Solutionnaire du chapitre 10

1. La longueur d'onde du pic est

$$\begin{aligned}\lambda_{pic} &= \frac{2,898\times10^{-3}mK}{T}\\ &= \frac{2,898\times10^{-3}mK}{3273K}\\ &= 885nm\end{aligned}$$

C'est une lumière dans l'infrarouge.

2. On a

$$\begin{aligned}\lambda_{pic} &= \frac{2,898\times10^{-3}mK}{T}\\ 502\times10^{-9}m &= \frac{2,898\times10^{-3}mK}{T}\\ T &= 5773K\end{aligned}$$

3. La puissance est

$$\begin{aligned}P &= \sigma A\left(T^4 - T_0^4\right)\\ &= 5,67\times10^{-8}\tfrac{W}{m^2K^4}\cdot 4\pi\left(3,2\times10^{10}m\right)^2\cdot\left(\left(6015K\right)^4 - \left(0K\right)^4\right)\\ &= 9,55\times10^{29}W\end{aligned}$$

Ce qui est environ 2500 fois plus lumineux que le Soleil.

4. a) La puissance est

$$\begin{aligned}P &= \sigma A\left(T^4 - T_0^4\right)\\ &= 5,67\times10^{-8}\tfrac{W}{m^2K^4}\cdot 1,8m^2\cdot\left(\left(310K\right)^4 - \left(293K\right)^4\right)\\ &= 190,4W\end{aligned}$$

(C'est la même puissance que pour faire du vélo avec un effort à peine soutenu.)

b) La puissance est

$$\begin{aligned} P &= \sigma A\left(T^4 - T_0^4\right) \\ &= 5,67\times10^{-8} \tfrac{W}{m^2K^4}\cdot 1,8m^2\cdot\left(\left(310K\right)^4 - \left(243K\right)^4\right) \\ &= 586,7W \end{aligned}$$

(C'est équivalent à un exercice vraiment très soutenu. Allez sur un vélo stationnaire qui affiche la puissance et essayez d'atteindre cette puissance…)

5. On trouve la température à partir de la puissance avec

$$P = \sigma A\left(T^4 - T_0^4\right)$$

Pour la trouver, on doit trouver l'aire du filament.

Le filament est un cylindre dont l'aire est

$$\begin{aligned} A &= 2\pi rl \\ &= 2\pi\cdot 0,0005m\cdot 0,1m \\ &= 3,1416\times10^{-4}m^2 \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} P &= \sigma A\left(T^4 - T_0^4\right) \\ 60W &= 5,67\times10^{-8} \tfrac{W}{m^2K^4}\cdot 3,1416\times10^{-4}m^2\cdot\left(T^4 - \left(293K\right)^4\right) \\ T &= 1355K = 1082°C \end{aligned}$$

6. L'énergie est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{550nm} \\ &= 2,25eV \end{aligned}$$

7. Le nombre de photons est donné par

$$N = \frac{\text{Énergie totale émise}}{\text{Énergie d'un photon}}$$

L'énergie d'un photon est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{632nm} \\ &= 1,962eV \\ &= 3,143\times10^{-19}J \end{aligned}$$

L'énergie émise par seconde est

$$\begin{aligned} E &= Pt \\ &= 0,001W\cdot1s \\ &= 0,001J \end{aligned}$$

Le nombre de photons est donc

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Énergie totale émise}}{\text{Énergie d'un photon}} \\ &= \frac{0,001J}{3,143\times10^{-19}\frac{J}{photons}} \\ &= 3,182\times10^{15}\,photons \end{aligned}$$

8. Le nombre de photons est donné par

$$N = \frac{\text{Énergie totale reçue}}{\text{Énergie d'un photon}}$$

L'énergie d'un photon est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{585nm} \\ &= 2{,}12eV \\ &= 3{,}396\times 10^{-19} J \end{aligned}$$

