

Correction de l'Examen du 29 janvier 2020
 Master SM – « Interactions rayonnement – matière ».

1. Questions :

a- l'IF est à **courte portée** et agit dans un espace dont les dimensions sont de l'ordre du **fermi** dans lequel il y a attraction entre toutes les particules à l'intérieur du noyau (l'interaction électromagnétique de répulsion devient négligeable). l'IF est nulle à l'extérieur du noyau. (2 pts)

b- p = (uud) **charges (+2/3,+2/3,-1/3)**, n = (udd) **charges (-1/3,-1/3,+2/3)**. (1 pt)

c- mécanismes d'**absorption** : ionisation et excitation (0,5 pt)

- mécanismes d'**émission** : fluorescence et Auger (0,5 pt)

d- Fluorescence = émission de photons par réarrangement électronique (0,5 pt).

Effet Auger = effet photoélectrique par autoabsorption. (0,5 pt)

e- $E = hc / \lambda = 1240 \text{ eV.nm} / 372 \text{ nm} = 3.333 \text{ eV} = 10/3 \text{ eV}$.

1- Le photon transfère son énergie à un électron lié: $E = h\nu = E_l + E_c$. C'est l'effet photoélectrique. (0,5 pt)

2- $E_l = E - E_c = 3.333 - 1 = 2.333 \text{ eV}$ (0,5 pt)

f- Avec un électron ayant la vitesse $v = 0.01c$:

- impulsion $pc \equiv mvc = \frac{m_0vc}{\sqrt{1-\beta^2}} \approx m_0vc = m_0c^2 \frac{v}{c} = m_0c^2 \beta$; $\beta \equiv \frac{v}{c} = 0.01$, $\beta^2 = 0.0001 \ll 1$

$$pc = 511 \times 0.01 = 5.11 \text{ keV} = 5.11 \cdot 10^3 \text{ eV} \text{ (1 pt)}$$

- énergie cinétique $E_c \approx \frac{1}{2} m_0 v^2 = \frac{1}{2} m_0 c^2 \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{2} m_0 c^2 \beta^2$

$$E_c = \frac{1}{2} 511 \times 10^3 \times 0.0001 = 25.55 \text{ eV} \text{ (1 pt)}$$

- longueur d'onde $\lambda = hc / pc = 1.24 \cdot 10^3 \text{ eV.nm} / 5.11 \cdot 10^3 \text{ eV} = 0.242 \text{ nm}$. (0,5 pt)

k- Avec un électron ayant la vitesse $v = 0.9c$:

- impulsion $pc \equiv mvc = \frac{m_0vc}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{m_0c^2 \frac{v}{c}}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{m_0c^2 \beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $\beta \equiv \frac{v}{c} = 0.9$, $\beta^2 = 0.81$

$$pc = \frac{m_0c^2 \beta}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{511 \times 0.9}{\sqrt{1-0.81}} = \frac{459.9}{\sqrt{0.19}} = 1055.08 \text{ keV} = 1.055 \text{ MeV} \text{ (1 pt)}$$

- énergie cinétique $E_c = m_0c^2 \left[(1-\beta^2)^{-1/2} - 1 \right] = 511 [1.294] = 661.314 \text{ keV}$ (1 pt)

- longueur d'onde $\lambda = hc / pc = 1.24 \cdot 10^3 \text{ eV.nm} / 1055.08 \cdot 10^3 \text{ eV} = 1.175 \cdot 10^{-3} \text{ nm}$. (0,5 pt)

l- Si l'on considère un photon d'énergie 10 MeV :

- $E = h\nu = pc \Rightarrow p = E / c = 10 \text{ MeV}/c$, (0,5 pt) - $\lambda = hc / pc = 1.24 \cdot 10^3 \text{ eV.nm} / 1 \cdot 10^7 \text{ eV} = 1.24 \cdot 10^{-4} \text{ nm}$ (0,5 pt)

2. Exercice : Voir la démonstration dans le cours

Dans le cas de l'effet Compton entre un photon γ d'énergie E_γ et un électron e au repos.

a-

$$E_{\gamma'} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma(1 - \cos\theta)}{m_e c^2}} \quad (\text{démonstration } 0,5 \text{ pt})$$

$$E_e = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_0 c^2}{E_\gamma(1 - \cos\theta)}} \quad (\text{démonstration } 0,5 \text{ pt})$$

b- $E_\gamma = 4.8545 \text{ MeV} = 9.5 m_0 c^2$ car $m_0 c^2 = 0.511 \text{ MeV}$ (0,25 pt)

$$E_e^{\max} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{1}{19}} = \frac{19 E_\gamma}{20} = 4.611775 \text{ MeV} \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$E_{\gamma'}^{\min} = \frac{E_\gamma}{1 + 19} = 0.242725 \text{ MeV} \quad (0,5 \text{ pt})$$

c- $E = 9.9645 \text{ MeV} = 19.5 m_0 c^2$, $E' = 0.2491125 \text{ MeV} = E / 40$ (0,25 pt)

On envoie sur une cible des photons d'énergie E et pour avoir E' , on se place à un angle θ tel que : (0,5 pt)

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= 1 - m_e c^2 \frac{E - E'}{EE'} \\ &= 1 - m_e c^2 \frac{E - E/40}{E \cdot E/40} = 1 - m_e c^2 \frac{39}{E} = 1 - m_e c^2 \frac{39}{19.5 m_e c^2} \quad (1 \text{ pt}) \\ &= 1 - 2 = -1 \Rightarrow \theta = 180^\circ \end{aligned}$$

3. Exercice : On applique la loi $I = I_0 \exp\left(-\sum_{i=1}^N \mu_i d_i\right)$ pour $E=20 \text{ keV}$ et $E=80 \text{ keV}$.

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu_{os} d_{os} - \mu_{air} d_{air} - \mu_{eau} d_{eau})$$

• Pour les photons de 20 keV : $\mu_{air} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$, $\mu_{eau} = 0,7 \text{ cm}^{-1}$, $\mu_{os} = 5 \text{ cm}^{-1}$

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp(-1 \times \mu_{os} - 20 \times \mu_{air}) = \dots \quad (\text{A.N. } 1 \text{ pt})$$

$$\frac{I_2}{I_0} = \exp(-1 \times \mu_{os} - 14 \times \mu_{air} - 6 \times \mu_{eau}) = \dots \quad (\text{A.N. } 1 \text{ pt})$$

• Pour les photons de 80 keV : $\mu_{air} = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$, $\mu_{eau} = 0,18 \text{ cm}^{-1}$, $\mu_{os} = 0,37 \text{ cm}^{-1}$

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp(-1 \times \mu_{os} - 20 \times \mu_{air}) = \dots \quad (\text{A.N. } 1 \text{ pt})$$

$$\frac{I_2}{I_0} = \exp(-1 \times \mu_{os} - 14 \times \mu_{air} - 6 \times \mu_{eau}) = \dots \quad (\text{A.N. } 1 \text{ pt})$$