

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université de Saida – Dr. Moulay Tahar
Faculté des Sciences
Département de physique



Polycopié

Travaux Pratiques de Physique Atomique

3^{ème} années Licences Physique LMD-SM

Pr. Moahmmed ELKEURTI

Dr. Hayat Hocine

Dr. Fatima Labani

TP : Charge spécifiques de l'électron

Principe :

Des électrons sont accélérés dans un champ électrique et pénètrent dans un champ magnétique perpendiculaire à leur trajectoire. On détermine à partir de la tension d'accélération, de l'intensité du champ magnétique et du rayon de courbure de la trajectoire des électrons, la charge spécifique de l'électron.

Objective :

Détermination de la charge spécifique de l'électron (e/m_0) à partir de la trajectoire d'un faisceau de rayons d'électrons dans des champs électriques et magnétiques croisés d'intensité variable.

Matériel :

Tube à faisceau électronique filiforme	06959.00	1
Bobines de Helmholtz, la paire	06960.00	1
Bloc d'alimentation, 0...600 V	13672.93	1
Alimentation universelle	13500.93	1
Multimètre digital 2010	07128.00	2
Fil de connexion, fiche 4 mm, 32 A, rouge, l = 10 cm	07359.01	1
Fil de connexion, fiche 4 mm, 32 A, bleu, l = 10 cm	07359.04	1
Fil de connexion, fiche 4 mm, 32 A, rouge, l = 75 cm	07362.01	5
Fil de connexion, fiche 4 mm, 32 A, bleu, l = 75 cm	07362.04	3
Fil de connexion, fiche 4 mm, 32 A, jaune, l = 75 cm	07362.02	3

Montage et mode opératoire :

Le montage est effectué suivant la fig.1.

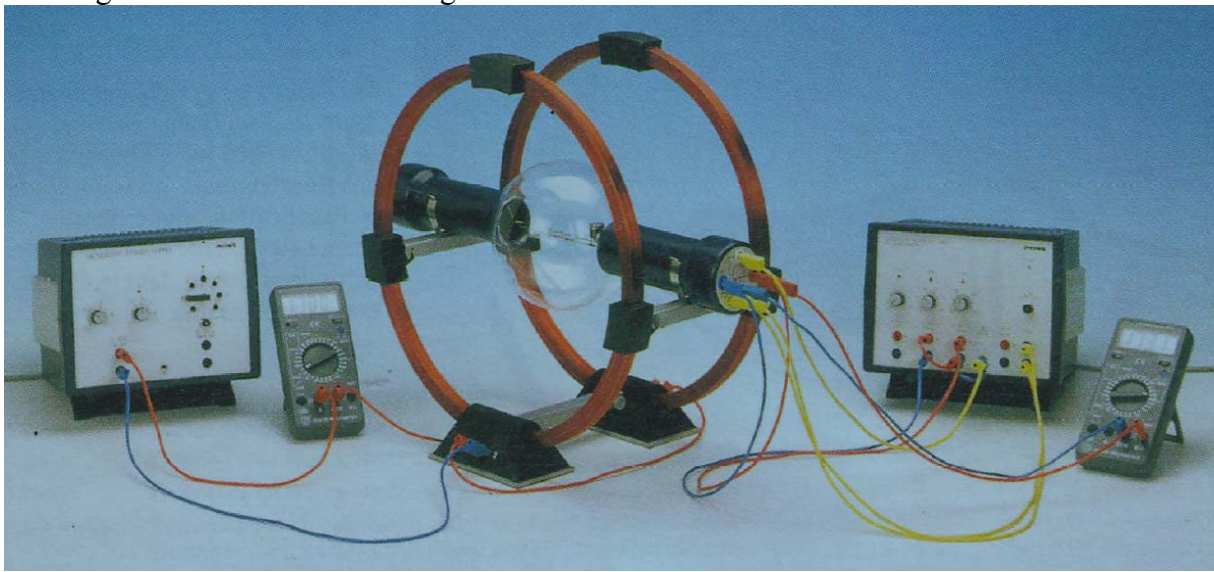


Fig.1. montage pour la détermination de la charge spécifique de l'électron

Théorie et exploitation :

La mesure directe des grandeurs physiques de l'électron (e^-) est difficile car celles-ci sont très petites : $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $m \approx 9.1 \cdot 10^{-31}$ Kg. Plusieurs méthodes permettent cependant la mesure de sa charge spécifique e/m . La méthode simple et précise utilisée dans cette expérience a été mise au point par H. Busch en 1922. Voir annexe à ce document :

http://www.unine.ch/files/live/sites/physique/files/TP/Exp%C3%A9riences/Exp38_Charge_Specifique.pdf.

