

SERIE 2 : Rayonnements- REM : Rayons X et γ

PARTIE 1 : Rayonnement électromagnétique, Energie de Photon $E=h\nu$,

Données : constante de Planck $h=6.62.10^{-34}$ J.s, $C=3.10^8$ m/s et $1 \text{ eV}=1.6.10^{-19}$ J

QCM 1 : répondez par vrai ou faux (justifier votre réponse)

1. Le champ magnétique est orienté de façon parallèle au champ électrique,
2. Les ondes électromagnétiques transportent un quantum d'énergie appelée « **photon** »
3. Une onde électromagnétique monochromatique, c'est-à-dire présentant une seule fréquence
4. La vitesse de propagation des OEM ne dépend pas du milieu de propagation
5. Une OEM est caractérisé par une période, fréquence et longueur d'onde
6. Einstein a résolu le problème de la dualité ondulatoire et corpusculaire des ondes électromagnétiques
7. La découverte des rayons gamma en 1900 est due à William Röntgen
8. Les rayons gamma sont très énergétiques, ne sont pas dangereux pour les cellules vivantes
9. Les rayons X fut découverte en 1895 par Henri Becquerel
10. Les rayons X ont une longueur d'onde très courte se situant entre 10^{12} m et 10^8 m
11. Les rayons X ont une haute fréquence, ils sont très énergétiques traversant facilement les corps matériels. C'est donc pourquoi les rayons X sont dangereux

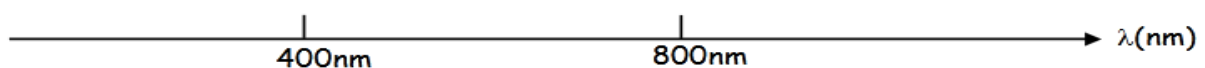
Exercice 1 :

- Montrer que l'énergie E d'un photon et sa longueur d'onde λ vérifient la relation: $E \text{ (eV)} = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$
- Calculer la fréquence et la longueur d'onde dans le vide de l'onde associée à un photon γ d'énergie 140 keV.

Exercice 2 :

Les ondes lumineuses visibles par notre œil ne représentent qu'une petite partie du vaste domaine des ondes électromagnétiques.

- a) Indiquer sur le schéma ci-après les domaines des radiations de **la lumière visible**, des **UV** et des **IR**



- b) Une onde électromagnétique a une longueur d'onde dans le vide $\lambda=1,5.10^{-5}$ m.
- Quel domaine appartient cette radiation ? Justifier.
 - Calculer la fréquence de l'onde associée à cette longueur d'onde.
 - .Ecrire la relation qui lie l'énergie d'un photon à la fréquence des radiations.
 - Comment varie cette énergie quand la fréquence des radiations diminue? Justifier la réponse.
 - Calculer la valeur de l'énergie associée au photon de longueur d'onde $\lambda=1,5.10^{-5}$ m. .Convertir cette énergie en eV

Exercice 3 :

Calculer la longueur d'onde d'un avion de 10 tonnes se déplaçant à deux fois la vitesse du son, la vitesse du son dans l'air étant de 340 m. s^{-1} . Faire de même pour un proton accéléré dans un cyclotron à une vitesse de $3,5.10^2 \text{ km. s}^{-1}$. Commenter [m p= $1,6726.10^{-27}$].

PARTIE 2 : PRODUCTION DES RAYONS X- SPECTRE DE RAYON X

$$m(e^-) = 9.1.10^{-31} \text{ Kg}, h=6.62.10^{-34} \text{ J.s et } 1 \text{ eV}=1.6.10^{-19} \text{ J}$$

QCM 2 : répondez par vrai ou faux (justifier votre réponse)

1. Les Rayons X sont produit à l'aide d'un tube à rayons Coolidge composé de deux électrodes.
2. Le filament constitue l'anode du tube, il est chauffé sous une intensité de courant élevée pour qu'il puisse émettre des électrons
3. La cathode émet le rayonnement électromagnétique
4. le filament est entouré d'un cylindre; c'est une pièce de concentration qui permet la focalisation du faisceau d'électrons vers la cible.
5. Le débit d'énergie rayonnée est proportionnel au carré de la haute tension.
6. la puissance rayonnée effectivement sous forme de rayons X est faible
7. la plus grande quantité d'énergie est convertie en chaleur par les collisions avec les atomes de cathode
8. Le spectre continu est dû à la décélération des électrons incidents lorsqu'ils entrent en contact avec l'anticathode
9. dans un tube de Coolidge, la longueur d'onde minimale du rayonnement émis est indépendante de la haute tension
10. Le rayonnement X est composé en majeure partie de raies de fluorescence
11. la transition de l'électron sur les orbites accompagné par l'émission d'un rayonnement électromagnétique

