

Solutionnaire du chapitre 10

1. La longueur d'onde du pic est

$$\begin{aligned}\lambda_{pic} &= \frac{2,898 \times 10^{-3} mK}{T} \\ &= \frac{2,898 \times 10^{-3} mK}{3273 K} \\ &= 885 nm\end{aligned}$$

C'est une lumière dans l'infrarouge.

2. On a

$$\begin{aligned}\lambda_{pic} &= \frac{2,898 \times 10^{-3} mK}{T} \\ 502 \times 10^{-9} m &= \frac{2,898 \times 10^{-3} mK}{T} \\ T &= 5773 K\end{aligned}$$

3. La puissance est

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

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

4. a) La puissance est

$$\begin{aligned}P &= \sigma A (T^4 - T_0^4) \\ &= 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot 1,8 m^2 \cdot ((310 K)^4 - (293 K)^4) \\ &= 190,4 W\end{aligned}$$

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

b) La puissance est

$$\begin{aligned} P &= \sigma A(T^4 - T_0^4) \\ &= 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 1,8 \text{m}^2 \cdot \left((310\text{K})^4 - (243\text{K})^4 \right) \\ &= 586,7 \text{W} \end{aligned}$$

(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

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

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

Le filament est un cylindre dont l'aire est

$$\begin{aligned} A &= 2\pi rl \\ &= 2\pi \cdot 0,0005\text{m} \cdot 0,1\text{m} \\ &= 3,1416 \times 10^{-4} \text{m}^2 \end{aligned}$$

On a donc

$$\begin{aligned} P &= \sigma A(T^4 - T_0^4) \\ 60\text{W} &= 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 3,1416 \times 10^{-4} \text{m}^2 \cdot \left(T^4 - (293\text{K})^4 \right) \\ T &= 1355\text{K} = 1082^\circ\text{C} \end{aligned}$$

6. L'énergie est

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

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

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240eVnm}{\lambda} \\ &= \frac{1240eVnm}{632nm} \\ &= 1,962eV \\ &= 3,143 \times 10^{-19} J \end{aligned}$$

L'énergie émise par seconde est

$$\begin{aligned} E &= Pt \\ &= 0,001W \cdot 1s \\ &= 0,001J \end{aligned}$$

Le nombre de photons est donc

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Énergie totale émise}}{\text{Énergie d'un photon}} \\ &= \frac{0,001J}{3,143 \times 10^{-19} \frac{J}{\text{photons}}} \\ &= 3,182 \times 10^{15} \text{ photons} \end{aligned}$$

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

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

Le nombre de photons est donc

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

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

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

Le nombre de photons est donc

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\text{Énergie totale reçue}}{\text{Énergie d'un photon}} \\
 &= \frac{0,003927\text{J}}{4,227 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{photons}}} \\
 &= 9,291 \times 10^{15} \text{ photons}
 \end{aligned}$$

10. L'énergie maximale des électrons se trouve avec

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

L'énergie des photons est

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

L'énergie maximale des électrons éjectés est donc

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

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

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

$$= \frac{1240eVnm}{250nm}$$

$$= 4,96eV$$

L'énergie des électrons éjectés est alors

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

$$= 4,96eV - 3,2eV$$

$$= 1,76eV$$

$$= 2,82 \times 10^{-19} J$$

La vitesse des électrons est donc

$$E_{k\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

$$2,82 \times 10^{-19} J = \frac{1}{2} \cdot 9,1094 \times 10^{-31} kg \cdot v_{\max}^2$$

$$v_{\max} = 7,868 \times 10^5 \frac{m}{s}$$

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

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

L'énergie des photons est

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

On trouve alors le travail d'extraction avec

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

La longueur d'onde seuil est donc de

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

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

$$N_{\text{electrons}} = 0,03 \cdot N_{\text{photons}}$$

Le nombre de photons reçus se trouve avec

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

L'énergie d'un photon est

$$\begin{aligned} E &= \frac{1240\text{eVnm}}{\lambda} \\ &= \frac{1240\text{eVnm}}{450\text{nm}} \\ &= 2,756\text{eV} \\ &= 4,414 \times 10^{-19}\text{J} \end{aligned}$$

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

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

Le nombre de photons reçus est donc

$$\begin{aligned} N &= \frac{\text{Énergie totale}}{\text{Énergie d'un photon}} \\ &= \frac{0,004\text{J}}{4,414 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{photons}}} \\ &= 9,091 \times 10^{15} \text{photons} \end{aligned}$$