L'énergie reçue en 20 secondes est

$$\begin{aligned} E &= IA_{capteur}t \\ &= 50\tfrac{W}{m^2}\cdot 3m^2\cdot 20s \\ &= 3000J \end{aligned}$$

Le nombre de photons est donc

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Énergie totale reçue}}{\text{Énergie d'un photon}} \\ &= \frac{3000J}{3{,}396\times 10^{-19}\frac{J}{photons}} \\ &= 8{,}835\times 10^{21}\ photons \end{aligned}$$

9. Le nombre de photons est donné par

$$N = \frac{\text{Énergie totale reçue}}{\text{Énergie d'un photon}}$$

L'énergie d'un photon est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{470nm} \\ &= 2{,}638eV \\ &= 4{,}227\times 10^{-19} J \end{aligned}$$

L'énergie reçue par seconde est

$$\begin{aligned} E &= IA_{capteur}t \\ &= 200\tfrac{W}{m^2}\cdot\pi\left(0,0025m\right)^2\cdot 1s \\ &= 0,003927J \end{aligned}$$

Le nombre de photons est donc

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Énergie totale reçue}}{\text{Énergie d'un photon}} \\ &= \frac{0,003927J}{4,227\times10^{-19}\,\frac{J}{photons}} \\ &= 9,291\times10^{15}\ photons \end{aligned}$$

10. L'énergie maximale des électrons se trouve avec

$$E_{k\max} = hf - \phi$$

L'énergie des photons est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{150nm} \\ &= 8,267eV \end{aligned}$$

L'énergie maximale des électrons éjectés est donc

$$\begin{aligned} E_{k\max} &= hf - \phi \\ &= 8,267eV - 4,5eV \\ &= 3,767eV \end{aligned}$$

11. L'énergie maximale des électrons se trouve avec

$$E_{k\max} = hf - \phi$$

Le travail d'extraction du césium est

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{1240eVnm}{\lambda_0}\\ &= \frac{1240eVnm}{686nm}\\ &= 1,808eV\end{aligned}$$

a) Avec une longueur d'onde de 690 nm, l'énergie des photons est

$$\begin{aligned}E &= \frac{1240eVnm}{\lambda}\\ &= \frac{1240eVnm}{690nm}\\ &= 1,797eV\end{aligned}$$

L'énergie des électrons éjectés est alors

$$\begin{aligned}E_{k\max} &= hf - \phi\\ &= 1,797eV - 1,808eV\\ &= -0,011eV\end{aligned}$$

Cela signifie qu'il n'y a pas d'électrons éjectés puisqu'une énergie cinétique négative est impossible. Les photons n'ont tout simplement pas assez d'énergie pour éjecter des électrons.

b) Avec une longueur d'onde de 450 nm, l'énergie des photons est

$$\begin{aligned}E &= \frac{1240eVnm}{\lambda}\\ &= \frac{1240eVnm}{450nm}\\ &= 2,756eV\end{aligned}$$

L'énergie des électrons éjectés est alors

$$\begin{aligned}E_{k\max} &= hf - \phi\\ &= 2,756eV - 1,808eV\\ &= 0,948eV\end{aligned}$$

12. a) La longueur d'onde seuil est

$$\phi = \frac{1240eVnm}{\lambda_0}$$
$$3,2eV = \frac{1240eVnm}{\lambda_0}$$
$$\lambda_0 = 387,5nm$$

b) On trouve la vitesse maximale à partir de l'énergie cinétique maximale qui elle-même se trouve avec

$$E_{k\max} = hf - \phi$$

Avec une longueur d'onde de 250 nm, l'énergie des photons est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{250nm} \\ &= 4,96eV \end{aligned}$$

L'énergie des électrons éjectés est alors

$$\begin{aligned} E_{k\max} &= hf - \phi \\ &= 4,96eV - 3,2eV \\ &= 1,76eV \\ &= 2,82\times10^{-19}J \end{aligned}$$

