

ÉVALUATION

physik.fr

CLASSE : Première

VOIE : ☒ Générale

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 1 h

Sujet 2024 n°SPEPHCH117 et n°SPEPHCH124

VOIE : ☒ Générale ☐ Technologique ☐ Toutes voies (LV)

ENSEIGNEMENT : Spécialité physique-chimie

CALCULATRICE AUTORISÉE : ☒ Oui ☐ Non

La physique au service du diagnostic médical (10 points)

Dans l'antiquité, pour établir un diagnostic médical, seuls l'interrogatoire et un examen externe clinique étaient pratiqués. L'examen clinique du patient malade par le praticien était fondé sur les cinq sens de ce dernier. Aucun examen chimique, physique et biologique n'était, à cette époque, envisagé.

À notre époque, la médecine possède aussi un arsenal de moyens techniques permettant de « voir » à l'intérieur du corps du patient. Échographie, radiographie, scanner ou imagerie par résonnance magnétique sont devenus des outils d'investigation médicale incontournables, qui reposent sur des principes de physique. Depuis le début de l'épidémie de la COVID 19, le scanner des poumons (examen à rayons X) est indiqué comme l'examen de choix afin d'évaluer la gravité des patients atteints, et, si nécessaire, affecter le malade au service de réanimation.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la production des rayons X.

Document 1 : Découverte des rayons X

Les rayons X sont découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen qui reçoit alors le premier prix Nobel de physique en 1901. Ces rayons sont des ondes électromagnétiques, comme le visible, mais leur longueur d'onde est plus petite. Les énergies des photons X sont comprises approximativement entre 120 eV et 120 keV.

Document 2 : Production de rayons X

Les rayons X sont produits dans des tubes à rayons X également appelés tubes de Coolidge (figure 1).

Le principe est le suivant :

- **Des électrons émis par une cathode** (un filament, le plus souvent en tungstène, chauffé par le passage d'un courant électrique) soumis à une tension électrique élevée (de 10 à 150 kV) qui les accélère en direction d'une cible constituée d'une anode en métal (en tungstène également). L'énergie des électrons est transférée à la cible lors de l'impact.
- **Les rayons X sont émis par la cible** selon deux mécanismes :
 - le freinage des électrons par les atomes de la cible crée un rayonnement continu (rayonnement de freinage ou Bremsstrahlung) dont une partie dans le domaine des rayons X ;
 - les électrons accélérés peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour perturber les couches électroniques internes des atomes de la cible, qui vont alors émettre des rayons X.

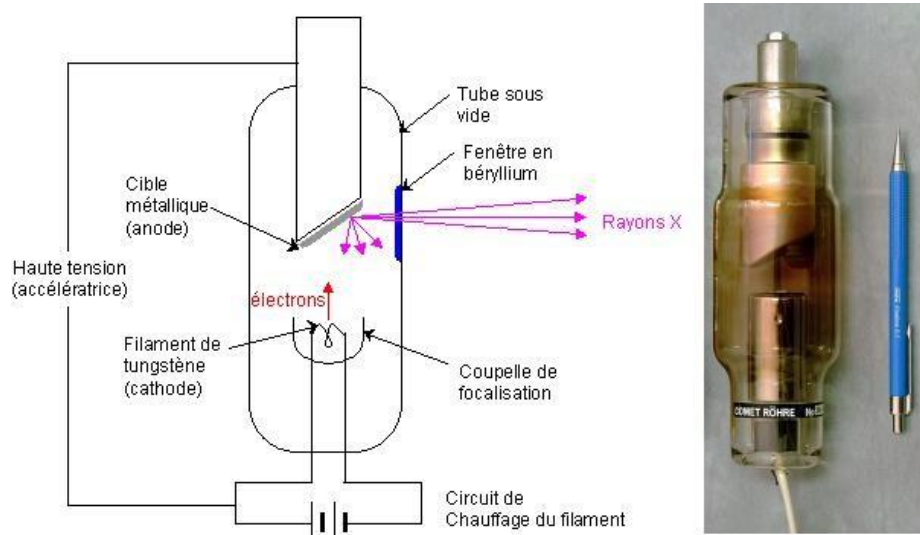


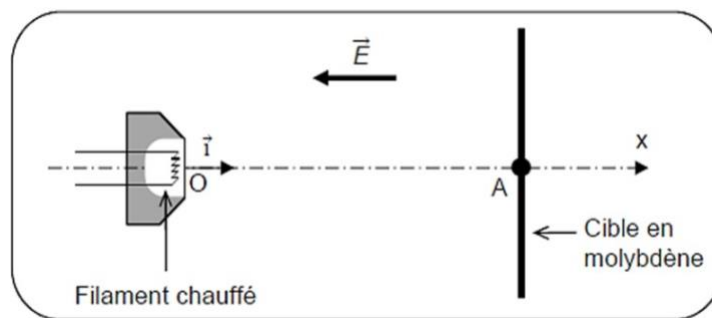
Figure 1 : Tube à rayons X

William David Coolidge, physicien américain, invente le tube qui porte son nom en 1913. Les tubes actuels sont des améliorations du modèle original de Coolidge.

D'après le site <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr>

1. Le processus d'accélération des électrons

La figure 2 ci-dessous reprend de manière simplifiée le principe du tube de Coolidge.



