Correction des exercices Dualité onde-particule

25-28-31 p 390- 398

Exercice 25 p394

L'uranium et le cobalt se désintègrent spontanément selon deux types de radioactivité : alpha et béta moins. Les équations sont les suivantes :

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$
$$^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e + \overline{\upsilon}$$

On associe aux particules alpha et béta moins des ondes de matière dont les longueurs d'onde sont les suivantes :

$\lambda_\alpha = 1{,}04.10^{-14}\,m$

$\lambda_{\beta^-} = 2{,}43.10^{-11}\,m$

1. D'après la relation de de Broglie : $\lambda = \frac{h}{p}$ avec λ la longueur d'onde de matière de la particule en m, p la quantité de mouvement de la particule et h la constante de Planck.

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

$$p = \frac{h}{\lambda} = m.v$$
$$v = \frac{h}{\lambda.m}$$

Pour des particules non relativistes : $p = m.v$ et donc $v = \frac{h}{m.\lambda}$

Pour les particules β^- (un électron) :

$$v_\beta = \frac{h}{m_e.\lambda_\beta}$$
$$v_\beta = \frac{6{,}63.10^{-34}}{9{,}1.10^{-31}.2{,}43.10^{-11}}$$
$$v_\beta = 3{,}0.10^{7}\,m.s^{-1}$$

Pour les particules α (un noyau d'Hélium, 7300 plus massive qu'un électron) :

$$v_\alpha = \frac{h}{7300 \times m_e \times \lambda_\alpha}$$
$$v_\alpha = \frac{6{,}63.10^{-34}}{7300 \times 9{,}1.10^{-31} \times 1{,}04.10^{-14}}$$
$$v_\alpha = 9{,}6.10^{6}\,m.s^{-1}$$

3. a. $Ec = \frac{1}{2}m.v^2$

b. L'énergie cinétique des particules β^- est :

$$Ec_\beta = \frac{1}{2}m_e.v_\beta{}^2$$
$$Ec_\beta = \frac{1}{2} \times 9{,}1.10^{-31}.(3{,}0.10^{7})^2$$
$$Ec_\beta = 4{,}1.10^{-16}\,J$$

L'énergie cinétique des particules α est :

$$Ec_\alpha = \frac{1}{2} \times 7300 \times m_e \times v_\alpha{}^2$$
$$Ec_\alpha = \frac{1}{2} \times 7300 \times 9{,}1.10^{-31}.(9{,}6.10^{6})^2$$
$$Ec_\alpha = 3{,}1.10^{-13}\,J$$

On en conclut que l'énergie cinétique de la particule α est plus grande que celle de la particule β^-.

La particule alpha va environ trois fois moins vite que l'électron (particule béta moins) mais possède une masse beaucoup plus importante. Cela explique que son énergie cinétique soit environ 1000 fois plus élevée.

Exercice 28 p395

1 . Le caractère ondulatoire du photon est indiqué dans cette formule par la fréquence ν (ou la longueur d'onde λ). Le caractère particulaire est indiqué par l'énergie E que l'on affecte à ce photon.

2 . « *A.Einstein explique que l'énergie du photon sert en partie à arracher l'électron de l'atome, le reste étant emporté par l'électron sous forme d'énergie cinétique* ».

$$E_{photon} = h.\upsilon = E_1 + E_c(électron)$$

E_1 est une énergie d'ionisation.

3 . Si la fréquence du photon augmente, celui devient plus « énergétique ». La formule précédente montre alors que l'énergie cinétique de l'électron éjecté va aussi augmenter. En effet, pour un métal donné, l'énergie E_1 est constante. Le principe de conservation de l'énergie montre alors que l'énergie cinétique de l'électron augmente.

4. Pour une vitesse de l'électron de valeur nulle, Ec = 0 donc E = E_1(Cu), soit :

$$E_1(Cu) = \frac{h.c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{h.c}{E_1(Cu)}$$

$$\lambda = \frac{6,63.10^{-34} \times 3,00.10^{8}}{4,70 \times 1,60.10^{-19}}$$

$$\lambda = 2,64.10^{-7}\,m$$

Un tel résultat confirme qu'un rayonnement ultraviolet (la longueur d'onde dans l'air est $\lambda < 400$ nm) permet d'observer l'effet photoélectrique.