1. Complétez le tableau 1 en donnant U.

2. Tracer $I=f(U)$.

3. Donnez la valeur du rapport e/m_0 .

On donne le nombre de spire $N=450$, $R_{\text{Bobine}} = 50$ cm, $r_1=0.02$ m, $r_2=0.03$ m, $r_3=0.04$ m et $r_4=0.05$ m.

U/V	r=0.02m		r=0.03m		r=0.04m		r=0.05m	
	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)
100	2,5	1,7	1,6	1,8	1,1	2,2	0,91	2,0
120	2,6	1,9	1,7	1,9	1,3	1,9	1,0	2,0
140	2,8	1,9	1,9	1,8	1,4	1,9	1,1	1,9
160			2,0	1,9	1,5	1,9	1,2	1,9
180			2,2	1,7	1,6	1,8	1,3	1,8
200			2,3	1,8	1,7	1,8	1,4	1,7
220			2,4	1,8	1,8	1,8	1,4	1,9
240			2,5	1,8	1,9	1,7	1,5	1,8
260			2,6	1,8	1,9	1,9	1,6	1,7
280			2,7	1,8	2,0	1,8	1,6	1,8
300			2,8	1,8	2,0	1,8	1,7	1,7

Tableau 1 : Intensité de courant et charge spécifique de l'électron suivant (2) et (3) pour différentes tensions U et différents rayons r de la trajectoire circulaire des électrons.

