

# **TD 02 : Interaction des rayon électromagnétique avec la matières**

*TD Radiobiologie Radioprotection*

Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>I - Exercice : Atténuation des rayon</b>	3
<b>II - Exercice : Atténuation du rayon</b>	4
<b>III - Exercice : Proportion de transmission des photon</b>	5
<b>IV - Exercice : Photon transmis</b>	6
<b>V - Exercice : Couche de demi atténuation</b>	7
<b>VI - Exercice : Effet photoélectrique</b>	8
<b>VII - Exercice : Intensité du rayonnement</b>	9
<b>VIII - Exercice : Désintégration du l'iode</b>	10
<b>IX - Exercice : Effet de matérialisation</b>	11
<b>X - Exercice : Effet compton</b>	12
<b>Solutions des exercices</b>	13

# Exercice : Atténuation des rayon



Une mince plaque de cuivre de 10 cm d'épaisseur sert de fenêtre à un tube à rayon X. La transmission des photons de 100 keV est de 70 %, et celle des photons de 50 keV est de 10%.

## Question

[solution n°1 p.13]

1. Calculer la CDA (en cm) de ces deux rayonnements.
2. Sachant que  $\rho_{\text{Cu}} = 8.9 \text{ g/cm}^3$ , calculer les coefficients d'atténuation massique  $\mu_m$ .

# Exercice : Atténuation du rayon



II

Pour des photons  $\gamma$  de 400 keV, la CDA dans le Plomb est de 2 mm.

## Question

[solution n°2 p.13]

1. Sachant que  $\rho_{\text{Pb}}=11.3$  g/cm, calculer le coefficient d'atténuation massique du Plomb.
2. Quelle est alors la proportion de photons transmis à travers un écran de 4 mm d'épaisseur ?

# Exercice : Proportion de transmission des photon



On fabrique un écran de protection contre le rayonnement à partir d'une plaque de Plomb de 1 mm placée entre deux plaque d'Aluminium de 2 mm chacune.

## Question

*[solution n°3 p.13]*

1. Sachant que pour le rayonnement visé, la CDA du Pb est de 0.3 mm et celle de l'Al 14 mm, quelle est la proportion de photon transmis à travers cet écran ?
2. Quelle devrait être l'épaisseur de la plaque de Plomb pour que la transmission ne soit plus que de 1 % ?

# Exercice : Photon transmis



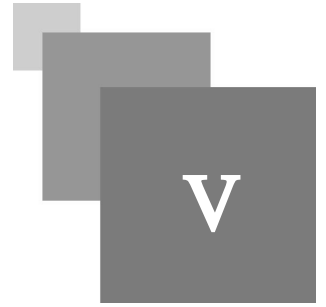
Un faisceau de rayon X , composé de fractions monochromatique (1) et (2) de  $N_1$  et  $N_2$  photons respectivement, traverse une plaque de cuivre de 2.4 mm d'épaisseur. Le rapport  $N_1/N_2$ , à l'entrée de la plaque vaut 0.25.

## Question

*[solution n°4 p.13]*

1. Sachant que  $CDA_1 = 0.6$  mm et  $CDA_2 = 0.4$  mm, que vaut le rapport de  $N_1/N_2$  à la sortie de la plaque ?
2. Quelle est la fraction du nombre total de photon transmis ?

# Exercice : Couche de demi atténuation



Des mesure d'atténuation d'un faisceau de RX par des écran de cuivre d'épaisseurs croissant ont permis de déterminer que la 1er CDA du Cu pour ce rayonnement est 0.31 mm, et que le rapport de la 1er et 2eme CDA est de 0.8.

## Question

[solution n°5 p.13]

1. Calculer la 2eme CDA.
2. Calculer le taux de transmission de faisceau  $I/I_0$  après la traversée des deux demi couche d'atténuation.
3. On suppose que à l'issue de la premier CDA, le faisceau est strictement monochromatique. Déterminer l'épaisseur totale des écrans de cuivre correspondant à une transmission égale à  $I_0/16$ .

# Exercice : Effet photoélectrique



Un photon de 0.1 nm de longueur d'onde entre en interaction avec un électron de la couche K d'un atome de Xénon.

## Question

[solution n°6 p.14]

1. Sachant que  $E_K = -34.4$  keV, un effet photoélectrique est-il observable ?
2. Même question avec un électron L ( $E_L = -5.1$  keV) ?
3. Avec quel énergie est éjecté le photo-électron ?



