

TD N°6 DU MODULE DE PHYSIQUE
(Interaction REM- matière)

Questions: Cocher la ou les réponses correctes :

Q1) Une réaction d'annihilation :

- a) Aboutit à la production de deux électrons émis à 180° . **Faux**
- b) Se produit lors d'une interaction entre un positon et la matière. **Faux**
- c) Aboutit à l'émission de deux photons d'énergie $> 511 \text{ keV}$. **Faux**
- d) Aboutit à la production de 2 photons d'énergie proportionnelle à l'énergie de l'électron incident. **Faux**
- e) Aucune des propositions précédentes n'est exacte. **Vrai**

Q2) :

- a) Dans l'effet photoélectrique, la totalité de l'énergie du photon incident est transférée à l'électron. **Vrai**
- b) La production de paires est d'autant plus fréquente que le Z du milieu est faible. **Faux**
- c) L'effet photoélectrique génère toujours des électrons éjectés vers l'avant ($0-90^\circ$). **Vrai**
- d) L'effet Compton est majoritaire à des longueurs d'onde supérieures à celles de l'effet photoélectrique. **Faux**
- e) Les rayonnements ultraviolets peuvent se matérialiser. **Faux**

Q3) :

- a) Dans la diffusion Compton, la répartition de l'énergie entre le photon et l'électron n'est pas égale. **Vrai**
- b) L'effet Compton augmente toujours si l'énergie du photon incident augmente. **Faux**
- c) L'effet photoélectrique peut se produire quelle que soit l'énergie du photon incident. **Faux**
- d) L'effet photoélectrique augmente si l'énergie du photon diminue à Z constant. **Vrai**
- e) La probabilité d'effet photoélectrique diminue au profit de l'effet Compton lorsque le numéro atomique Z du milieu traversé augmente. **Faux**

Q4) :

- a) La diffusion Compton se fait sur des électrons des couches périphériques de l'atome. **Vrai**
- b) L'électron Compton reçoit le plus d'énergie possible quand l'angle de diffusion du photon est de $\pi/2$. **Faux**
- c) L'effet photoélectrique provoque l'excitation de l'atome du milieu. **Faux**
- d) L'effet photoélectrique donne toujours un spectre d'énergie continu à cause des RX de fluorescence émis. **Faux**
- e) En imagerie médicale interviennent surtout l'effet photoélectrique et l'effet Compton qui est prépondérant. **Vrai**

Q5) Cocher la proposition correcte :

L'énergie cinétique de l'électron est maximale dans une diffusion Compton lorsque :

- a) L'énergie du photon diffusé $E' = 0$
- b) L'angle de diffusion $\theta = 0$
- ☒ c) L'angle de diffusion $\theta = \pi$
- d) L'angle de recul $\varphi = \pi$
- e) L'énergie du photon incident est maximale

Q6:

$$\lambda_1 \rightarrow E_{c_1} = 2,8 \text{ eV.}$$

$$\lambda_2 = 1,5 \lambda_1 \rightarrow E_{c_2} = 1,1 \text{ eV}$$

$$E_{c_1} = E_1 - W_0 \rightarrow \textcircled{1} : E_1 = \frac{12400}{\lambda_1}$$

$$E_{c_2} = E_2 - W_0 : E_2 = \frac{12400}{\lambda_2} = \frac{12400}{1,5 \lambda_1} = \frac{E_1}{1,5}$$

$$\Rightarrow E_{c_2} = \frac{E_1}{1,5} - W_0 \rightarrow \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} \wedge \textcircled{2} \Rightarrow W_0 = 3,4 \text{ eV}$$

Q7:

$$\lambda_{\text{compton}} = 0,024 \text{ \AA}.$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot c} = \frac{12,4 \text{ KeV} \cdot \text{ \AA}}{0,02426 \text{ \AA} \cdot c} =$$

$$E_0 = 511 \text{ KeV.}$$

$$E_c = E - E_0 : E = \frac{p^2 \cdot c^2}{2} + E_0^2 = 722,75 \text{ KeV}$$

$$\Rightarrow E_c = 211,75 \text{ KeV}$$

Q8:

$$E = 2 \text{ MeV}$$

$$(T_1 + E_0) + (T_2 + E_0) = 2 \cdot E$$

$$\Rightarrow T_1 + T_2 = 2E - 2E_0 = 2 \times 2 - 2 \times 0,511 = 2,978 \text{ MeV}$$

Q9:

3) $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12400}{\lambda}$: énergie du photon.

$E_0 = m_0 c^2$: énergie au repos de l'électron et aussi du positon.

donc: $2E_0 = 2E \Rightarrow \frac{12400}{\lambda} = m_0 c^2$

$\Rightarrow \lambda = \frac{12400}{m_0 c^2} = \frac{12400}{0,511 \times 10^6} = 0,02424 \text{ \AA}.$

5) $E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12400}{1,377 \times 10^2} = 0,9 \times 10^6 \text{ eV} < 2m_0 c^2$
 $< 1,022 \text{ MeV}.$

Donc ce photon ne peut pas se matérialiser.

