $T = \left(\frac{P}{\sigma A}\right)^{1/4}$

där $A = 2\pi r \cdot l$

Den sökta temperaturen fås nu som

$$T = \left(\frac{P}{\sigma 2\pi r \cdot l}\right)^{1/4}$$

där $P = 500$ W, $r = 0{,}35$ mm och $l = 5{,}5$ m.

Detta ger oss trådens yttemperatur som

$$T = \left(\frac{500}{5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 2\pi \cdot 0{,}35 \cdot 10^{-3} \cdot 5{,}5}\right)^{1/4} \text{K} = 924\ \text{K}$$

Svar: 650 °C

12.6 Wiens förskjutningslag ger oss våglängden enligt

$$\lambda_{\text{maz}} T = a$$

$$\lambda_{\text{maz}} = \frac{a}{T}$$

Temperaturen fås från Stefan-Boltzmanns lag enligt

$$M = \sigma T^4$$

$$T = \left(\frac{M}{\sigma}\right)^{1/4}$$

Våglängden kan nu skrivas som

$$\lambda_{\text{maz}} = \frac{a}{\left(\left(\frac{M}{\sigma}\right)^{1/4}\right)} = a\left(\frac{\sigma}{M}\right)^{1/4}$$

där emittansen kan skrivas som

$$M = \frac{P}{A}$$

vilket ger våglängden som

$$\lambda_{\text{maz}} = a\left(\frac{\sigma A}{P}\right)^{1/4}$$

där $A = 4\pi r^2$

och $P = E/t$

Våglängden fås nu enligt

$$\lambda_{\text{maz}} = a\left(\frac{\sigma 4\pi r^2}{E/t}\right)^{1/4}$$

där $a = 2{,}90 \cdot 10^{-3}\ \text{Km}$, $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \text{W/}\left(\text{m}^2\text{K}^4\right)$,

$r = 1{,}6$ cm, $E = 1{,}2$ J och $t = 1$ s

Våglängden beräknas nu som

$$\lambda_{\text{maz}} = 2{,}90 \cdot 10^{-3}\left(\frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} 4\pi 0{,}016^2}{1{,}2/1}\right)^{1/4} \text{m} =$$

$$= 1{,}02 \cdot 10^{-5}\ \text{m}$$

Svar: 10 µm

## Både våg och partikel

12.7 En fotons energi ges av

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Om våglängden minskar ökar fotonens energi.

Svar: Sant

12.8 Fotonens energi ges av

$$E = hf$$

En stillastående elektron har viloenergin

$$E_0 = mc^2$$

Frekvensen som gör dessa lika fås därmed enligt

$$hf = mc^2$$

$$f = \frac{mc^2}{h}$$

där $m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg

vilket ger $f = \dfrac{9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot \left(3 \cdot 10^{8}\right)^2}{6{,}63 \cdot 10^{-34}}\,\text{Hz} = 1{,}24 \cdot 10^{20}\,\text{Hz}$

Svar: $1{,}2 \cdot 10^{20}$ Hz

12.9 a) Radiostationen sänder med effekten

$$P = \frac{E}{t}$$

Energin utgörs av $N$ stycken fotoner, var och en med energin $hf$

$$P = \frac{N \cdot hf}{t}$$

Detta ger oss antalet fotoner som

$$N = \frac{Pt}{hf}$$

där $P = 43$ kW, $t = 1$ s och $f = 89{,}3$ MHz vilket ger antalet fotoner som

$$N = \frac{43 \cdot 10^3 \cdot 1}{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 89{,}3 \cdot 10^6}\ \text{st} = 7{,}26 \cdot 10^{29}\ \text{st}$$

b) En foton har rörelsemängden

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 89{,}3 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^8}\ \text{kgm/s} =$$

$$= 1{,}97 \cdot 10^{-34}\ \text{kgm/s}$$

Svar: a) $7{,}3 \cdot 10^{29}$ st och b) $2{,}0 \cdot 10^{-34}$ kgm/s

12.10 Ljuskällans effekt fås som

$$P = \frac{E}{t}$$

där energin är summan energin hos de fotoner som lämnar ljuskällan varje sekund. Om det totalt avges $N$ fotoner varje sekund lika fördelade på två olika frekvenser fås energin som

$$E = E_1 + E_2 = \frac{N}{2} hf_1 + \frac{N}{2} hf_2 = \frac{N}{2} h(f_1 + f_2)$$