La vitesse des électrons est donc

$$E_{k\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$
$$2,82\times10^{-19}J = \frac{1}{2}\cdot 9,1094\times10^{-31}kg\cdot v_{\max}^2$$
$$v_{\max} = 7,868\times10^5 \tfrac{m}{s}$$

13. La longueur d'onde seuil se trouve à partir du travail d'extraction ϕ qui lui-même se trouve avec

$$E_{k\max} = hf - \phi$$

L'énergie cinétique maximale des électrons est

$$\begin{aligned}E_{k\max} &= \frac{1}{2}mv_{\max}^2\\ &= \frac{1}{2}\cdot 9{,}1094\times 10^{-31}kg\cdot\left(5\times 10^5 \tfrac{m}{s}\right)^2\\ &= 1{,}139\times 10^{-19}J\\ &= 0{,}711eV\end{aligned}$$

L'énergie des photons est

$$\begin{aligned}E &= \frac{1240eVnm}{\lambda}\\ &= \frac{1240eVnm}{400nm}\\ &= 3{,}1eV\end{aligned}$$

On trouve alors le travail d'extraction avec

$$\begin{aligned}E_{k\max} &= hf - \phi\\ 0{,}711eV &= 3{,}1eV - \phi\\ \phi &= 2{,}389eV\end{aligned}$$

La longueur d'onde seuil est donc de

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{1240eVnm}{\lambda_0}\\ 2{,}389eV &= \frac{1240eVnm}{\lambda_0}\\ \lambda_0 &= 519nm\end{aligned}$$

14. Puisque 3 % des photons éjectent des électrons, le nombre d'électrons éjectés est

$$N_{électrons} = 0{,}03\cdot N_{photons}$$

Le nombre de photons reçus se trouve avec

$$N_{photons} = \frac{\text{Énergie totale}}{\text{Énergie d'un photon}}$$

L'énergie d'un photon est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{450nm} \\ &= 2,756eV \\ &= 4,414\times10^{-19} J \end{aligned}$$

L'énergie reçue par seconde pour une surface de 1 cm² est

$$\begin{aligned} E &= IA_{capteur}t \\ &= 40\tfrac{W}{m^2}\cdot 0,0001m^2\cdot 1s \\ &= 0,004J \end{aligned}$$

Le nombre de photons reçus est donc

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Énergie totale}}{\text{Énergie d'un photon}} \\ &= \frac{0,004J}{4,414\times10^{-19}\,\frac{J}{photons}} \\ &= 9,091\times10^{15}\,photons \end{aligned}$$

Le nombre d'électrons éjectés est donc

$$\begin{aligned} N_{électrons} &= 0,03\cdot N_{photons} \\ &= 0,03\cdot 9,061\times10^{15} \\ &= 2,718\times10^{14} \end{aligned}$$

15. a) Le changement de longueur d'onde est

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= 2,4263\times10^{-3}nm\cdot\left(1-\cos\theta\right) \\ &= 2,4263\times10^{-3}nm\cdot\left(1-\cos 45°\right) \\ &= 0,0007106nm \end{aligned}$$

b) La longueur d'onde du photon incident est

$$E = \frac{1240eVnm}{\lambda}$$
$$62\,000eV = \frac{1240eVnm}{\lambda}$$
$$\lambda = 0,02nm$$

La nouvelle longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda' &= \lambda + \Delta\lambda \\ &= 0,02nm + 0,0007106nm \\ &= 0,0207106nm\end{aligned}$$

c) La nouvelle énergie du photon est

$$\begin{aligned}E' &= \frac{1240eVnm}{\lambda'} \\ &= \frac{1240eVnm}{0,0207106nm} \\ &= 59\,873eV\end{aligned}$$

d) L'énergie cinétique de l'électron est

$$E_\gamma = E'_\gamma + E_{k\,e}$$
$$62\,000eV = 59\,873eV + E_{k\,e}$$
$$E_{k\,e} = 2127eV$$

e) On trouve l'angle avec la conservation de la quantité de mouvement en y

$$0 = p'_\gamma \sin\theta - p'_e \sin\phi$$

On trouve la quantité de mouvement du photon avec

$$E' = p'_\gamma c$$
$$59\,873 \cdot 1,602\times10^{-19} J = p'_\gamma \cdot 3\times10^8 \tfrac{m}{s}$$
$$p'_\gamma = 3,197\times10^{-23} \tfrac{kgm}{s}$$

