

**Université Badji Mokhtar Annaba
Faculté des Sciences
Département de Physique**

3^{ème} année Licence Physique Fondamentale

Travaux pratiques de physique du solide

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

Chargée du module : Pr. Bentayeb

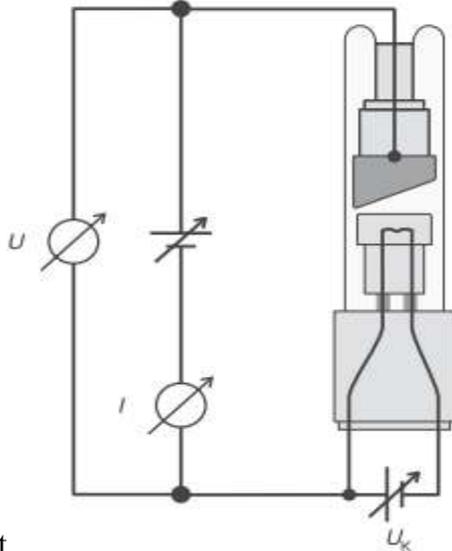
Année Universitaire 2019/2020.

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

I. Objectifs du TP

- Tracé des spectres d'énergie d'un tube à rayons X avec une anode de Mo par la réflexion de Bragg du rayonnement X sur un monocristal de NaCl.
- Vérification de la superposition du spectre continu du rayonnement de freinage et des raies du rayonnement X caractéristiques du matériau de l'anode.
- Etude de l'influence de la haute tension U et du courant d'émission I sur le rayonnement de freinage et sur le rayonnement caractéristique.

Dans l'expérience, on va étudier le spectre d'énergie d'un tube à rayons X avec une anode en molybdène (Mo). Le montage expérimental est composé d'un goniomètre avec un cristal de NaCl et un tube compteur de Geiger-Müller. Le cristal et le tube compteur sont orientés dans un couplage 2θ par rapport au rayonnement X incident (Fig. 3). Selon la loi de



la diffract

$$\lambda = 2d \sin \theta$$

ion de Bragg, la longueur d'onde est donné par :

(I)

Où $d = 282,01$ pm, est l'écartement des plans du réseau de NaCl correspondant à l'angle de diffusion θ dans le premier ordre de diffraction. L'énergie du rayonnement X peut être calculée à partir de la relation suivante:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

(II)

Avec E l'énergie, ν la fréquence, c la vitesse de la lumière et h la constante de Planck. Le spectromètre fournit donc suivant la représentation, le spectre de longueur d'onde, le spectre de fréquence ou le spectre d'énergie du rayonnement.

On étudie l'influence de la haute tension U du tube et du courant d'émission I sur le spectre d'énergie du tube à rayons X. La haute tension U est appliquée comme tension d'accélération des électrons entre la cathode et l'anode (Fig. 4). Le courant d'émission I , soit le courant circulant entre la cathode et l'anode, est réglable par changement de la tension de chauffage U de la cathode.

Figure 4 : Schéma de principe pour le montage du tube à rayons X.

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

II. Matériels utilisés

- Un appareil à rayons X.
- Un monocristal de NaCl.
- Un tube compteur à fenêtre pour rayonnements α , β , γ et X.
- Logiciel "**Appareil à rayons X**" installé sur micro-ordinateur.

III. Paramètres d'acquisition

- Source X : Mo ;
- Cristal analyseur (cible) : NaCl ;
- Mode : θ - 2θ ;
- temps de mesure par pas angulaire : $\Delta t = 3 \text{ s}$;
- pas de progression angulaire : $\Delta\beta = 0,1^\circ (\beta = \theta)$;
- valeur limite inférieure de l'angle de la cible : $2,5^\circ$;
- valeur limite supérieure de l'angle de la cible : $12,5^\circ$.

IV. Analyse des données

IV.1 Description des spectres de diffraction et d'émission

A- Traçage du spectre de diffraction $R = f(\beta)$:

1- Ouvrir le logiciel "*Appareil à rayons X*" ;

2- En appuyant sur F3, charger la mesure enregistrée pour $U = 35 \text{ kV}$;

3- Sur le graphe attribuer chaque partie du spectre, pour cela sur le graphe et avec le bouton droit de la souris appuyer sur :

- **Placer une marque**
- **Texte**

4- Enregistrer.

5- Copier le spectre de diffraction, pour cela, avec le bouton droit de la souris appuyer sur :

- **Copier le graphe**
- **Metafile**
- **Coller dans un fichier Word**

B- Traçage du spectre d'émission $R = f(n\lambda)$:

1- Revenir sur le logiciel "*Appareil à rayons X*" ;

2- Effacer les anciennes données en appuyant sur F4 ;

3- En appuyant sur F3, charger la mesure enregistrée pour $U = 35 \text{ kV}$;

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

4- Convertir le spectre de diffraction $R = f(\beta)$ au spectre d'émission $R = f(n\lambda)$:

- Appuyer sur F5 ;
- Cliquer sur cristal ;
- Cliquer sur NaCl ;

4- Enregistrer.

5- Copier le spectre d'émission pour cela, sur le graphe et avec le bouton droit de la souris, appuyer sur :

- **Copier le graphe**
- **Metafile**
- **Coller dans le fichier Word**

C- Détermination de λ ($K\alpha$), λ ($K\beta$) et λ_{\min} :

1- Revenir sur le spectre d'émission ;

2- Appeler à chaque fois le menu d'exploitation du logiciel "*Appareil à rayons X*", en cliquant dans le graphe avec le bouton droit de la souris ;

3- Sélectionner le point de menu "*Calcul valeur principale du pic*" et marquer un pic sur "*toute sa largeur*" avec le bouton gauche de la souris. Les valeurs de λ , en pm, des pics caractéristiques seront affichées en bas de l'écran. Les noter dans le tableau 1.