Donc la réponse est d) 1, 2, 3.

Exercice 1:

1) a) Énergie du photon incident :

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{62,1 \times 10^{-12}} = 3,198 \times 10^{-15} \text{ J} = \frac{3,198 \times 10^{-15}}{1,6 \times 10^{-19}} = 19987,5 \text{ eV}$$

b) $E_c = E - W_L = 19987,5 - 12900 = 7087,5 \text{ eV};$

$$V = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 7087,5 \times 1,6 \times 10^{-19}}{9,1 \times 10^{-31}}} = 4,99 \times 10^7 \text{ m/s} = 0,166c > 0,1c \text{ (L'électron est relativiste)}$$

$$\gamma = \frac{E_c}{E_0} + 1 = \frac{7,087}{511} + 1 = 1,0138 \Rightarrow V = c \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0,164c$$

c) Le photon ne peut pas arracher un électron de la couche K car $E < W_k$

2-a) Dans un métal un électron libre occupe un niveau d'énergie appelé niveau du vide (N.V) tel que $E_{N.V} = 0$.

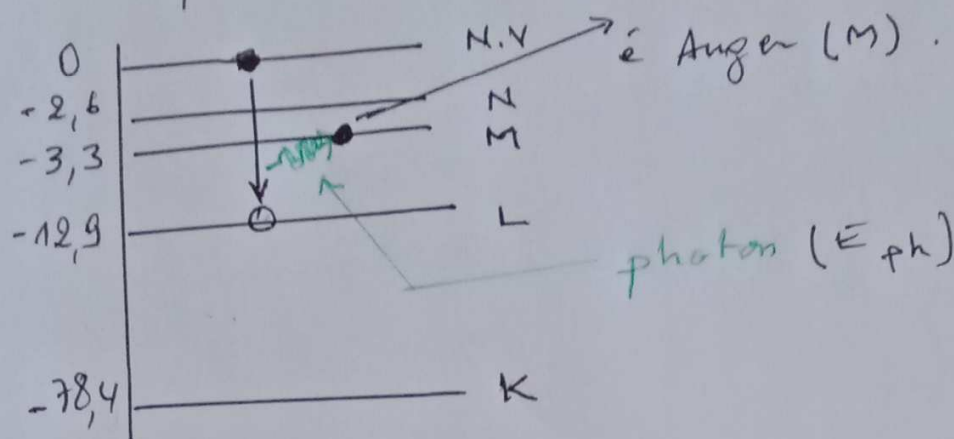
Lorsque l'électron libre est capturé il y a émission d'un photon d'énergie

$$E_{ph} = E_{N.V} - E_L = 0 - (-12,9) = 12,9 \text{ KeV}$$

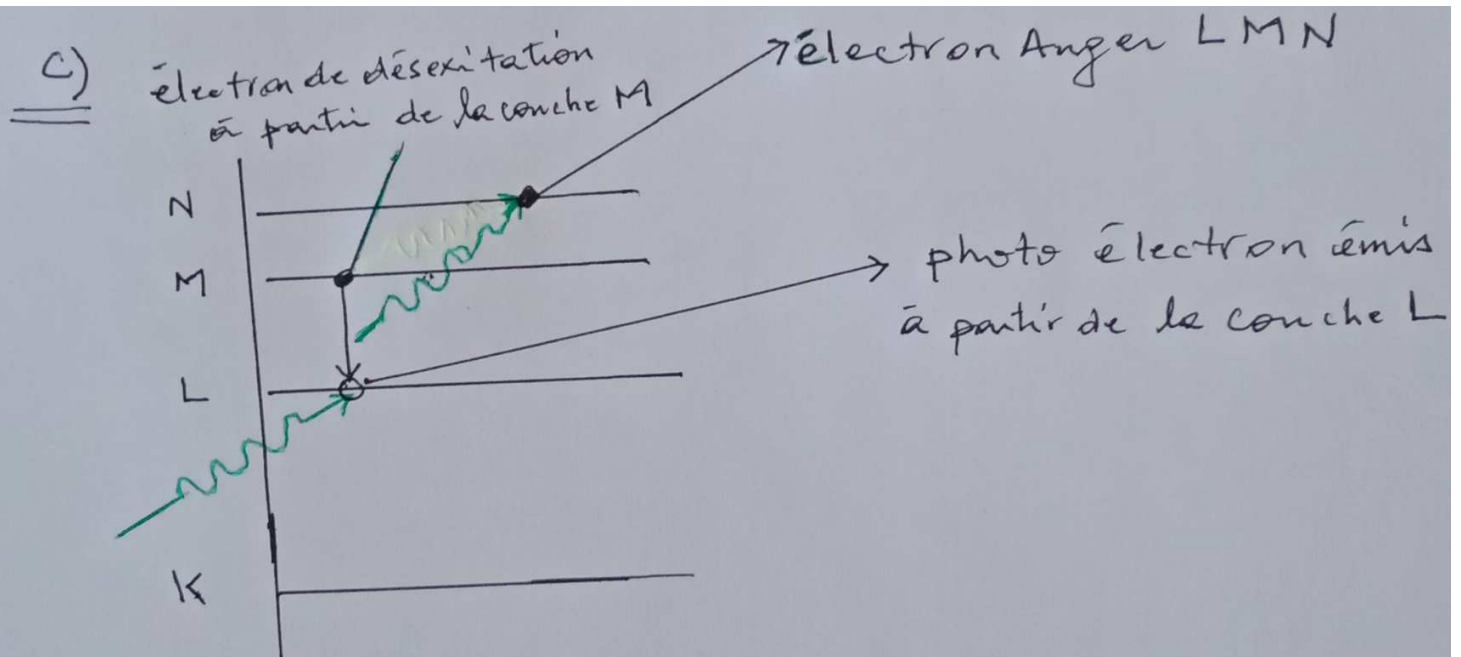
La longueur d'onde : $\lambda = \frac{12,4}{E} = \frac{12,4}{12,9} = 0,96 \text{ \AA}$