Nu kan ljuskällans effekt skrivas som

$$P = \frac{Nh}{2t}(f_1 + f_2)$$

där $N = 6{,}8 \cdot 10^{15}$, $t = 1$ s, $f_1 = 0{,}40 \cdot 10^{15}$ Hz

och $f_2 = 0{,}50 \cdot 10^{15}$ Hz

vilket ger $P = \dfrac{6{,}8 \cdot 10^{15} \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 1}\left(0{,}40 \cdot 10^{15} + 0{,}50 \cdot 10^{15}\right)$ W =

= 0,00203 W

Svar: 2,0 mW

## Fotoelektrisk effekt

12.11 Den fotoelektriska formeln ser ut som

$$hf = W_{\mathrm{u}} + E_{\mathrm{k}}$$

Den frigjorda elektronens rörelseenergi kan då skrivas som

$$E_{\mathrm{k}} = hf - W_{\mathrm{u}}$$

och är alltså linjärt beroende av det infallande ljusets frekvens.

Svar. Sant

12.12 Den fotoelektriska formeln ser ut som

$$hf = W_{\mathrm{u}} + E_{\mathrm{k}}$$

Fotonens frekvens fås som

$$f = \frac{W_{\mathrm{u}} + E_{\mathrm{k}}}{h}$$

där $W_{\mathrm{u}} = 6{,}2 \cdot 10^{-19}$ J och $E_{\mathrm{k}} = 3{,}2 \cdot 10^{-18}$ J

vilket ger fotonens frekvens som

$$f = \frac{6{,}2 \cdot 10^{-19} + 3{,}2 \cdot 10^{-18}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}}\ \text{Hz} = 5{,}76 \cdot 10^{-15}\ \text{Hz}$$

Svar: $5{,}8 \cdot 10^{-15}$ Hz

12.13 Gränsfrekvensen är den frekvens som gör fotonernas energi lika stor som utträdesarbetet

$$hf_g = W_{\mathrm{u}}$$

där $f_g = 750 \cdot 10^{12}$ Hz

vilket ger $W_{\mathrm{u}} = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 750 \cdot 10^{12}\ \text{J} = 4{,}97 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 3{,}1\ \text{eV}$

Svar: 3,1 eV

12.14 Den fotoelektriska formeln ser ut som

$$hf = W_\mathrm{u} + E_\mathrm{k}$$

eller $$\frac{hc}{\lambda} = W_\mathrm{u} + E_\mathrm{k}$$

Gränsvåglängden är den våglängd som gör fotonernas energi lika stor som utträdesarbetet

$$\frac{hc}{\lambda_g} = W_\mathrm{u}$$

vilket ger $$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_g} + E_\mathrm{k}$$

Elektroner med rörelseenergin $E_\mathrm{k}$ stoppas av spänningen $U = \dfrac{E_\mathrm{k}}{Q}$

Rörelseenergin kan alltså uttryckas som

$$E_\mathrm{k} = UQ$$

vilket ger $$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_g} + UQ$$

ur vilket den sökta spänningen fås som

$$U = \frac{1}{Q}\left(\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_g}\right) = \frac{hc}{Q}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g}\right)$$

där $Q = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$, $\lambda = 185 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{m}$

och $\lambda_g = 254 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{m}$

Detta ger $$U = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1{,}602 \cdot 10^{-19}} \cdot \left(\frac{1}{185 \cdot 10^{-9}} - \frac{1}{254 \cdot 10^{-9}}\right)\mathrm{V} =$$

