

Les rayons X, découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen, sont des rayonnements électromagnétiques utilisés principalement en imagerie médicale (radiologie) et en cristallographie (étude des substances cristallines). L'objectif de cet exercice est de voir comment sont produits des rayons X et leur utilisation dans l'analyse de la structure des cristaux.

### 1. Accélération d'un faisceau d'électrons

Les rayons X sont produits dans des dispositifs appelés *tubes de Coolidge* (W.D.COOLIDGE, physicien américain, 1873 -1975). Dans ce dispositif, des électrons émis par un filament chauffé par effet Joule, sont accélérés sous l'effet d'un champ électrique uniforme  $\vec{E}$ . Ce champ est créé par une tension électrique  $U$  d'environ 100 kV. Les électrons se dirigent vers une cible de molybdène, métal de symbole Mo, avec laquelle ils interagissent pour produire les rayons X. Se déplaçant à une vitesse très élevée, ces électrons peuvent acquérir une énergie cinétique (en relation avec la vitesse) suffisante pour perturber les couches électroniques internes des atomes de la cible. Ces atomes, dans un état excité, vont alors émettre des rayons X en retournant à leur état fondamental (niveau d'énergie le plus faible). La figure 1 ci-dessous reprend de manière simplifiée le principe du tube de Coolidge.

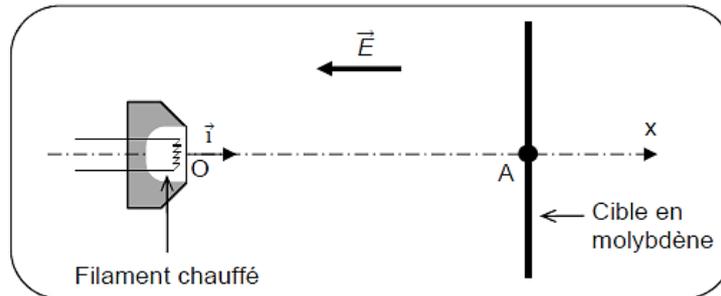


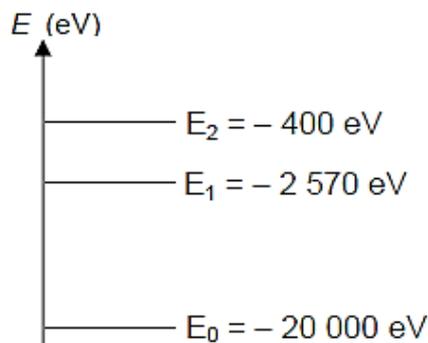
Figure 1

### 2. Émission de rayons X

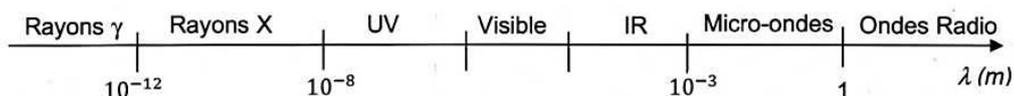
Si l'électron libéré par le filament a une énergie suffisante lorsqu'il arrive sur la cible en molybdène, il peut exciter certains atomes de la cible en perturbant leurs couches électroniques internes. Ces atomes excités émettent des rayons X en revenant à leur état fondamental.

Données : constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s ;  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$  J ;

Diagramme simplifié des niveaux d'énergie du molybdène :



Spectre des ondes électromagnétiques (échelle non respectée) :



Les 2 questions suivantes ne peuvent être abordées que par les élèves de 1<sup>ère</sup> Spécialité Physique, une fois vues les transitions électroniques en cours.

2.1 Sur le diagramme d'énergie du molybdène, et y représenter par des flèches toutes les transitions électroniques de l'atome pouvant s'accompagner de l'émission d'un rayonnement.

