

Chapitre III. Les rayons X

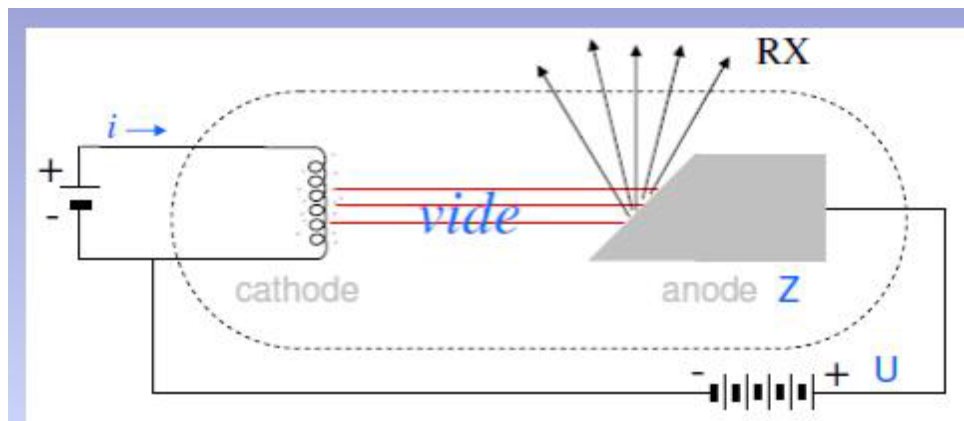
Introduction :

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de longueurs d'ondes très courtes se situant entre 0.01 et 10 nanomètres.

III.1. Production des rayons X :

La source usuelle des rayons X est le tube de Coolidge. Il s'agit d'un tube où règne un vide poussé et dans lequel se trouvent deux électrodes : l'anode et la cathode.

La cathode, constituée d'un filament de tungstène, émet par effet thermoélectronique, des électrons qui sont projetés sur l'anode. Une plaque métallique (l'anode) reçoit les électrons et génère les rayons X.



III.2. Mécanisme de la production des rayons X

L'étude spectrale du rayonnement X émis montre qu'il est formé de la superposition d'un spectre continu et d'un spectre de raies. Ces deux composantes correspondent à deux mécanismes d'émission bien distincts.

- Interaction des électrons accélérés avec les noyaux de la cible (spectre continu ou spectre de **Bremsstrahlung**).
- Ionisation des couches profondes des atomes de la cible (spectre de raies).

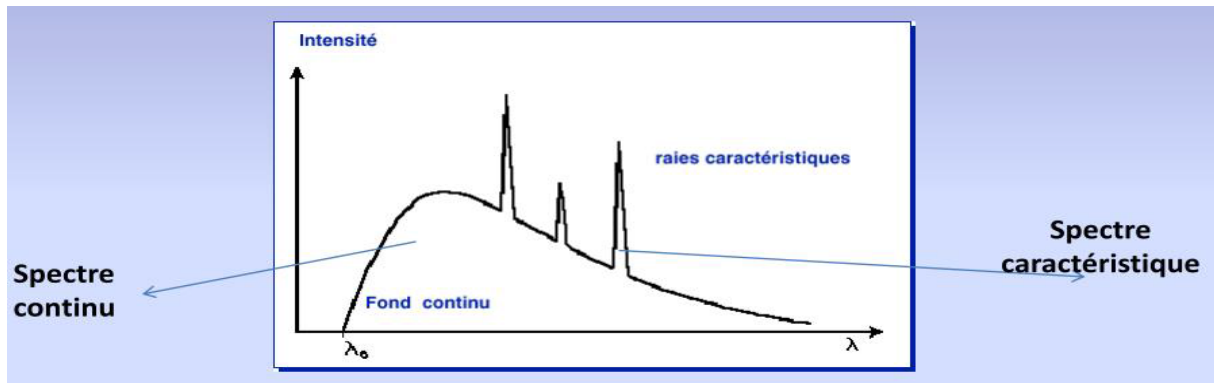


Figure 2 : Un spectre global d'émission des rayons X

Le spectre continu de rayons X :

Imaginez un électron ayant une énergie cinétique initiale E_0 qui heurte (interagit avec) un des atomes de la cible, comme l'illustre la figure. L'électron peut perdre une énergie ΔE , qui peut se traduire par l'émission d'un photon de rayon X qui rayonne à partir du site de la collision. (Il y a très peu d'énergie transférée au recul de l'atome en raison de la masse relativement élevée de ce dernier, on peut donc la négliger) ce spectre continu de rayons X est appelé le rayonnement de freinage ou (Bremsstrahlung).

L'électron diffusé, ayant maintenant une énergie inférieure à E_0 , peut heurter un autre atome de la cible, générant un deuxième photon, dont l'énergie sera généralement différente de celle du photon produit dans la première collision. Ce processus de diffusion peut continuer jusqu'à ce que l'électron soit- presque immobilisé. Chacun des photons générés par ces collisions forme une partie du spectre continu de rayons X.