# Exercice : Intensité du rayonnement

VII

Une série de mesures de l'intensité d'un rayonnement électromagnétique traversant des écrans de Plomb de différents épaisseurs  $e$  donne les résultats suivants :

$e$ (mm)	0.75	1	1.3	1.5
$I$	9605	7332	6448	5653

## Question

*[solution n°7 p.14]*

1. Donner l'équation de la variation de  $\ln(I)$  en fonction de  $e$ . En déduire la valeur de  $I_0$  à  $e = 0$ .
2. Sachant que la masse volumique du Plomb est de  $11.3 \text{ g/cm}^3$ , déterminer la valeur du coefficient massique d'atténuation  $\mu/\rho$  du Plomb pour ce rayonnement.
3. Déduire de la question précédente la valeur de la CDA du Pb pour ce rayonnement.
4. Sachant que la masse volumique de l'Aluminium est de  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , Calculer sa CDA pour ce rayonnement. commenter ce résultat.

# Exercice : Désintégration du l'iode

VIII

L'Iode  $^{131}_{35}\text{I}$  est émetteur  $\beta^-$  donnant naissance , en se désintégrant, à du Xénon, Celui ci est formé dans un état instable et émet alors un rayonnement  $\gamma$  de 364 keV pour aboutir à son état stable. La différence des masses des noyaux d'Iode et de Xénon stable est de  $1.593 \cdot 10^{-3}$  u.m.a.

## Question

[solution n°8 p.14]

1. Écrire les réaction mises en jeu et calculer l'énergie cinétique maximum des électrons émis. En déduire leur vitesse initiale à cette énergie.
2. Les électrons qui sont émis avec une énergie cinétique égale au 2/3 de l'énergie cinétique maximale ont un TEL moyen dans l'eau de  $0.25 \text{ keV}/\mu\text{m}$   
Déterminer la longueur moyenne de leur trajectoire dans l'eau.
3. Les photons émis ont un coefficient d'atténuation massique globale égale à  $0.11 \text{ cm}^2/\text{g}$  dans l'eau.  
Calculer la CDA de l'eau pour ce rayonnement. On donne  $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ .
4. Sachant que le coefficient massique d'atténuation par effet photoélectrique  $\tau/\rho$  de l'eau pour les photos de 100 keV vaut  $0.002 \text{ cm}^2/\text{g}$ , calculer ce même coefficient pour l'énergie du rayonnement considéré.
5. Sachant que le  $\tau/\rho$  du Pb pour les photons de 364 keV considérés est de  $0.13 \text{ cm}^2/\text{g}$ , calculer la CDA du Pb ( $\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \text{ g}/\text{cm}^3$ ) pour ce rayonnement.

# Exercice : Effet de matérialisation

IX

Un photon de 4.22 MeV pénètre dans un matériau et subit un phénomène de création de paires, on suppose que les deux particules créées emporte la même énergie cinétique.

**Question***[solution n°9 p.15]*

Quelle est le parcours de chacune de leur trajectoire sachant que le DLI = 5000 ionisation / mm, et l'énergie moyenne d'ionisation du matériau est de 32 eV



# Solutions des exercices

## > Solution n°1

Exercice p. 3

1.  $N / N_0 (100 \text{ keV}) = 0.7 = \exp(-\mu_{100 \text{ keV}} * 10) \rightarrow \mu_{100 \text{ keV}} = 0.036 \text{ cm}^{-1}$ .  $CDA (100 \text{ keV}) = \ln 2 / \mu_{100 \text{ keV}} = 19.2 \text{ cm}$ .
2.  $N / N_0 (50 \text{ keV}) = 0.1 = \exp(-\mu_{50 \text{ keV}} * 10) \rightarrow \mu_{50 \text{ keV}} = 0.23 \text{ cm}^{-1}$ .  $CDA (50 \text{ keV}) = \ln 2 / \mu_{50 \text{ keV}} = 3 \text{ cm}$ .
2.  $\mu_m^{100 \text{ keV}} = 0.036 / 8.9 = 4 * 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ ,  $\mu_m^{50 \text{ keV}} = 0.23 / 8.9 = 2.6 * 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ .

## > Solution n°2

Exercice p. 4

1.  $CDA = \ln 2 / \mu$  donc  $\mu_m = \ln 2 / (\rho * CDA) \rightarrow \mu_m = \ln 2 / (11.3 * 2) = 0.307 \text{ cm}^2/\text{g}$ .
2.  $N / N_0 = \exp(-\mu * x) = \exp(-\mu_m * \rho * x) = \exp(-11.3 * 0.307 * 0.4) = 0.25$  soit 25%.