Pr. M. ELKEURTI & Dr. H. HOCINE

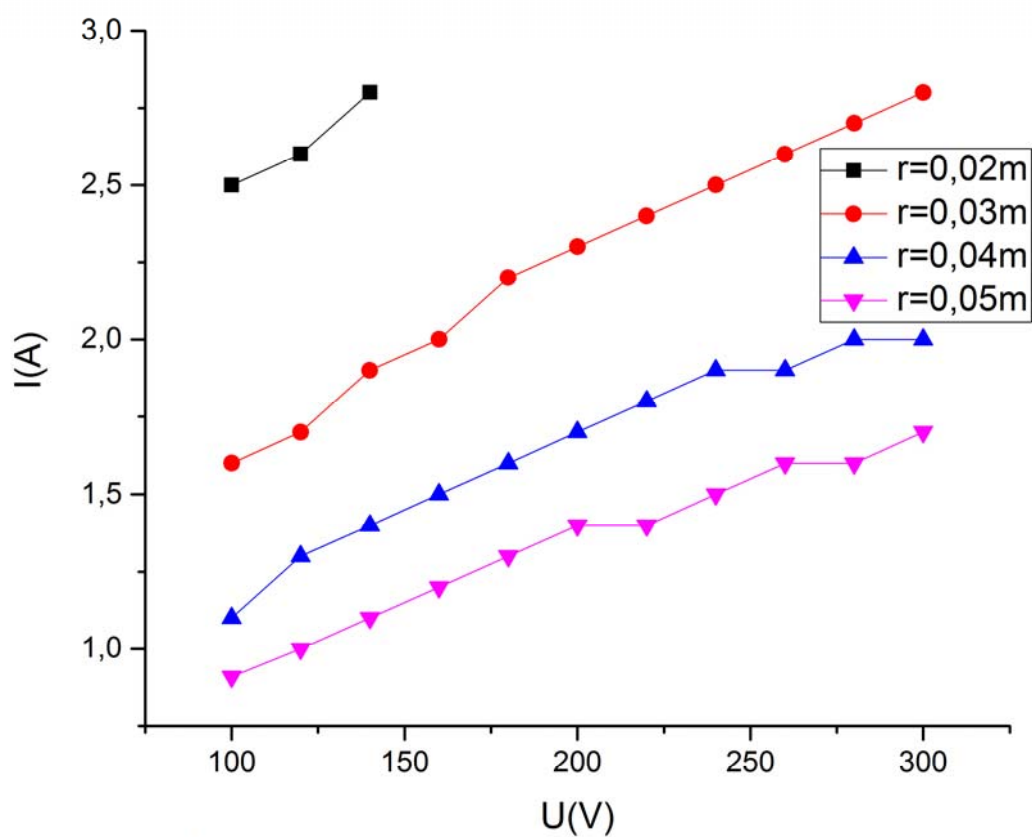
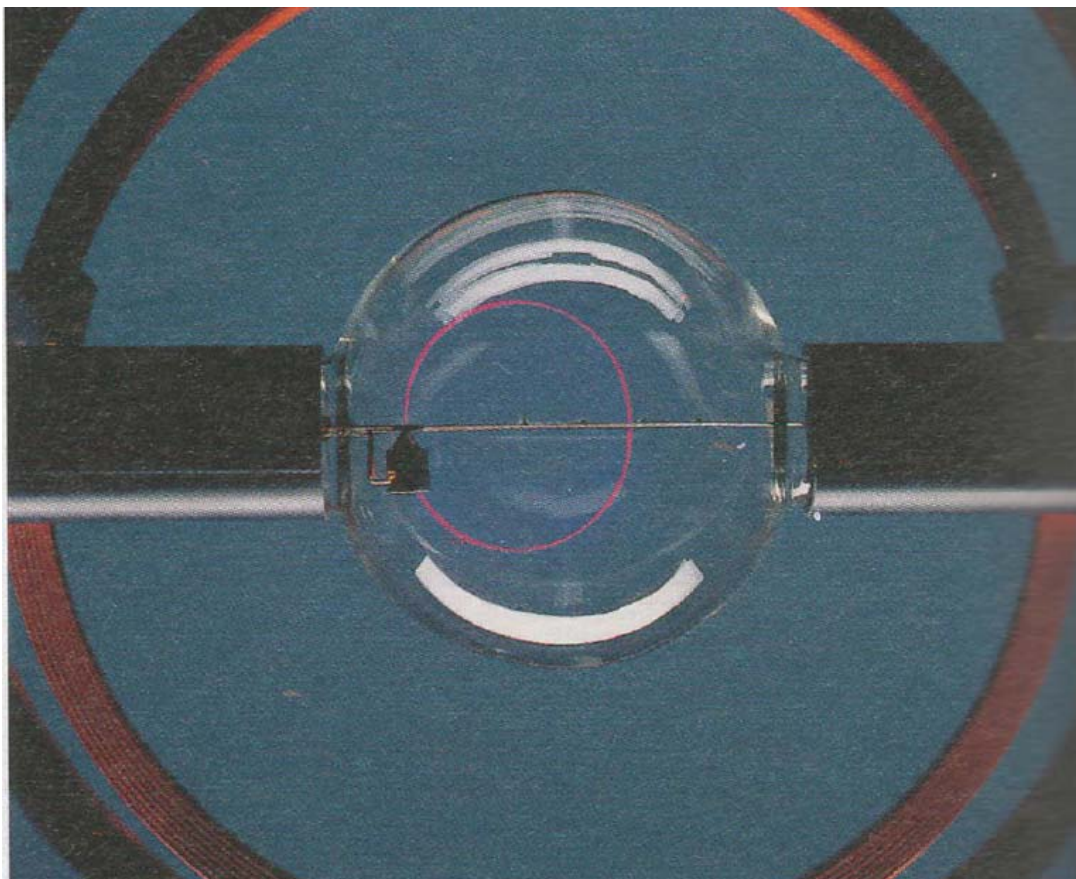


fig. 1 Variation l'intensité électrique I en fonction la tension U

Pr. M. ELKEURTI & Dr. H. HOCINE

Si un électron de masse m_0 est de charge e est accéléré par une différence de potentiel U . On obtient l'énergie cinétique

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2 \quad \text{eq.1}$$

v étant la vitesse de l'électron.

Dans le champ magnétique d'intensité $\vec{B}$, l'électron avec la vitesse $\vec{v}$ est soumis à la force de Lorentz :

$$\vec{F} = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Dans le cas d'un champ magnétique homogène. L'électron se déplace par conséquent sur une ligne en spirale autour des lignes du champ magnétique, et cette ligne dégénère un cercle rayon r si v est perpendiculaire à $\vec{B}$.