Dans le spectre dans la figure 2, on voit bien la longueur d'onde de seuil nettement définie λ_{\min} sous laquelle le spectre continu n'existe pas. Cette longueur d'onde minimale correspond à une unique collision frontale avec un atome cible, collision dans laquelle un électron incident perd toute son énergie cinétique initiale E_0 . Pratiquement toute l'énergie de l'électron est transférée d'un photon unique, dont la longueur d'onde associée (la plus petite longueur d'onde possible du rayon X) est déterminée par :

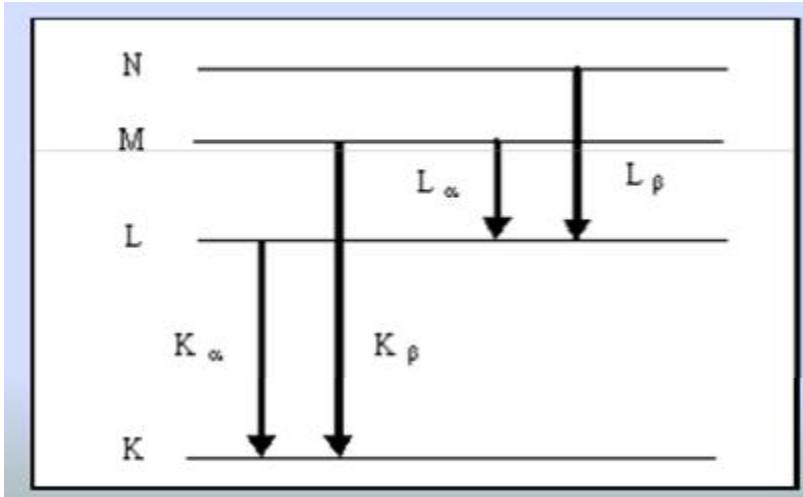
$$E_{\max} (\text{énergie}) = h \nu = hc/\lambda_{\min}$$

La longueur d'onde de seuil est totalement indépendante du matériau de la cible.

Le spectre des rayons caractéristiques :

Ces pics sont générés dans un processus en deux parties. Premièrement, un électron énergétique heurte un atome de la cible et pendant sa diffusion expulse un électron d'une couche profonde (basse valeur de n) de l'atome. Si l'électron de l'atome se trouvait dans la couche définie par $n = 1$ (appelée pour des raisons historiques la couche K) il laisse un trou dans cette couche. Deuxièmement, un électron se trouvant dans une des couches à énergie plus élevée vient alors combler le trou dans la couche K. pendant cette transition, l'atome émet un photon de rayon X caractéristique.

Si l'électron qui comble la vacance de couche K provient de la couche où $n = 2$ (appelée couche L), le rayonnement émis est la raie K_{α} , s'il provient de la couche où $n = 3$ (appelée couche M) il produit la raie K_{β} ...etc. Le trou laissé dans la couche L ou M sera comblé par un électron provenant d'une couche supérieure de l'atome.



III. 3. Exercices (pour travaux dirigés-Série de TD3) :

Exercice1 :

Des rayons X sont générés dans un tube par des électrons accélérés au moyen d'une DDP de 50.0 kV. Un électron subit trois collisions avec la cible avant de s'immobiliser, il perd la moitié de son énergie résiduelle dans chacune des deux premières collisions. Déterminer les longueurs d'onde des photons produits.

Exercice2 :

On considère le spectre de rayons X généré quand des électrons sont accélérés sous une DDP de 35.0 kV bombardent une cible de molybdène ($Z=42$).

1. Si la DDP d'accélération est augmentée à 50.0 kV, quelles sont les nouvelles valeurs de λ_c , $\lambda_{k_{\alpha}}$ de la raie k_{α} , et $\lambda_{k_{\beta}}$ de la raie k_{β} qui en résultent.
2. Si la DDP d'accélération est maintenue à la valeur 50.0 kV, mais en présence d'une cible d'argent ($Z=47$), quelles sont les valeurs de λ_c , $\lambda_{k_{\alpha}}$ de la raie k_{α} , et $\lambda_{k_{\beta}}$ de la raie k_{β} qui en résultent.

On donne les énergies des niveaux K, L, M de Ag : $E_K=25.51$ keV, $E_L=3.56$ KeV, $E_M=0.53$ KeV.

Exercice3 :

On donne les longueurs d'onde de la série K du tungstène $\lambda_{k_{\alpha}} = 0.210 \text{ \AA}$, $\lambda_{k_{\beta}} = 0.184 \text{ \AA}$, $\lambda_{k_{\gamma}} = 0.179 \text{ \AA}$, et la raie limite $\lambda_k = 0.178 \text{ \AA}$.

1. Quelles sont les tensions minimales qui laissent apparaître les raies k_{α} , k_{β} , et k_{γ} respectivement.
2. Quelle est la tension minimale pour exciter la série L.
3. Déterminer $\lambda_{L_{\alpha}}$ et $\lambda_{L_{\beta}}$.

Exercice4 :

Un tube à rayon X fonctionne sous une tension de 2500 V. Sachant que l'anticathode est en aluminium et que la longueur d'onde de la discontinuité K est $\lambda_k = 7.94 \text{ \AA}$, peut-on observer des raies de la série K ? A partir de quelle tension la série K disparaîtra-t-elle ?