BIOPHYSIQUE
SERIE 2: RAYONS X

Répondez par vrai (v) ou faux (f)

QCM 1. Dans un tube de Coolidge :

1. On choisit une cible à un numéro atomique élevé pour augmenter le rendement en rayonnement de fluorescence.
2. L'échauffement de l'anode augmente l'intensité des rayons cathodiques.
3. Le processus important est le freinage des électrons.
4. Le mécanisme essentiel est l'obtention d'électrons sous l'action du rayonnement électromagnétique.

QCM 2. L'énergie maximale du rayonnement X produit dans un tube de Coolidge :

1. Est inversement proportionnelle à la longueur d'onde minimale.
2. Augmente avec l'intensité du courant de chauffage.
3. Augmente si la haute tension est redressée.
4. Dépend de la nature des électrodes.
5. Est rarement supérieur au kilo électronvolt.

QCM 3. Dans un tube de Coolidge :

1. Le rayonnement X est émis selon un spectre continu et de raies.
2. La longueur d'onde minimale du spectre est inversement proportionnelle à l'intensité du courant de chauffage.
3. Il règne un vide poussé.
4. La trajectoire des rayons cathodiques est déviée par la haute tension.
5. Le débit d'énergie rayonnée est proportionnel à la haute tension appliquée.

QCM 4. Dans un tube à rayons X :

1. La collision des électrons et des noyaux de la cible produit un rayonnement de raies et de fluorescence.
2. La cible émet des rayons cathodiques.
3. Les électrons émis par le filament sont freinés dans la cible.
4. La cathode émet un rayonnement γ.
5. Le faisceau X est émis alternativement par l'anode ou la cathode.

QCM 5 : L'énergie maximale rayonnée dans un générateur de rayons X :

1. Croit avec l'intensité du courant de chauffage.
2. Dépend de la nature de la cible.
3. Augmente avec la plus courte longueur d'onde du spectre.
4. Est proportionnelle à la haute tension appliquée.
5. Est proportionnelle à l'intensité du faisceau électronique.

Données et relations importantes

- ✓ Constante de Planck $h=6{,}62.10^{-34}$ J.s , $c=3.10^{8}$ m/s , $m(e^-) = 9{,}1.10^{-31}$kg et 1 eV=$1{,}6.10^{-19}$ J
- ✓ Energie de photon E (J) =hν= hc/λ, et E (eV) = $\frac{1240}{\lambda\,(nm)}$
- ✓ Energie cinétique Ec= ½ m v^2

BIOPHYSIQUE
SERIE 2: RAYONS X

Exercice 1

Dans un tube émetteur de RX, les électrons sont accélérés par une différence de potentiel de **60 kilovolts.**

On donne la masse de l'électron : **m (e-) = 9,1x10^{-31}Kg**.

a) Quelle est l'énergie cinétique acquise par ces électrons (en J et en KeV) ? Calculer leur vitesse ?

b) Quelle est la valeur maximale que peut prendre la fréquence du photon ? à quelle longueur d'onde correspond-elle ?

Le **rendement** de ce tube étant de **2%**,

c) Calculer la valeur de la constante **k** pour une anode en tungstène (**Z=74**).

d) Déduire la puissance en W du rayonnement émis si l'intensité du courant anodique est de **20 mA**.

REP: Ec= 9,60×10^{-15} J , v=1,45×10^{8} m/s , ν_{max}=1,45×10^{19} Hz , λ_{min}=0,0207 nm, k=4,50×10^{-9} V^{-1} et P_R = 24 W.

Exercice 2

Un tube de Coolidge à anticathode de platine Pt (**Z=78**) est traversé par un courant d'intensité **I=10 mA** entre l'anticathode A et la cathode K. Il émet un rayonnement X d'énergie **W_R = 20 J** pendant la durée **Δt= 1,8 s** de fonctionnement avec un rendement énergétique **ρ= 1,5 %.** 1.