$= 1{,}82$ V

Svar: 1,82 V

12.15 Den fotoelektriska formeln ser ut som

$$hf = W_u + E_k$$

ur vilken utträdesarbetet fås som

$$W_u = hf - E_k$$

där $f = 6{,}7 \cdot 10^{14}$ Hz och $E_k = 7{,}0 \cdot 10^{-20}$ J

vilket ger $W_u = 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 6{,}7 \cdot 10^{14} - 7{,}0 \cdot 10^{-20}\ \text{J} = 3{,}74 \cdot 10^{-19}\ \text{J} =$

$= 2{,}34$ eV

Svar: 2,3 eV

12.16 Först har vi

$$hf_1 = W_u + E_{k,1}$$

sedan har vi

$$hf_2 = h2f_1 = W_u + E_{k,2}$$

Detta ger oss

$$E_{k,2} = 2hf_1 - W_u$$

där $hf_1 = W_u + E_{k,1}$

vilket ger den sökta rörelseenergin som

$$E_{k,2} = 2(W_u + E_{k,1}) - W_u = 2E_{k,1} + W_u$$

där $E_{k,1} = 0{,}2$ eV och $W_u = 1{,}8$ eV

Detta ger rörelseenergin

$$E_{k,2} = 2 \cdot 0{,}2 + 1{,}8\ \text{eV} = 2{,}2\ \text{eV}$$

Svar: 2,2 eV

## Atomens elektronstruktur

12.17 En atom som sänder ut energi i form av en foton har mindre energi efter emissionen än för och hamnar sålunda i ett lägre energitillstånd efter att den emitterat en foton.

Svar: Falskt

12.18 Fotonens energi är lika med skillnaden mellan de nivåer vätet går mellan. Denna skillnad fås som

$$E_{\text{foton}} = \Delta E_{\text{väte}} = E_m - E_n = -\frac{B}{m^2} - \left(-\frac{B}{n^2}\right) = B\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

där $B = 2{,}179 \cdot 10^{-18}$ J, $n = 2$ och $m = 3$

Detta ger $E_{\text{foton}} = 2{,}179 \cdot 10^{-18}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)$ J $= 3{,}03 \cdot 10^{-19}$ J =

$= 1{,}89$ eV

Svar: 1,9 eV

12.19 Fotonens energi är lika stor som skillnaden mellan de två nivåer atomen går mellan. Detta ger

$$hf = \Delta E_{\text{atom}}$$

ur vilket den sökta frekvensen fås som

$$f = \frac{\Delta E_{\text{atom}}}{h}$$

där $\Delta E_{\text{atom}} = 1{,}3 \text{ eV} = 2{,}083 \cdot 10^{-19}$ J

och den sökta frekvensen beräknas till

$$f = \frac{2{,}083 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} \text{ Hz} = 3{,}14 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Svar: $3{,}1 \cdot 10^{14}$ Hz

12.20 Fotonens energi är lika med skillnaden mellan de nivåer vätet går mellan. Detta ger

$$hf = \Delta E_{\text{väte}} = E_m - E_n = -\frac{B}{m^2} - \left(-\frac{B}{n^2}\right) = B\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

ur vilket den sökta frekvensen fås som

$$f = \frac{B}{h}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

där $B = 2{,}179 \cdot 10^{-18}$ J, $n = 3$ och $m = 7$

och den sökta frekvensen beräknas som

$$f = \frac{2{,}179 \cdot 10^{-18}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}}\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{7^2}\right) \text{Hz} = 2{,}98 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Svar: $3{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz

12.21 Energin att gå från nivå $E_1$ till $E_4$ är lika med energin hos en foton med våglängden 330 nm

$$E_{1\to 4} = \frac{hc}{\lambda_{1\to 4}}$$

Lika stor är summan av energierna som emitteras då atomen går från $E_4$ till $E_3$ plus $E_3$ till $E_2$ plus $E_2$ till $E_1$.