## > Solution n°3

Exercice p. 5

1. L'atténuation globale permet d'écrire que :  $N / N_0 = \exp(-\mu_{Al} * x_{Al}) * \exp(-\mu_{Pb} * x_{Pb}) = \exp\left(\frac{-x_{Pb} * \ln 2}{CDA_{Pb}}\right) * \exp\left(\frac{-x_{Al} * \ln 2}{CDA_{Al}}\right)$   
 $N / N_0 = \exp(-1 * \ln 2 / 0.3) * \exp(-4 * \ln 2 / 14) = 0.081$
2.  $N / N_0 = 0.01 = \exp(-x_{Pb} * \ln 2 / 0.3) * \exp(-4 * \ln 2 / 14) \rightarrow x_{Pb} = 1.907 \text{ mm}$

## > Solution n°4

Exercice p. 6

1.  $N1 = N1_0 \exp(-\mu1 * x) = N1_0 / 2^{n1}$  avec  $n1 = 2.4 / 0.6 = 4$   
 $N2 = N2_0 \exp(-\mu2 * x) = N2_0 / 2^{n2}$  avec  $n2 = 2.4 / 0.4 = 6$   
 $N1 / N2 = 0.25 * (2^6 / 2^4) = 1$
2. La fraction transmise est  $(N1 + N2) / (N1_0 + N2_0) = (2 * N1) / (5 * N1_0) = (2 / 5) * (1 / 2^4) = 0.025$

## > Solution n°5

Exercice p. 7

1. On sait que  $CDA1 / CDA2 = 0.8$ , donc  $CDA2 = 0.32 / 0.8 = 0.4 \text{ mm}$ .
2. Après la traversée des 2 CDA, le faisceau transmis est atténué de telle sorte que :  $I / I_0 = 1 / 2^n = 1 / 2^2 = 0.25$ .

3. Pour que la transmission soit égale à  $I_0 / 16$ , il faut que le rayonnement ait traversé  $n = 4 * CDA$ , soit une épaisseur de :  $e = 0.32 + 3 * 0.4 = 1.52$  mm.

> **Solution n°6**

Exercice p. 8

Il y a interaction photoélectrique lorsque l'énergie du photon est supérieure à l'énergie de l'électron concerné,

$$\text{donc : } E_{\text{hv}} = (h * c) / (e^- * \lambda) = 12.4 \text{ keV}$$

1. Pas d'effet photoélectrique car  $E_{\text{hv}} < -E_{\text{k}}$ .
2. Effet photoélectrique possible car  $E_{\text{hv}} > -E_{\text{L}}$ .
3.  $E_{\text{hv}} = -E_{\text{L}} + E_{\text{c}}$  d'où  $E_{\text{c}} = E_{\text{hv}} + E_{\text{L}} = 12.4 - 5.1 = 7.3$  keV.

> **Solution n°7**

Exercice p. 9

Calculons tout d'abord les valeurs numériques nécessaires :

e (mm)	0.75	1	1.3	1.5
I	9605	7332	6448	5653
ln (I)	9.17	8.9	8.77	8.64

1. On obtient une équation de droite :  $\ln(I) = -0.673 * e + 9.635$ . L'ordonnée à l'origine est égale à  $\ln(I_0) = 15291$ .
2. La pente de la droite représente ( au signe près) le coefficient linéique d'atténuation, soit :  
 $\mu = (\ln(I_1) - \ln(I_2)) / (e_1 - e_2) = (9.17 - 8.77) / (0.75 - 1.3) = 0.727 \text{ mm}^{-1} = 7.27 \text{ cm}^{-1}$ .  
 On en déduit alors le coefficient massique d'atténuation :  
 $\mu_{\text{m}} = \mu / \rho = 7.27 / 11.3 = 0.643 \text{ cm}^2/\text{g}$ .
3. Par définition , on a  $CDA_{\text{Pb}} = \ln 2 / \mu = 0.693 / 0.727 = 0.953$  mm.
4. Pour l'Aluminium, on a :  $\mu / \rho = 0.13 \text{ cm}^2/\text{g}$ , donc  $\mu = 0.13 / 2.7 = 0.351 \text{ cm}^{-1}$ .  
 On en déduit sa  $CDA_{\text{Al}} = \ln 2 / \mu = 0.693 / 0.351 = 1.975$  cm. On voit donc qu la CDA de Pb  $\approx 20$  fois supérieur à celle de l'Al. Un écran de Pb représente donc une bien meilleure protection contre les rayonnement qu'un écran équivalent en Al.