I. Calculer :

a) La puissance rayonnée PR.

b) La puissance électrique PE consommée par le tube et la tension UAK entre anode et cathode.

c) La puissance perdue par effet joule PJ et l'énergie WJ correspondante pendant la durée de fonctionnement du tube.

d) L'élévation de température de l'anode sachant qu'elle est incorporée à une masse m = 50 g de cuivre qui absorbe presque totalement l'énergie WJ.
(Capacité thermique massique du cuivre : c = 385 J.kg-1 .K-1).

II. Exprimer littéralement et calculer :

a) L'énergie cinétique E_C des électrons frappant l'anode et l'énergie maximale Emax des photons émis (en keV et en joule).

b) La longueur d'onde minimale λ_0 des photons émis et la longueur d'onde la plus fréquente λm (celle des photons les plus nombreux).

c) Si la tension U_{AK} est doublée, que deviendront E_C, E_{max}, λ_0,λ_m ?

III. Calculer le nouveau rendement énergétique dans les cas suivants :

- L'intensité du courant anodique devient I'=15mA (autres réglages inchangés)
- La haute tension est augmentée de 20%, donc est multipliée par 1,20 (autres réglages inchangés).
- L'anticathode est remplacée par une anticathode de tungstène74W (autres réglages inchangés).
- La haute tension est augmentée de 20% et l'anticathode de platine est remplacée par une anticathode de tungstène.

BIOPHYSIQUE
SERIE 2: RAYONS X

REP: I. a) $P_R \approx 11{,}1$ W; b) $P_E \approx 740{,}7$ W et $U_{AK} \approx 74{,}1$ kV; c) $P_J \approx 729{,}6$ W et $W_J \approx 1313$ J; d) $\Delta T \approx 68{,}2$ K. II. a) $E_C = E_{max} \approx 74{,}1$ keV $\approx 1{,}19\times10^{-14}$ J; b) $\lambda_0 \approx 1{,}67\times10^{-11}$ m =0.0167nm et $\lambda_m \approx 2{,}5\times10^{-11}$ m=0.025nm;. III. 1) P' = 1,5 %; 2) P' = 1,8 % ; 3)P'≈ 1,42 % ; 4)P' ≈ 1,71 %.

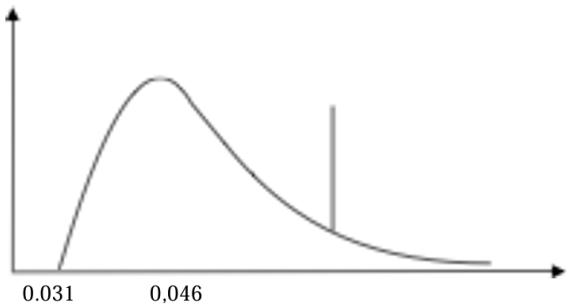
Exercice 3

Des électrons accélérés sous une différence de potentiel U = 40 kV bombardent une cible en cuivre en créant une émission de rayons X. Le spectre correspondant à cette émission (voir figure ci-dessous) représente l'intensité I du faisceau de rayons X émis en fonction de la longueur d'onde λ, exprimée en nm.

On donne les énergies d'ionisation des niveaux K et L (niveau moyen entre les niveaux LIIet LIII) du cuivre : E_{iK}= 8995 eV et E_{iL}= 955 eV.

a) Quelle est la longueur d'onde minimale λ_0, en nm, du spectre continu émis par la cible ?

À partir des valeurs numériques indiquées sur le spectre, déterminer la perte d'énergie cinétique la plus probable, en keV, des électrons arrivant sur la cible.



b) Quelle condition doit vérifier l'énergie cinétique des électrons qui bombardent la cible pour observer une raie K ?

c) Calculer, en nm, la longueur d'onde de la raie Kα.