En partant du fait que la force centrifuge $m_0 \cdot v^2 / r$ qui se produit à ce moment est égale à la force de Lorentz, on a

$$v = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r$$

si B est la valeur absolu de $\vec{B}$. Avec (eq.1) on aura :

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{(Br)^2} \quad \text{Eq.2}$$

Pour calculer le champ magnétique $\vec{B}$, on utilise la 4^e et la 1^{ère} équation de Maxwell s'appliquant au cas où il n'existe pas de champs électriques variables dans le temps

$$\oint_G \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 ; G = \text{surface finie d'intégration}$$

$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 \cdot \int_A \vec{J} \cdot d\vec{A} ; \mu_0 = 1.275 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{T \cdot m}{A}$ où C désigne le parcours d'intégration fermé bordant A , et $\vec{J}$ la densité de courant électrique. On obtient, par là, l'intensité du champ magnétique d'un courant de circuit avec une intensité I sur l'axe à une distance a du centre du cercle

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}}$$

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \cdot \mu_0 \cdot n \cdot I / R \quad \text{Eq. 3}$$

Pour les bobines utilisées, on a $R = 0.2m$ et $n = 154$

et on donne $\mu_0 = 1.275 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{T \cdot m}{A}$

$$B = \left(6.93 \cdot (10)^{-4} \frac{T}{A}\right) I \quad \text{Eq. 4}$$

On portant (Eq. 4) dans (Eq. 2) on obtient

$$\frac{e}{m_0} = \left[4.17 \cdot 10^{10} \frac{A^3 \cdot cm^2 \cdot s}{V \cdot Kg} \right] \cdot \frac{U}{I^2 \cdot r^2}$$

U en volts, I en Ampères et r en cm afin de compléter les tableaux 1 et 2.

Compléter le tableau 2 pour différentes $r=0.02, 0.03, 0.04, 0.05$ cm.

U /V	r=0.02m			r=0.03m			r=0.04m			r=0.05m		
	I /A	e/m ₀ (10 ¹¹ As/Kg)	I ² /A ²	I /A	e/m ₀ (10 ¹¹ As/Kg)	I ² /A ²	I /A	e/m ₀ (10 ¹¹ As/Kg)	I ² /A ²	I /A	e/m ₀ (10 ¹¹ As/Kg)	I ² /A ²
100	2,5	1,7		1,6	1,8		1,1	2,2		0,91	2,0	
120	2,6	1,9		1,7	1,9		1,3	1,9		1,0	2,0	
140	2,8	1,9		1,9	1,8		1,4	1,9		1,1	1,9	
160				2,0	1,9		1,5	1,9		1,2	1,9	
180				2,2	1,7		1,6	1,8		1,3	1,8	
200				2,3	1,8		1,7	1,8		1,4	1,7	
220				2,4	1,8		1,8	1,8		1,4	1,9	
240				2,5	1,8		1,9	1,7		1,5	1,8	
260				2,6	1,8		1,9	1,9		1,6	1,7	
280				2,7	1,8		2,0	1,8		1,6	1,8	
300				2,8	1,8		2,0	1,8		1,7	1,7	

Tableau 2 : Intensité de courant et charge spécifique de l'électron suivant (2) et (3) pour différentes tensions U et différents rayons r de la trajectoire circulaire des électrons.

Tracer U en fonction de I^2 , pour différentes $r=0.02, 0.03, 0.04, 0.05$ cm c-à-d

$$U = \left[\frac{r^2}{4.17 \cdot 10^{10}} \cdot \frac{V \cdot Kg}{A^3 \cdot cm^2 \cdot s} \right] \cdot \frac{e}{m_0} \cdot I^2$$

$$U = \lambda \cdot I^2$$

Pour déduire la charge spécifique $\frac{e}{m_0}$, on utilisant le code Origin, fiter les graphes $U = f(I^2)$ linéairement (linear fit) on déduit la charge spécifique pour chaque graphes.

T.P. 5: Séries de Balmer / Détermination de la constante de Rydberg

Termes analogues (Pour en savoir plus sur ...):

L'image de diffraction d'un réseau de diffraction, la plage spectrale visible, l'atome à un seul électron, le modèle atomique de Bohr, la série de Lyman, de Paschen, de Brackett et de Pfund, le niveau d'énergie, la constante de Planck, l'énergie de liaison.

Principe de l'expérience:

Les raies spectrales de l'hydrogène et du mercure sont examinées au moyen d'un réseau de diffraction. Les raies spectrales connues de l'Hg sont utilisées pour déterminer la constante de réseau. La longueur d'onde des raies visibles de la série de Balmer de H est mesurée.