3-a)

Un électron Auger de type M est un électron Auger émis à partir de la couche M.



b) $E_C = E_{ph} - W_M = E_{ph} + E_M = 12,9 - 3,3 = 9,6 \text{ KeV}$



$$E_c = E_{ph} - W_N = (E_M - E_L) + E_N = -3,3 + 12,9 - 2,6 = 7 \text{ KeV}$$

EXERCICE 2:

1) a) $\gamma = \frac{E_c}{E_0} + 1 = \frac{0,1}{0,511} + 1 = 1,195 > 1,005$, l'électron est relativiste.

b) $V = C \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = 0,548C$

$$P = \frac{E_0}{C} \times \sqrt{\gamma^2 - 1} = \frac{511}{C} \times \sqrt{1,195^2 - 1} = 334,314 \text{ KeV/C}$$

$$\lambda_a(\text{\AA}) = \frac{12400}{PC(\text{eV})} = \frac{12400}{334314} = 0,037 \text{\AA}$$

2) Angle de diffusion : $\lambda' - \lambda = 0,024(1 - \cos \theta) \Rightarrow \cos \theta = 1 - \frac{\lambda' - \lambda}{0,024}$

$$\lambda = \frac{12400}{E} = \frac{12400}{0,5 \times 10^6} = 0,0248 \text{\AA}, \quad \lambda' = \frac{12400}{E'} = \frac{12400}{E - E_c} = \frac{12400}{0,4 \times 10^6} = 0,031 \text{\AA}$$

$$\cos \theta = 0,741 \Rightarrow \theta = 42,12^\circ.$$

3) $P' = \frac{h}{\lambda'} = \frac{6,62 \times 10^{-34}}{0,031 \times 10^{-10}} = 2,135 \times 10^{-22} \text{ Kg.m.s}^{-1} = 400 \text{ KeV/C}$

4) L'énergie cinétique de l'électron de recul est maximale lorsque $\theta = \pi$, soit $\lambda' - \lambda = 0,048 \text{\AA}$

$$\lambda' = 0,0728 \text{\AA} \Rightarrow E' = \frac{12400}{\lambda'} = 170329,6 \text{ eV} = 0,17 \text{ MeV} \Rightarrow E_c = E - E' = 0,33 \text{ MeV}$$

EXERCICE 3:

$$1) \lambda' = \lambda + 0,024(1 - \cos \theta) = 0,444 \text{ \AA}$$

$$2) E_c = E - E' = \frac{12400}{\lambda} - \frac{12400}{\lambda'} = \frac{12400}{0,4} - \frac{12400}{0,444} = 3072 \text{ eV} = 3,072 \text{ KeV}$$

$$\gamma = \frac{E_c}{E_0} + 1 = \frac{3,072}{511} + 1 = 1,006$$

$$m = \gamma m_0 = 1,006 \times 511 \approx 514 \text{ MeV}/c^2$$

$$3) \cotg \varphi = \tan \frac{\theta}{2} \left(1 + \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{1}{m_0 c^2} \right) = \tan 30 \left(1 + \frac{12400}{0,4} \cdot \frac{1}{0,511 \times 10^6} \right) = 0,6123 \Rightarrow \varphi = 58,51^\circ$$

EXERCICE 4:

- L'énergie de l'électron représente 40% de celle du positon : $E_c(e^-) = 0,4E_c(e^+)$

$$E = E_c(e^-) + E_c(e^+) + 2m_0C^2 = 0,4E_c(e^+) + E_c(e^+) + 2m_0C^2 = 1,4E_c(e^+) + 2m_0C^2$$

$$E_c(e^+) = \frac{E - 2m_0C^2}{1,4}, \text{ avec, } E = \frac{12400}{\lambda} = \frac{12400}{0,008} = 1,55 \times 10^6 \text{ eV.}$$

$$E_c(e^+) = \frac{1,55 - 2 \times 0,511}{1,4} = 0,377 \text{ MeV}$$

$$E_c(e^-) = 0,4 \times 0,377 = 0,150 \text{ MeV}$$