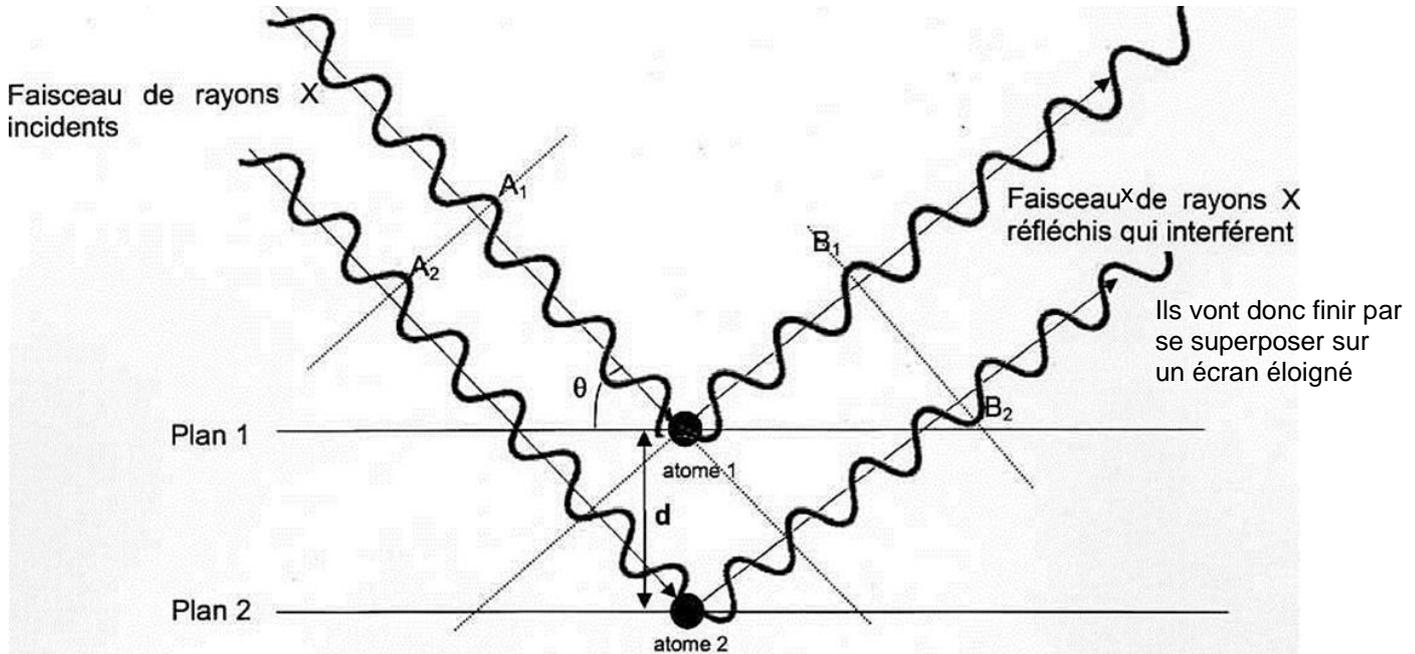
2.2 Déterminer le domaine des ondes émises correspondant à ces transitions.

### 3. Application à l'étude des structures cristallines

Les rayons X sont utilisés pour explorer la matière et par exemple pour évaluer la distance  $d$  entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal. Lorsqu'on envoie un faisceau de rayons X de longueur d'onde  $\lambda$  sur un cristal, ils sont réfléchis par les atomes qui constituent le cristal. Les ondes réfléchies par les atomes interfèrent ont des directions bien particulières repérée par l'angle  $\theta$ .

On peut représenter de façon très simplifiée cette situation par le schéma suivant :

Données :



- la différence de parcours entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation :  $\delta = 2 d \cdot \sin \theta$ , où  $d$  est la distance entre deux atomes voisins et  $\theta$  l'angle entre le rayon et le plan.
- dans le cas d'interférences constructives, la différence de parcours vaut :  $\delta = k \cdot \lambda$
- dans le cas d'interférences destructives, la différence de parcours vaut :  $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$   
où  $k$  est un nombre entier positif ou négatif et  $\lambda$  la longueur d'onde des ondes qui interfèrent.

En exploitant le schéma précédent, préciser :

3.1 Si les deux rayons incidents interfèrent avec les états vibratoires représentés en  $A_1$  et  $A_2$ , on obtient des interférences constructives ou destructives ?

3.2 Si les deux rayons réfléchis interfèrent avec les états vibratoires représentés en  $B_1$  et  $B_2$ , on obtient des interférences constructives ou destructives ?

3.3 Pourquoi les interférences ne sont pas de même nature entre  $A_1/A_2$  et  $B_1/B_2$  ?

3.4 Pour un angle  $\theta$  de  $10,4^\circ$  et une longueur d'onde de  $0,154 \text{ nm}$ , déterminer la valeur de  $d$  dans le cristal, dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de parcours minimale.