Dans le dispositif du tube de Coolidge, des électrons émis par un filament chauffé par effet Joule, sont accélérés fortement sous l'effet d'un champ électrique uniforme $\vec{E}$. Ce champ est créé par une tension électrique U élevée.

Données :

- charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- charge électrique d'un électron : $q = -e$;
- masse de l'électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$;
- entre le filament et la cible, séparés d'une distance $OA = L$, règne un champ électrique supposé uniforme $\vec{E}$ dont la norme est donnée par la relation $E = \frac{U}{L}$;
- $U = 100 \text{ kV}$;
- la valeur de la vitesse de la lumière c dans le vide est supposée connue du candidat.

Le système étudié est un électron. L'électron est émis au point O avec une vitesse nulle à $t = 0 \text{ s}$. Il arrive au point A avec une vitesse V_A . On considère qu'il n'est soumis qu'à la force électrique $\vec{F}_e$. On propose d'évaluer la vitesse atteinte par les électrons lorsqu'ils arrivent sur la cible en molybdène.

1.1 Donner l'expression vectorielle de la force électrique $\vec{F}_e$ subie par un électron. Comparer la direction et le sens de la force électrique $\vec{F}_e$ à ceux du champ électrique $\vec{E}$. Dessiner le vecteur $\vec{F}_e$ sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

1.2 Donner l'expression du travail de la force électrique, en fonction de e et U , au cours du déplacement OA. Puis calculer la valeur de ce travail.

1.3.1 Montrer que l'expression de la vitesse de l'électron lorsqu'il arrive au point A est :

$$V_A = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

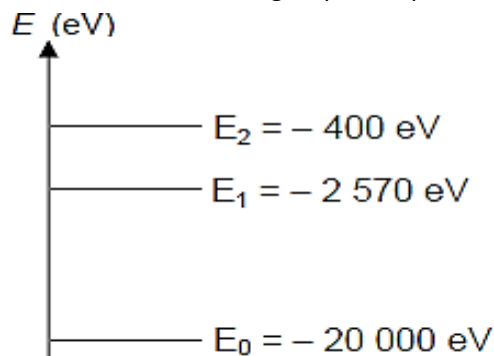
1.3.2 Calculer la vitesse V_A de l'électron dans le cas où la tension électrique U appliquée entre le filament et la cible vaut 100 kV. Commenter le résultat obtenu.

2. L'émission de rayons X

Si l'électron libérée par le filament a une énergie suffisante lorsqu'il arrive à la cible en molybdène (métal de symbole Mo), certains atomes de molybdène de cette plaque sont alors excités puis regagnent leur état fondamental tout en libérant un photon associé à un rayonnement X.

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ pm} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- la valeur de la vitesse de la lumière c dans le vide est supposée connue du candidat ;
- le noyau de l'atome de rhodium a pour symbole : ${}^{96}_{42}\text{Mo}$;
- diagramme simplifié des niveaux d'énergie (en eV) du molybdène :



2.1. Spectre électromagnétique

2.1.1 Les rayons X font partie des ondes électromagnétiques. En vous aidant du document 1 et des données, montrer que la fréquence maximale ν des rayons X produits dans le tube vaut environ $3 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$.

2.1.2 En déduire la longueur d'onde λ correspondant à ces rayons X, en pm.

2.1.3.a Compléter l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, en attribuant à chaque domaine le type de rayonnement correspondant : visible, ultra-violet, infrarouge, rayonnement X et rayonnement gamma.

2.1.3.b Associer à chaque domaine d'application (« radiographie », « optique visible », « télécommande » et « wifi ») un domaine spectral.

2.2. Transition énergétique de l'atome de molybdène et émission de rayon X

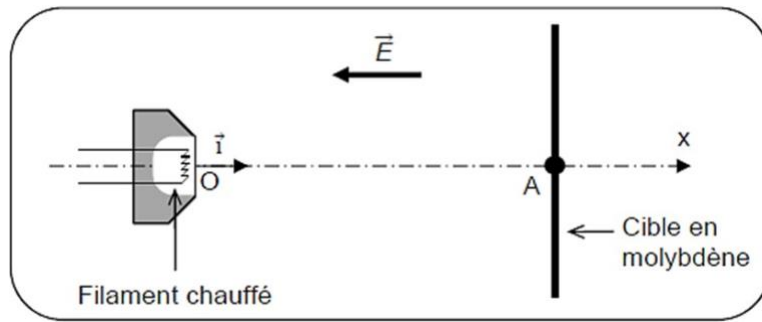
2.2.1. Donner la composition du noyau de l'atome de molybdène.

2.2.2. Reproduire sur votre copie le diagramme simplifié des niveaux d'énergie du molybdène et y représenter par des flèches toutes les transitions énergétiques au sein de l'atome pouvant s'accompagner de l'émission d'un photon associé à un rayonnement.

2.2.3. L'énergie d'un photon libéré lors d'une de ces transitions est $E_{\beta} = 2,78 \cdot 10^{-15} \text{J}$. Identifier cette transition parmi celles proposées précédemment. Justifier.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 1.1



Question 2.1.3.a

Spectre électromagnétique (échelle non respectée et limites approximatives)