Le nombre d'électrons éjectés est donc

$$\begin{aligned} N_{\text{électrons}} &= 0,03 \cdot N_{\text{photons}} \\ &= 0,03 \cdot 9,091 \times 10^{15} \\ &= 2,718 \times 10^{14} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= 2,4263 \times 10^{-3} \text{nm} \cdot (1 - \cos \theta) \\ &= 2,4263 \times 10^{-3} \text{nm} \cdot (1 - \cos 45^\circ) \\ &= 0,0007106\text{nm} \end{aligned}$$

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

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$$

$$= 0,02nm + 0,0007106nm$$

$$= 0,0207106nm$$

c) La nouvelle énergie du photon est

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

$$= \frac{1240eVnm}{0,0207106nm}$$

$$= 59\,873eV$$

d) L'énergie cinétique de l'électron est

$$E_\gamma = E'_\gamma + E_{ke}$$

$$62\,000eV = 59\,873eV + E_{ke}$$

$$E_{ke} = 2127eV$$

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

$$E' = p'_\gamma c$$

$$59\,873 \cdot 1,602 \times 10^{-19} J = p'_\gamma \cdot 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

$$p'_\gamma = 3,197 \times 10^{-23} \frac{kgm}{s}$$

On trouve la quantité de mouvement de l'électron avec

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

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

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

On a donc

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

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

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

$$\phi = 65,1^\circ$$

16. On trouve l'angle de diffusion avec

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

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

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

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

$$\lambda = 0,0248 \text{ nm}$$

La longueur d'onde après la diffusion est

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

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

$$\lambda' = 0,02505 \text{ nm}$$

Le changement de longueur d'onde est donc

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

On a donc

$$\begin{aligned}
 \Delta\lambda &= 2,4263 \times 10^{-3} \text{nm} \cdot (1 - \cos \theta) \\
 0,00025\text{nm} &= 2,4263 \times 10^{-3} \text{nm} \cdot (1 - \cos \theta) \\
 \theta &= 26,3^\circ
 \end{aligned}$$

17. La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{h}{p} \\
 &= \frac{h}{mv} \\
 &= \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{Js}}{1,6726 \times 10^{-27} \text{kg} \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\
 &= 3,96 \times 10^{-11} \text{m} = 0,0396\text{nm}
 \end{aligned}$$

18. La longueur d'onde est

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{h}{p} \\
 &= \frac{h}{\gamma mv} \\
 &= \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{Js}}{\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}\right)^2}} \cdot 1,6726 \times 10^{-27} \text{kg} \cdot 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\
 &= 1,476 \times 10^{-15} \text{m}
 \end{aligned}$$

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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

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

$$v = 1,875 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La longueur d'onde est donc

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

$$= \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,875 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$= 3,879 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,3879 \text{ nm}$$

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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$6 \cdot 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot 9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot v^2$$

$$v = 1,453 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La longueur d'onde est

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

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

$$= \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,453 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$= 5,007 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,5007 \text{ nm}$$

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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$4 \cdot 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot 9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot v^2$$

$$v = 1,186 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

et la longueur d'onde est

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

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

$$= \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,186 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$= 6,132 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,6132 \text{ nm}$$

Le changement de longueur d'onde est donc

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$$

$$= 0,6132 \text{ nm} - 0,5007 \text{ nm}$$

$$= 0,1125 \text{ nm}$$

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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

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

$$v = 8,3877 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La longueur d'onde est donc

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

L'angle du maximum d'ordre 2 est donc

$$\begin{aligned}d \sin \theta &= m\lambda \\ 0,1 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \sin \theta &= 2 \cdot 8,672 \times 10^{-10} \text{ m} \\ \theta &= 0,9938^\circ\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{y}{L} \\ \tan(0,9938^\circ) &= \frac{y}{300 \text{ cm}} \\ y &= 5,204 \text{ cm}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_{\max} - p_{\min} \\ &= 2,05 \times 10^{-23} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} - 2 \times 10^{-23} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \\ &= 5 \times 10^{-25} \frac{\text{kgm}}{\text{s}}\end{aligned}$$

L'incertitude sur la position est donc

$$\begin{aligned}\Delta x \Delta p &= h \\ \Delta x \cdot 5 \times 10^{-25} \frac{\text{kgm}}{\text{s}} &= 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js} \\ \Delta x &= 1,325 \times 10^{-9} \text{ m} = 1,325 \text{ nm}\end{aligned}$$

23. L'incertitude sur l'énergie est

$$\Delta E \Delta t = h$$

$$\Delta E \cdot 10^{-8} \text{ s} = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\Delta E = 6,626 \times 10^{-26} \text{ J} = 4,136 \times 10^{-7} \text{ eV}$$