Matériel :

Le même matériel du TP **Spectre atomique de systèmes à deux électrons: He, Hg**

Objectifs :

1. Déterminer la constante du réseau de diffraction au moyen du spectre de l'Hg.
2. Déterminer les raies visibles de la série de Balmer du spectre de H, de la constante de Rydberg et des niveaux d'énergie.



Fig. 1: Montage Séries de Balmer / Détermination de la constante de Rydberg

Montage et mode opératoire

Le montage est effectué suivant **fig.1**. Les isolateurs à bornes sont posés à la sortie **7 kV** de la source H.T. On fixe à la hauteur de la fente du tube écran, immédiatement derrière le tube spectral, la règle graduée droite. On fixe sur le porte-écran le réseau de Rowland de telle façon que le plan du réseau soit **perpendiculaire jonction** à la réseau-fente du tube écran. Le local sera assombri de telle sorte que l'on puisse encore procéder à une mesure sur la règle graduée. On règle la source haute tension sur environ **5 kv**. On observe à travers le réseau les différentes raies (**1^{er} ordre**) de la lampe spectrale, et on détermine, à l'aide de la règle graduée, la distance **2 l** entre, les mêmes raies.

Théorie et exploitation

Voir l'annexe à ce TP (**théorie du TP Spectre atomique de systèmes à deux électrons : He, Hg**)

Mesure :

- Mettre en marche la source haute tension sur environ **5 kv**.
- En déplaçant à chaque fois le réseau de Rowland de telle façon que le plan du réseau soit **perpendiculaire jonction** à la réseau-fente du tube écran.
- On observe à travers le réseau les différentes raies (**1^{er} ordre**) de la lampe spectrale, et on détermine, à l'aide d'une règle graduée, la distance **2 l** entre, les mêmes raies et la distance **d** entre la source lumineuse (Tube spectral Hg ou H₂) et le réseau de diffraction.
- Déterminer la constante du réseau de diffraction au moyen du spectre de l'Hg.
- Déterminer les raies visibles de la série de Balmer du spectre de H, de la constante de Rydberg et des

Bibliographie :

- [1] Phywe systeme GmbH Robert-Bosh-Breite 10 D-37079 Gottingen Germany.
- [2] PROPRIÉTÉS PHYSIQUES, MÉCANIQUES, ET ÉLECTRONIQUES DES MATÉRIAUX SOLIDES ; Roland FORTUNIER, 2005.
- [3] DIFFRACTION DES RAYONS X, K. Wolski Février 2004.
- [4] PHYSIQUE NUCLÉAIRE, Claude Le Sech et Christian Ngô, Dunod, Paris, 2010.
- [5] Expériences Travaux pratiques de Physique PHYWE Systeme GmbH & Co. KG · D-37070 Göttingen.