5. La théorie ondulatoire prévoit que des rayonnements, en augmentant leur intensité et/ou la durée d'exposition, vont apporter l'énergie nécessaire pour arracher un électron, ~~même si un rayonnement visible est moins énergétique qu'un rayonnement UV.~~ Le résultat expérimental ne le confirme pas.

~~D'après le modèle ondulatoire, l'énergie transférée par rayonnement au système dépend de la durée d'exposition. Ainsi, une exposition prolongée du métal à un rayonnement devrait permettre d'accumuler suffisamment d'énergie pour arracher un électron quelle que soit la longueur d'onde du rayonnement.~~

Pour interpréter l'effet photoélectrique, Einstein postule qu'un rayonnement est constitué de particules transportant des quanta d'énergie : les photons. Lors de l'effet photoélectrique, pour qu'un électron soit arraché, il faut que l'énergie du photon incident soit suffisante. Sinon, l'électron n'est pas arraché, quel que soit le nombre de photons incidents.

Exercice 31 p398

1 . Le phénomène de diffraction, comme celui des interférences, s'explique parfaitement à l'aide de la théorie ondulatoire de la lumière.

2 . L'énoncé dit que le pouvoir de résolution d'un microscope (qui représente la distance minimale séparant deux points distincts) est voisin de la longueur d'onde de la radiation qui éclaire l'objet observé. On voit donc que l'on a intérêt à utiliser une lumière de courte longueur d'onde pour augmenter le pouvoir de résolution de l'instrument. Dans le domaine du visible, on peut ainsi choisir des radiations proches des UV (400 nm).

3 . a . expression de la quantité de mouvement associée à la dualité onde/particule : il s'agit de la relation de de Broglie :

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

3 . b .
Expression de la quantité de mouvement de l'électron (lorsque les effets relativistes sont négligeables) :

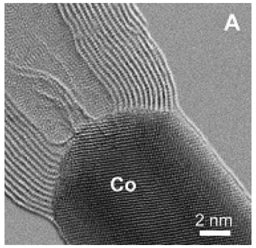
$$p = m.v$$

3 . c .

$$\lambda_{électron} = \frac{h}{p} = \frac{h}{m.v} = \frac{6,63.10^{-34}}{9,11.10^{-31}.1,0.10^{7}} = 7,3.10^{-11}m = 0,073nm$$

On vérifie en effet que les électrons qui sont utilisés dans un microscope électronique ont des longueurs d'onde très inférieures à celles de la lumière visible (400 / 800 nm).

4 . La photographie montre un cristal de cobalt sur lequel on fait croître un nanotube de carbone. On parvient sans peine sur cette photographie à discerner les atomes de cobalt qui constituent le cristal ainsi que les atomes de carbone qui forment le nanotube. Cela signifie que le pouvoir de résolution de ce microscope électronique est de l'ordre de grandeur du diamètre d'un atome, c'est-à-dire 10^{-10} m (0,1 nm). La réponse à la question précédente montre que c'est effectivement le cas.



Exercice 9 p 23..

9 Calculer la longueur d'onde d'une onde de matière

1. Pour cet électron non relativiste, la valeur de la quantité de mouvement est :
$p = m \cdot v = 9{,}11 \times 10^{-31} \times 3{,}00 \times 10^{4} \approx 9{,}00 \times 3{,}00 \times 10^{-27}$,
soit environ $2{,}7 \times 10^{-26}$ kg·m·s^{-1}.

2. D'après la relation de de Broglie, on a :

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}}{2{,}7 \times 10^{-26}} \approx \frac{6{,}6}{3} \times 10^{-8} = 2{,}2 \times 10^{-8} \text{ m.}$$

Exercice 15 p 23..

15 Étudier une transition

1. a. L'énergie du photon a pour expression :

$$\mathscr{E} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

soit
$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\mathscr{E}} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{10{,}0 \times 1{,}60 \times 10^{-19}}$$
$$= 1{,}24 \times 10^{-7} \text{ m} = 1{,}24 \times 10^{2} \text{ nm.}$$

b. Cette radiation appartient au domaine des ultraviolets (caractérisé dans l'air par une longueur d'onde inférieure à 400 nm).

2. Il s'agit d'une transition entre niveaux d'énergie électronique.