> **Solution n°8**

Exercice p. 10

1. Le bilan de la réaction est :  ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe}^* + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe} + \gamma$  sachant que  $m(\text{X}) = m(\text{Y}) + m_{\text{e}} + \Delta m$

L'énergie représentée par le défaut de masse de la réaction :

$$E = \Delta m * c^2 = 1.593 * 10^{-3} * 932 = 1.485 \text{ MeV} \rightarrow E_{\text{lib}} = E - E_{\text{e}} = 1.485 - 0.511 = 0.974 \text{ MeV}$$

$$\text{Or, cette énergie est distribuée comme suite } E_{\text{lib}} = E_{\beta} + E_{\gamma} \rightarrow E_{\beta} = E - E_{\gamma} = 0.974 - 0.364 = 0.61 \text{ MeV}$$

$$\text{Par ailleurs, on sait que : } E(v) = m * c^2 = m_0 * c^2 + E_{\beta} = 0.511 + 0.61 = 1.121 \text{ MeV.}$$

$$\text{Or, } E(v) = \frac{m_0 * c^2}{\sqrt{(1 - (v^2/c^2))}} \Rightarrow (1 - (v^2/c^2)) = \left(\frac{m_0 * c^2}{m * c^2}\right)^2 = \left(\frac{0.511}{1.121}\right)^2 = 0.208, \text{ soit : } (v/c)^2 = (1 - 0.208)$$

$$v = 3 * 10^8 * (1 - 0.208)^{-1/2} = 2.67 * 10^8 \text{ m/s} = 0.89 * c$$

2. On note  $\Delta x$  la longueur moyenne des trajectoires des électrons émis dans l'eau.  
On a :  $\Delta x = \Delta E / TEL = (610 * (2/3)) / 0.25 = 1627 \mu\text{m} = 1.63 \text{ cm}$
3. Par définition, on a :  $CDA = \ln 2 / \mu = \ln 2 / (\rho * \mu_m) = 0.693 / 0.11 = 6.3 \text{ cm}$ .
4. Le coefficient massique d'atténuation d'un matériau donné est inversement proportionnel à  $E^3$  d'où  $\tau/\rho = k * (1/E^3) \rightarrow (\tau/\rho)_1 * E_1^3 = (\tau/\rho)_2 * E_2^3$   
 $(\tau/\rho)_2 = (\tau/\rho)_1 * (E_1/E_2)^3 = 0.002 * (0.1/0.364)^3 = 4.15 * 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{g}$ .
5. Par définition :  $CDA = \ln 2 / (\rho * \tau_m) = 0.693 / (11.3 * 0.13) = 0.472 \text{ cm}$ .

**> Solution n°9**

Exercice p. 11

- $TEL = DLI * \omega = 50000 * 32 = 160 \text{ keV}$
- $E = (E_0 / 2) - (2m_0c^2) = (4.22 / 2) - 0.511 = 1.599 \text{ MeV}$

$$TEL = E / x_0 \rightarrow x_0 = E / TEL = 1.599 / 0.16 = 9.99 \text{ mm} \approx 1 \text{ cm}$$

Le parcours de chaque particule dans le matériau est de 1 cm

**> Solution n°10**

Exercice p. 12

1.  $E = E' + E_c + E_1$  avec  $E_1 = 0$  et  $E_c = 0.1 \text{ MeV}$  donc  $E' = E - E_c = 0.5 - 0.1 = 0.4 \text{ MeV}$   
 $\lambda'(\text{nm}) = 1240 / E (\text{keV}) = 1240 / 400 = 3.1 \text{ pm}$   
 $\lambda (\text{nm}) = 1240 / E (\text{keV}) = 1240 / 500 = 2.48 \text{ pm}$
2.  $\lambda - \lambda' = 3.1 - 2.48 = 0.62 \text{ pm}$   
 $\Delta\lambda = (h / (m_0 * c)) * (1 - \cos\theta) \rightarrow (h / (m_0 * c)) * \cos\theta = (h / (m_0 * c)) - \Delta\lambda$   
 $\rightarrow \cos\theta = 1 - \Delta\lambda * ((m_0 * c) / h) \rightarrow \theta = 42^\circ$