4- Toujours avec le menu d'exploitation du logiciel "*Appareil à rayons X*", cliquer avec le bouton droit de la souris sur "**afficher les coordonnées**" et déterminer la valeur minimale de la longueur d'onde du spectre notée λ_{\min} .

5- Noter les valeurs principales λ ($K\alpha$), λ ($K\beta$) et λ_{\min} dans le tableau 1.

Comparer les valeurs obtenues avec les valeurs théoriques :

$$\lambda(K\alpha) = 71,08 \text{ pm et } \lambda(K\beta) = 63,09 \text{ pm ;}$$

6- Estimer les erreurs.

7- Refaire les mêmes étapes pour les autres mesures : $U = 30, 25$ et 20 kV ;

Tableau 1 : Variation de la haute tension U du tube en fonction de la longueur d'onde du rayonnement caractéristique du molybdène tirée des spectres.

U (kV)	λ_{\min} (pm)	λ ($K\alpha$) (pm)	λ ($K\beta$) (pm)
35			
30			
25			
20		-----	-----

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

IV.2 Variation de la haute tension U

- 1- Revenir sur le logiciel "*Appareil à rayons X*";
- 2- Effacer les anciennes données en appuyant sur F4 ;
- 3- En appuyant sur F3, charger toutes les mesures enregistrées pour $U = 20, 25, 30$ et 35 kV ;
- 4- Sur le graphe attribuer chaque spectre à la tension U appropriée, pour cela sur le graphe et avec le bouton droit de la souris appuyer sur :
 - **Placer une marque**
 - **Texte**
- 5- Enregistrer.
- 6- Copier la superposition des différents spectres de diffraction, pour cela sur le graphe et avec le bouton droit de la souris appuyer sur :
 - **Copier le graphe**
 - **Metafile**
 - **Coller dans un fichier Word**
- 7- Commenter les spectres obtenus en relevant l'effet de la tension U .

Tableau 2 : Variation du courant d'émission I en fonction de la longueur d'onde du rayonnement caractéristique du molybdène tirée des spectres.

I (mA)	λ (K_{α}) (pm)	λ (K_{β}) (pm)
0.4		
0.6		
0.8		
1.0		

IV.3 Variation de l'intensité du courant d'émission I

- 1- Revenir sur le logiciel "*Appareil à rayons X*";
- 2- Effacer les anciennes données en appuyant sur F4 ;
- 3- En appuyant sur F3, charger toutes les mesures enregistrées pour $I = 0.4, 0.6, 0.8$ et 1 mA ;
- 4- Sur le graphe attribuer chaque spectre à l'intensité I appropriée, pour cela sur le graphe et avec le bouton droit de la souris appuyer sur :
 - **Placer une marque**
 - **Texte**
- 5- Enregistrer.

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

6- Copier la superposition des différents spectres de diffraction, pour cela sur le graphe et avec le bouton droit de la souris appuyer sur :

- Copier le graphe
- Metafile
- Coller dans un fichier Word

7- Commenter les spectres obtenus en relevant l'effet du courant I .

8- Sélectionner en plus le point de menu "*Afficher les coordonnées*", déterminer les maxima $R(K_\alpha)$ et $R(K_\beta)$ des raies caractéristiques et le maximum du spectre continu du rayonnement de freinage R_C pour chaque valeur de I puis noter les valeurs obtenues dans le tableau 3.

9- Tracer le graphe de la variation du taux de comptage maximal R des raies caractéristiques K_α , K_β et celui du spectre continu en fonction du courant d'émission I : $R = f(I)$.

10- Commenter les courbes obtenues.

11- Conclure.

Tableau 3 : Maxima de taux de comptage des raies caractéristiques et du spectre continu du rayonnement de freinage en fonction du courant d'émission I .

I (mA)	R (K_α) (s ⁻¹)	R (K_β) (s ⁻¹)	R_C (s ⁻¹)
0.4			
0.6			
0.8			
1.0			

IV. Travail demandé

1- Définir les termes R , β , n et λ en précisant les unités.

2- En utilisant la loi de Bragg, calculer la longueur d'onde de chacune des raies. On donne la distance inter-réticulaire $d_{\text{NaCl}} = 282,01$ pm.

3- Comparer ces résultats aux valeurs déterminées graphiquement. Estimer les erreurs.

4- Donner la formule qui permet de transformer le spectre de diffraction $R = f(\beta)$ au spectre d'émission $R = f(n\lambda)$.

5- A partir des valeurs de λ , expérimentale et calculée, calculer l'énergie de chacune des raies caractéristiques du Mo (donner les détails du calcul).

6- Comparer les valeurs calculée et mesurée. Estimer les erreurs.

TP3 : Spectre d'énergie d'un tube à rayons X

- 7- Donner le schéma représentatif des niveaux d'énergie électroniques de l'atome de Mo ;
- 8- A partir de ce schéma identifier les transitions responsables de l'apparition des raies K_{β} et K_{α} ;
- 9- Quelles sont les règles de sélection qui régissent les transitions entre les niveaux ?
- 10- Donner une conclusion générale.