

CHIII Spectroscopie des rayons X

I. Production et détection des rayons X

Les rayons X appartiennent au rayonnement électromagnétique. Leur domaine de longueur d'onde varie entre 0.1 et 100\AA . Les rayons X peuvent être obtenus par :

- Transition électronique dans les couches internes atomiques ;
- Emission par accélération ou décélération de particules relativistes chargées.

1. Production des rayons X

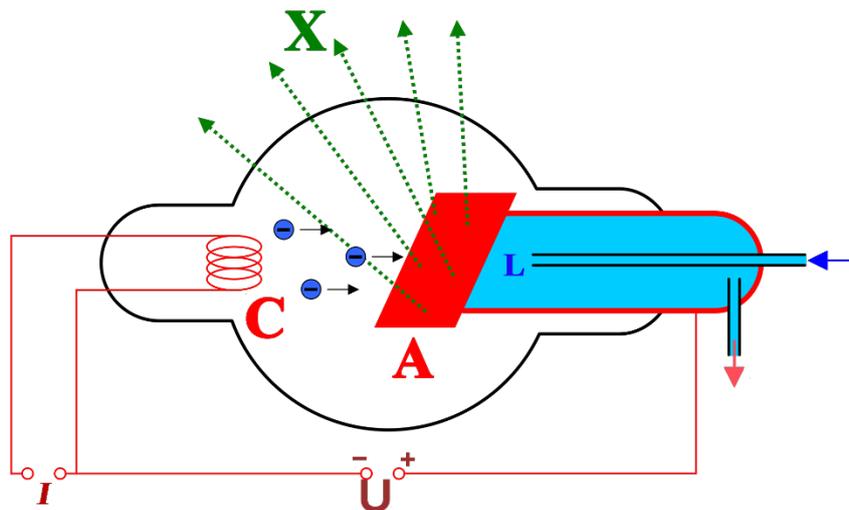
En pratique, on utilise deux sources de rayons X : les tubes à rayons X et les éléments radioactifs.

a. Tubes à rayons X

C'est un tube Coolidge à vide comportant deux électrodes :

- Une cathode émettrice d'électrons (filament de tungstène)
- Une anode ou anticathode portée à un potentiel positif de l'ordre de 10 à 30kV .

Les électrons sont émis par la cathode chauffée par un courant. Ces électrons sont accélérés par une tension élevée et focalisés sur une cible métallique (anode) refroidie par l'eau.



Deux phénomènes interviennent :

- Il y a perte d'énergie des électrons, passant près du noyau. Ces électrons seront freinés et déviés par le champ électrique des noyaux de la cible (Bremsstrahlung). Or, d'après les théories de Maxwell sur l'électromagnétisme, tout changement dans la direction ou la vitesse d'une charge en mouvement engendre un rayonnement d'où l'émission d'un rayonnement X qui ne dépend pas du matériau constituant l'anode.

- Les électrons entrant en collision avec les électrons fortement liés peuvent arracher un électron de la cible. Pour combler le trou, les électrons des couches supérieures transitent en émettant un rayonnement qui caractérise l'anode.

b. Sources radioactives :

Il y a des atomes radioactifs qui émettent des rayons X (ce sont des sources de rayon X). Mais l'intensité des rayons X est très faible par rapport aux tubes à rayon X.

2. Détection des rayons X

Plusieurs méthodes sont utilisées :

a. Films et écrans :

- Films photographiques : l'émulsion est sensible au rayon X. il permet de déterminer la position des photons et de connaître l'intensité.

- Ecran fluorescent : c'est un écran qui s'illumine à l'impact des rayons X (sulfure de zinc, platinocyanure...).

b. Détecteurs ponctuels : ils collectent les photons sur un petit angle solide. Parmi ces détecteurs on trouve :

- Les compteurs à gaz : le premier détecteur est le compteur Geiger-Muller. Le photon traverse un gaz et ionise les atomes de ce gaz créant un courant électrique détecté par le compteur.

- Détecteur solide : on trouve deux types :

- ✓ Les détecteurs à scintillations ou la conversion de l'énergie du photon à l'énergie électrique est obtenue en deux étapes : le photon X est transformé en un photon visible par un cristal fluorescent puis en énergie électrique par un photomultiplicateur.

- ✓ Détecteurs à semi-conducteurs : c'est un cristal semi-conducteur (ex : Si dopé au lithium). L'arrivée d'un photon X provoque la création de paires électron-trou qui donnent un courant électrique détecté.

II. Applications :

1. Radiographie :

La différence de noircissement entre deux régions d'une radiographie traduit une différence d'absorption par effet photo-électrique des photons X. le nombre de photons $N(x)$ non absorbés après la traversée d'une distance x est donné par : $N(x)=N_0e^{-\mu \cdot x}$ ou μ est le coefficient d'atténuation et N_0 le nombre de photons incidents.

Exemple :

Si on radiographie une main, nous remarquons que les os paraient plus claires que les tissus de la main. Les os absorbent plus de rayon X car ils sont constitués de calcium ($Z=20$) et de phosphore ($Z=15$) de Z plus élevé que les constituants des tissus (carbone $Z=6$, hydrogène $Z=1$ et oxygène $Z=8$).

2. Fluorescence X :

Les rayons X sont envoyés sur un échantillon. Ils peuvent être absorbés par les atomes. Dans ce cas, un électron de la couche K est expulsé de l'atome qui devient ionisé. Au cours de sa désexcitation, l'atome émet des raies de fluorescence X.

3. Cristallographie :

Si on bombarde un cristal par un faisceau de rayon X, on observe un faisceau diffracté sous un angle θ . La loi de Bragg donne la relation entre l'angle θ et la distance entre les plans du cristal d_{hkl} :

$$2d_{hkl} \sin\theta = n\lambda$$

λ est la longueur d'onde et n l'ordre de diffraction.

4. XPS

La spectroscopie de photoélectron est une méthode permettant d'accéder aux énergies des niveaux électroniques d'un atome en envoyant un rayonnement sur un échantillon. Il y a deux types de spectroscopie de photoélectron :

XPS qui utilise des photons X pour examiner les électrons du cœur.

UPS qui utilise les UV pour examiner les électrons de valence.

Un photon d'énergie $E_{ph}=h\nu$ est projeté sur l'échantillon qui absorbe ce photon. Un électron est expulsé avec une énergie cinétique $E_c=1/2 mv^2$. La conservation d'énergie nous donne $E_{ph}=E_{liaison}+E_c$ ou $E_{liaison}$ est l'énergie nécessaire pour sortir de l'orbitale atomique. En mesurant l'énergie cinétique des électrons expulsés, on peut déterminer $E_{liaison}$.