$$E_{4\to 3} + E_{3\to 2} + E_{2\to 1} = \frac{hc}{\lambda_{4\to 3}} + \frac{hc}{\lambda_{3\to 2}} + \frac{hc}{\lambda_{2\to 1}}$$

Detta ger $\dfrac{hc}{\lambda_{1\to 4}} = \dfrac{hc}{\lambda_{4\to 3}} + \dfrac{hc}{\lambda_{3\to 2}} + \dfrac{hc}{\lambda_{2\to 1}}$

eller $\dfrac{1}{\lambda_{1\to 4}} = \dfrac{1}{\lambda_{4\to 3}} + \dfrac{1}{\lambda_{3\to 2}} + \dfrac{1}{\lambda_{2\to 1}}$

ur vilket den sökta våglängden fås enligt

$$\frac{1}{\lambda_{4\to 3}} = \frac{1}{\lambda_{1\to 4}} - \frac{1}{\lambda_{3\to 2}} - \frac{1}{\lambda_{2\to 1}}$$

$$\lambda_{4\to 3} = \frac{1}{\dfrac{1}{\lambda_{1\to 4}} - \dfrac{1}{\lambda_{3\to 2}} - \dfrac{1}{\lambda_{2\to 1}}}$$

där $\lambda_{1\to 4} = 330$ nm, $\lambda_{3\to 2} = 1140$ nm och $\lambda_{2\to 1} = 589$ nm

Den sökta våglängden beräknas som

$$\lambda_{4\to3} = \frac{1}{\frac{1}{330} - \frac{1}{1140} - \frac{1}{589}} \text{ nm} = 2196 \text{ nm}$$

Svar: 2,2 μm

12.22 Fotonens energi är lika med skillnaden mellan de nivåer vätet går mellan. Detta ger

$$\frac{hc}{\lambda} = \Delta E_{\text{väte}} = E_m - E_n = -\frac{B}{m^2} - \left(-\frac{B}{n^2}\right) = B\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

ur vilket den sökta nivån fås enligt

$$\frac{hc}{B\lambda} = \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

$$\frac{1}{m^2} = \frac{1}{n^2} - \frac{hc}{B\lambda} = \frac{B\lambda - n^2 hc}{B\lambda n^2}$$

$$m^2 = \frac{B\lambda n^2}{B\lambda - n^2 hc}$$

som $$m = \sqrt{\frac{B\lambda n^2}{B\lambda - n^2 hc}} = n\sqrt{\frac{B\lambda}{B\lambda - n^2 hc}}$$

där $B = 2{,}179 \cdot 10^{-18}$ J, $\lambda = 486{,}2 \cdot 10^{-9}$ m och $n = 2$

Detta ger oss atomens nivå före övergången

$$m = 2\sqrt{\frac{2{,}179 \cdot 10^{-18} \cdot 486{,}2 \cdot 10^{-9}}{2{,}179 \cdot 10^{-18} \cdot 486{,}2 \cdot 10^{-9} - 2^2 \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}} = 4{,}001$$

Svar: 4

12.23 Den längsta våglängden hör till övergången mellan de två tillstånd med minst skillnad i energi. Här har vi

$$24{,}6 - 11{,}2 \text{ eV} = 13{,}4 \text{ eV}$$

$$24{,}6 - 8{,}7 \text{ eV} = 15{,}9 \text{ eV}$$

och $11{,}2 - 8{,}7 \text{ eV} = 2{,}5 \text{ eV}$

Våglängden fås sedan från

$$E_{\text{foton}} = \frac{hc}{\lambda} = \Delta E_{\text{atom}} = 2{,}5 \text{ eV} = 4{,}01 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

som $\lambda = \dfrac{hc}{\Delta E_{\text{atom}}} = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{4{,}01 \cdot 10^{-19}} \text{ m} = 4{,}96 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Svar: 500 nm