REP: a) λ_0=3.1.10^{-11}m =0.031nm ; ΔE= 27kev ; b) $E_c \geq E_{iK}$ et c) $\lambda_{k\alpha}$=0 .154 nm

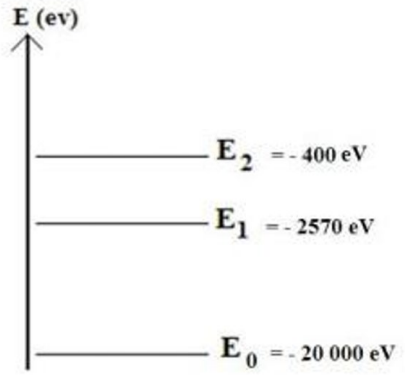
Exercice : Devoir

L'émission d'un photon X par un métal est due à certaines transitions électroniques entre deux niveaux d'énergie. Le diagramme des niveaux d'énergie du molybdène est donné ci-dessous.

a) Reproduire le schéma ci-dessous et indiquer par des flèches toutes les transitions envisageables qui s'accompagnent de l'émission d'un photon.

b) Calculer en électronvolts (eV), les variations d'énergies correspondant à ces transitions.

BIOPHYSIQUE
SERIE 2: RAYONS X



L'énergie E transportée par un photon X associé à un rayonnement de fréquence ν est donnée par la relation de Planck : E = hν.

c) Connaissant l'énergie E transportée par un photon X, donner la relation permettant de déterminer la longueur d'onde λ du rayonnement associé.

d) Quelle est, parmi les transitions envisagées, celle qui produit le photon X associé au rayonnement ayant la plus petite longueur d'onde ? Justifier.

e) Calculer la valeur de cette longueur d'onde.

Exercice :

Un tube à rayons X à anticathode de cuivre fonctionnant sous une tension U de 50 kV est parcouru par un courant d'intensité 40 mA.

a) Quelle est la longueur d'onde minimale λ_0 (en nm) des photons X du rayonnement de freinage ?

b) Sachant que la longueur d'onde du maximum d'intensité du rayonnement de freinage est égale à $3\lambda_0/2$, quelle est, pour les électrons ayant pénétré dans l'anticathode, la perte d'énergie cinétique la plus probable lors du processus de freinage ? Exprimer le résultat en keV.

c) Quelle est la valeur de λ_0 (en nm) lorsque l'intensité du courant électrique qui parcourt le tube augmente de 20 mA ?

Solution détaillée :

a) La longueur d'onde minimale λ_0 est :

En utilisant la relation pratique $\lambda_0\ (\text{nm}) = \frac{1240}{E(eV)}$

Ici **E= eU**= 50×10^3 eV .

$\lambda_0\ (\text{nm}) = \frac{1240}{E(eV)} = \frac{1240}{50000} = 0{,}0248$ nm

λ_0=0,0248 nm

b) Perte d'énergie cinétique la plus probable

La longueur d'onde du maximum d'intensité est :

$\lambda_m\ (\text{nm}) = \frac{3\lambda_0}{2} = , \frac{3.0{,}0248}{2} = 0.0372$ nm

L'énergie du photon correspondant à ce maximum :

$\mathbf{Emax\ (eV)} = \frac{\mathbf{1240}}{\boldsymbol{\lambda}\ \mathbf{m(nm)}} = \frac{1240}{0.0372} = 33333\ eV = 33{,}3\text{KeV}$

La perte d'énergie cinétique la plus probable lors du freinage correspond à l'énergie de ce photon :

$\Delta Ec \approx 33{,}3$ keV

c)

d) La longueur d'onde minimale $\lambda_0$dépend uniquement de la tension accélératrice U:

λ_0=hc/eU

Elle **ne dépend pas** de l'intensité du courant.

L'augmentation du courant de 20 mA augmente le nombre d'électrons par seconde, donc l'intensité du rayonnement X, mais **ne modifie pas** la longueur d'onde minimale.

λ_0 (40mA) égale a λ_0 (60mA). Reste égale a 0,0248 nm