Exercice 1 :

Dans un tube émetteur de R-X, les électrons sont accélérés par une différence de potentiel de 60 kilovolts ? On donne la masse de l'électron:

- a) Quelle est l'énergie cinétique acquise par ces électrons (en J et KeV)? Calculer leur vitesse.
- b) Quelle est la valeur maximale que peut prendre la fréquence du photon ? à quelle longueur d'onde correspond-elle ?
- c) Le rendement de ce tube étant de 2%, calculer la valeur de la constante k pour une anode en tungstène ($Z=74$).
- d) En déduire la puissance en W du rayonnement émis si l'intensité du courant anodique est de 20 mA.
- e)

Exercice 2 :

Un tube de Coolidge à anticathode de platine est traversé par un courant d'intensité $I=10 \text{ mA}$ entre l'anticathode A et la cathode K. Il émet un rayonnement X d'énergie $WR= 20 \text{ J}$ pendant la durée $\Delta t= 1,8 \text{ s}$ de fonctionnement avec un rendement énergétique $\rho= 1,5 \%$.

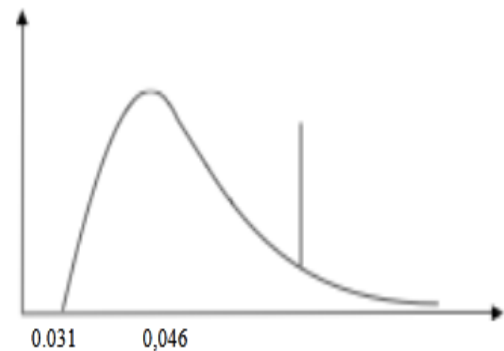
1. Exprimer littéralement puis calculer:
 - o La puissance rayonnée PR
 - o La puissance électrique PE consommée par le tube et la tension U_{AK} entre anode et cathode
 - o La puissance perdue par effet joule PJ et l'énergie WJ correspondante pendant la durée de fonctionnement du tube.
 - o L'élévation de température de l'anode sachant qu'elle est incorporée à une masse $m = 50 \text{ g}$ de cuivre qui absorbe presque totalement l'énergie WJ.
(Capacité thermique massique du cuivre : $c = 385 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$).
2. Exprimer littéralement et calculer:
 - o L'énergie cinétique EC des électrons frappant l'anode et l'énergie maximale E_{max} des photons émis (en KeV et en joule).
 - o La longueur d'onde minimale λ_0 des photons émis et la longueur d'onde la plus fréquente λ_m (celle des photons les plus nombreux).
 - o Si la tension U_{AK} est doublée, que deviendront E_C , E_{max} , λ_0 , λ_m ?
3. Calculer le nouveau rendement énergétique dans les cas suivants :
 - o L'intensité du courant anodique devient $I'=15\text{mA}$ (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 tungstène 74W (autres réglages inchangés).
- La haute tension est augmentée de 20% et l'anticathode de platine est remplacée par une anticathode de tungstène.

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 L_{II} et L_{III}) du cuivre : $E_{iK} = 8995$ eV et $E_{iL} = 955$ eV

1. Quelle est la longueur d'onde minimale λ_0 , en nm, du spectre continu émis par la cible ?
2. 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.
3. Quelle condition doit vérifier l'énergie cinétique des électrons qui bombardent la cible pour observer une raie K ?
4. Calculer, en nm, la longueur d'onde de la raie $K\alpha$.



Exercice corrigé :

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.

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

REP 1. $eU = h\nu_{\max} = hc/\lambda_0 \Rightarrow \lambda_0 = hc/eU$
 $\lambda_0 = 6,6261 \cdot 10^{-34} \times 299792458 / 1,60218 \cdot 10^{-19} \times 50 \cdot 10^3$
 $\lambda_0 = 0,0248$ nm

ou
 $\lambda_0 = 12400/U = 12400/50 \cdot 10^3$
 $\lambda_0 = 0,248 \text{ \AA} = 0,0248$ nm

2. 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.

REP 2. $\Delta E_c = hc/\lambda_{\max} = 2hc/3\lambda_0 = 2/3eU$ donc $\Delta E_c = 2/3 \cdot 50 = 33,3$ keV

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

REP 3. Pas de changement : la longueur d'onde ne dépend pas de l'intensité de courant,
 $\lambda_0 = 0,0248$ nm