12.24 Om atomen befinner sig i första exciterade tillståndet kan den gå till andra exciterade tillståndet genom att absorbera energin som motsvarar skillnaden mellan första och andra exciterade nivån.

$$\Delta E_{\text{atom}} = E_3 - E_2 = -0{,}5 - (-3{,}0) \text{ eV} = 2{,}5 \text{ eV} =$$

$$= 4{,}00 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Frekvensen hos ljus vars fotoner har denna energi fås från

$$hf = \Delta E_{\text{atom}} = 4{,}00 \cdot 10^{-19}$$

som $f = \dfrac{4{,}00 \cdot 10^{-19}}{h} = \dfrac{4{,}00 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} \text{ Hz} = 6{,}03 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Svar: $6{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz

## Både partikel och våg

12.25 Allt har en våglängd som ges av

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

där $p = mv = \dfrac{2E_\mathrm{k}}{v}$

vilket ger våglängden som

$$\lambda = \frac{hv}{2E_\mathrm{k}}$$

En elektrons rörelseenergi

$$E_\mathrm{k,e} = \frac{m_\mathrm{e}v_\mathrm{e}^2}{2} = \frac{9{,}1\cdot 10^{-31}v_\mathrm{e}^2}{2}$$

och en protons rörelseenergi

$$E_\mathrm{k,p} = \frac{m_\mathrm{p}v_\mathrm{p}^2}{2} = \frac{1{,}67\cdot 10^{-27}v_\mathrm{p}^2}{2}$$

är lika om

$$9{,}1\cdot 10^{-31}v_\mathrm{e}^2 = 1{,}67\cdot 10^{-27}v_\mathrm{p}^2$$

eller $v_\mathrm{e} = 43v_\mathrm{p}$

d.v.s. om en elektron och en proton har samma rörelseenergi är

$$v_\mathrm{e} > v_\mathrm{p}$$

Detta ger i sin tur att om en proton och en elektron har samma rörelseenergi är elektronens våglängd är större än protonens.

Svar: Sant

12.26 Elektronens våglängd ges av

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

där $p = mv$

vilket ger $\lambda = \frac{h}{mv}$

där $m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg och $v = 2{,}2 \cdot 10^{5}$ m/s.

Detta ger elektronens våglängd som

$$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot 2{,}2 \cdot 10^{5}} \text{ m} = 3{,}31 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Svar: 3,3 nm

12.27 Bollens våglängd ges av

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

där $p = mv$

vilket ger $\lambda = \frac{h}{mv}$

där $m = 0{,}25$ kg och $v$ behöver bestämmas.

Vid fritt fall bevaras den mekaniska energin vilket ger

$$mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2}$$

ur vilket den saknade hastigheten fås enligt

$$v_2 = \sqrt{2gh_1}$$

Bollens våglängd fås nu som

$$\lambda = \frac{h}{m\sqrt{2gh_1}}$$

där $h_1 = 50 \text{ m}$

Bollens våglängd beräknas nu enligt

$$\lambda = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{0{,}25\sqrt{2 \cdot 9{,}82 \cdot 50}} \text{ m} = 8{,}46 \cdot 10^{-35} \text{ m}$$

Svar: $8{,}5 \cdot 10^{-35}$ m

12.28 a) Elektronens rörelsemängd ges av

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

där $\lambda$ =2,6·10$^{-10}$ m

vilket ger $p = \dfrac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{2{,}6 \cdot 10^{-10}}$ kgm/s = $2{,}55 \cdot 10^{-24}$ kgm/s

b) Rörelseenergi och rörelsemängd hänger ihop enligt

$$E_\text{k} = \frac{pv}{2} = \frac{p^2}{2m}$$

där $m = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg

vilket ger $E_\text{k} = \dfrac{\left(2{,}55 \cdot 10^{-24}\right)^2}{2 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31}}$ J = $3{,}57 \cdot 10^{-18}$ J

Svar: a) $2{,}6 \cdot 10^{-24}$ kgm/s och b) $3{,}6 \cdot 10^{-18}$ J