On trouve la quantité de mouvement de l'électron avec

$$E_e = \frac{p^2}{2m}$$

$$2127 \cdot 1,602 \times 10^{-19} J = \frac{p_e'^2}{2 \cdot 9,1094 \times 10^{-31} kg}$$

$$p_e' = 2,491 \times 10^{-23} \tfrac{kgm}{s}$$

On a donc

$$0 = p_\gamma' \sin\theta - p_e' \sin\phi$$

$$0 = 3,197 \times 10^{-23} \tfrac{kgm}{s} \cdot \sin 45° - 2,491 \times 10^{-23} \tfrac{kgm}{s} \cdot \sin\phi$$

$$0 = 3,197 \cdot \sin 45° - 2,491 \cdot \sin\phi$$

$$\phi = 65,1°$$

16. On trouve l'angle de diffusion avec

$$\Delta\lambda = 2,4263 \times 10^{-3} nm \cdot (1 - \cos\theta)$$

Pour trouver l'angle, il faut trouver le changement de longueur d'onde, Ce dernier se trouve avec les longueurs d'onde avant et après la collision.

La longueur d'onde initiale est

$$E = \frac{1240 eVnm}{\lambda}$$

$$50\,000 eV = \frac{1240 eVnm}{\lambda}$$

$$\lambda = 0,0248 nm$$

La longueur d'onde après la diffusion est

$$E' = \frac{1240 eVnm}{\lambda'}$$

$$49\,500 eV = \frac{1240 eVnm}{\lambda'}$$

$$\lambda' = 0,02505 nm$$

Le changement de longueur d'onde est donc

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \lambda' - \lambda \\ &= 0,02505nm - 0,0248nm \\ &= 0,00025nm\end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{gathered}\Delta\lambda = 2,4263\times10^{-3}\,nm\cdot(1-\cos\theta) \\ 0,00025nm = 2,4263\times10^{-3}\,nm\cdot(1-\cos\theta) \\ \theta = 26,3°\end{gathered}$$

17. La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{p} \\ &= \frac{h}{mv} \\ &= \frac{6,626\times10^{-34}\,Js}{1,6726\times10^{-27}\,kg\cdot10^{4}\,\frac{m}{s}} \\ &= 3,96\times10^{-11}\,m = 0,0396nm\end{aligned}$$

18. La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{p} \\ &= \frac{h}{\gamma mv} \\ &= \frac{6,626\times10^{-34}\,Js}{\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{2\times10^{8}\frac{m}{s}}{3\times10^{8}\frac{m}{s}}\right)^{2}}}\cdot1,6726\times10^{-27}\,kg\cdot2\times10^{8}\,\frac{m}{s}} \\ &= 1,476\times10^{-15}\,m\end{aligned}$$

19. La longueur d'onde est donnée par

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

On va trouver la vitesse à partir de l'énergie cinétique.

Avec une énergie cinétique de 10 eV, la vitesse de l'électron est

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$
$$10 \cdot 1,602 \times 10^{-19} J = \frac{1}{2} \cdot 9,1094 \times 10^{-31} kg \cdot v^2$$
$$v = 1,875 \times 10^6 \tfrac{m}{s}$$

La longueur d'onde est donc

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{mv} \\ &= \frac{6,626 \times 10^{-34} Js}{9,1094 \times 10^{-31} kg \cdot 1,875 \times 10^6 \tfrac{m}{s}} \\ &= 3,879 \times 10^{-10} m = 0,3879 nm\end{aligned}$$

20. Quand l'énergie cinétique est de 6 eV, la vitesse de l'électron est

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$
$$6 \cdot 1,602 \times 10^{-19} J = \frac{1}{2} \cdot 9,1094 \times 10^{-31} kg \cdot v^2$$
$$v = 1,453 \times 10^6 \tfrac{m}{s}$$

La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{p} \\ &= \frac{h}{mv} \\ &= \frac{6,626 \times 10^{-34} Js}{9,1094 \times 10^{-31} kg \cdot 1,453 \times 10^6 \tfrac{m}{s}} \\ &= 5,007 \times 10^{-10} m = 0,5007 nm\end{aligned}$$

Quand U monte à 2 eV, l'énergie cinétique baisse à 4 eV. La vitesse de l'électron est alors

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}mv^2 \\ 4\cdot 1,602\times 10^{-19} J &= \frac{1}{2}\cdot 9,1094\times 10^{-31} kg\cdot v^2 \\ v &= 1,186\times 10^6 \tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

et la longueur d'onde est

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h}{p} \\ &= \frac{h}{mv} \\ &= \frac{6,626\times 10^{-34} Js}{9,1094\times 10^{-31} kg\cdot 1,186\times 10^6 \tfrac{m}{s}} \\ &= 6,132\times 10^{-10} m = 0,6132 nm \end{aligned}$$

Le changement de longueur d'onde est donc

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \lambda' - \lambda \\ &= 0,6132 nm - 0,5007 nm \\ &= 0,1125 nm \end{aligned}$$

21. La distance x est la distance entre les maximums d'interférence d'ordre 2. On va trouver la position de ces maximums avec

$$d\sin\theta = m\lambda$$

On a d, mais on doit trouver la longueur d'onde des électrons avec h/p.

Avec une énergie cinétique de 2 eV, la vitesse de l'électron est

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2}mv^2 \\ 2\cdot 1,602\times 10^{-19} J &= \frac{1}{2}\cdot 9,1094\times 10^{-31} kg\cdot v^2 \\ v &= 8,3877\times 10^5 \tfrac{m}{s} \end{aligned}$$

La longueur d'onde est donc

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{p} \\ &= \frac{h}{mv} \\ &= \frac{6,626\times10^{-34}Js}{9,1094\times10^{-31}kg\cdot 8,3877\times10^{5}\frac{m}{s}} \\ &= 8,672\times10^{-10}m = 0,8672nm\end{aligned}$$

L'angle du maximum d'ordre 2 est donc

$$\begin{gathered}d\sin\theta = m\lambda \\ 0,1\times10^{-6}m\cdot\sin\theta = 2\cdot 8,672\times10^{-10}m \\ \theta = 0,9938°\end{gathered}$$

La distance entre le maximum central et le maximum d'ordre 2 est donc

$$\begin{gathered}\tan\theta = \frac{y}{L} \\ \tan\left(0,9938°\right) = \frac{y}{300cm} \\ y = 5,204cm\end{gathered}$$

La distance entre les deux maximums d'ordre 2 est deux fois plus grande. Elle vaut donc 10,408 cm.

22. L'incertitude sur la quantité de mouvement est

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_{\max} - p_{\min} \\ &= 2,05\times10^{-23}\tfrac{kgm}{s} - 2\times10^{-23}\tfrac{kgm}{s} \\ &= 5\times10^{-25}\tfrac{kgm}{s}\end{aligned}$$

L'incertitude sur la position est donc

$$\begin{gathered}\Delta x\Delta p = h \\ \Delta x\cdot 5\times10^{-25}\tfrac{kgm}{s} = 6,626\times10^{-34}Js \\ \Delta x = 1,325\times10^{-9}m = 1,325nm\end{gathered}$$

23. L'incertitude sur l'énergie est

$$\Delta E \Delta t = h$$
$$\Delta E \cdot 10^{-8} s = 6,626 \times 10^{-34} Js$$
$$\Delta E = 6,626 \times 10^{-26} J = 4,136 \times 10^{-7} eV$$