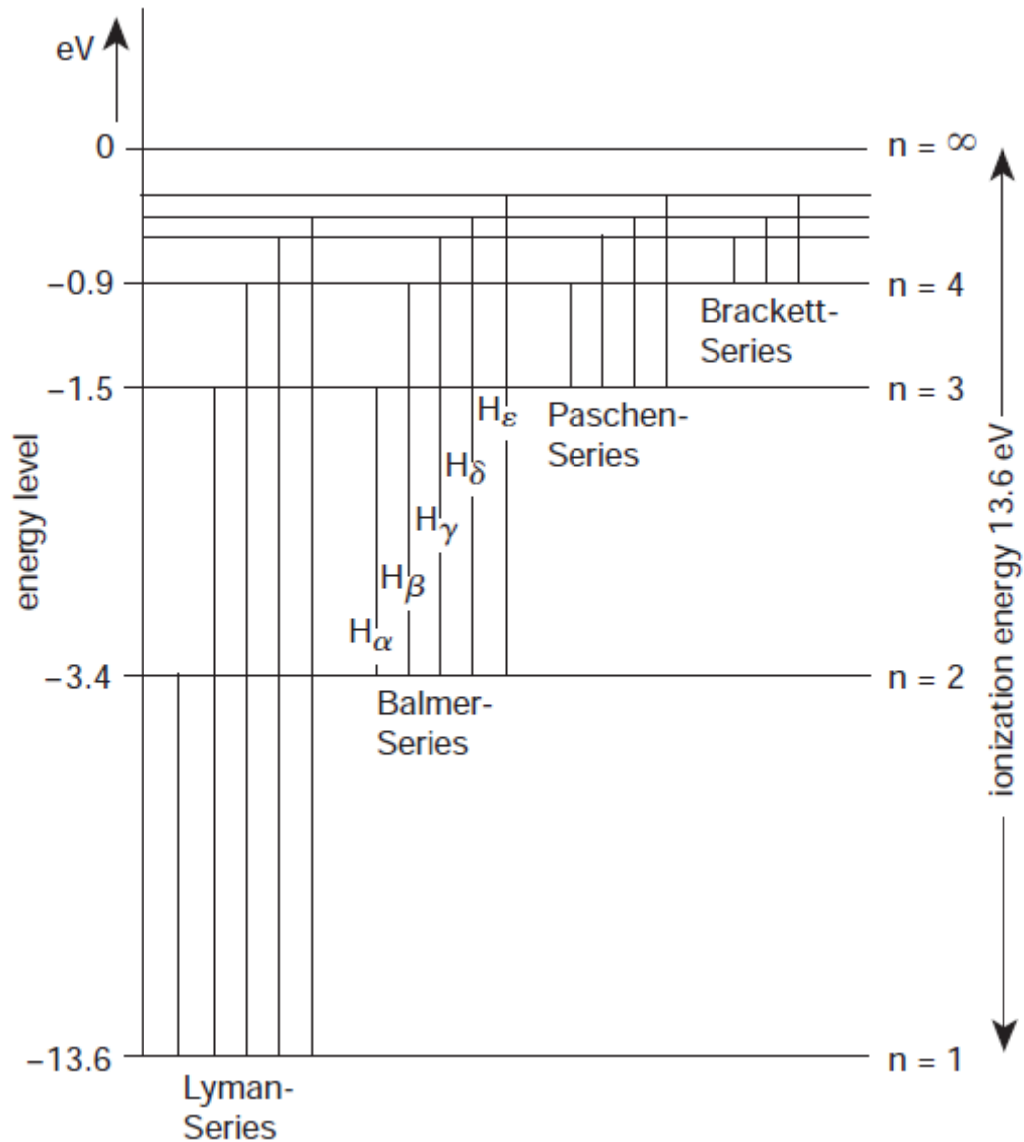


Tableau 2 : diagramme des niveaux d'énergie de l'atome H^5 .

[5] Expériences Travaux pratiques de Physique PHYWE Systeme GmbH & Co. KG · D-37070 Göttingen.

T.P. : Spectre de rayons X et réflexion de Bragg

Termes analogues :

Rayonnement de freinage, rayonnement caractéristique, plan réticulaire (plan Cristallographique), écartement du réseau, fréquence critique, longueur d'onde critique.

Principe :

Un faisceau de rayons X frappe un cristal pouvant subir une rotation. Suivant la condition de Bragg, les rayons d'une longueur d'onde définie subissent une dispersion en phase en fonction de l'angle entre la direction des rayons et le plan réticulaire. On mesure l'intensité en fonction de la longueur d'onde et de la tension à l'anode.

Matériel :

CHRONOMETRE DE POCHE 2 03076.01	1
MULTIHETRE MANUEL DIGITALE 2A, LCD 07132.00	1
FIL DE CONNEX., 500 MM ROUGE 07361.01	1
FIL DE CONNEX., 500 MM BLEU 07361.04	1
TUBE GM TYPE A 39025.01	1
APPAREIL A RAYONS X, 220 V CA 09052.93*	1
COHPT.DIG.ELEC.4 DEC.A H. -PARL. 11758.93*	1
PILE 9 V 07496.10	1

Les appareils marqués d'une * sont prévus pour un raccordement au secteur de **220 V~, 50 Hz**. Ils peuvent aussi être livrés pour d'autres tensions resp. fréquences de secteur.

Problème

- Détermination du spectre des rayons X en fonction de l'angle entre la direction des rayons X et le plan réticulaire (plan cristallographique) pour une tension d'anode constante.
- Détermination de l'intensité de rayons X monochromatiques en fonction de la tension à l'anode.

Montage et mode opératoire

Le montage est effectué suivant **fig. 1**. La tension à l'anode est déterminée directement avec la plage de mesure du courant (**10 μ A = 1 kV**) du multimètre digital. On dispose sur l'ouverture de sortie un diaphragme **d = 2 mm**.

Avant de procéder aux mesures, les deux indicateurs d'angle dans l'enceinte d'expérimentation de l'appareil à **rayons X** doivent être mis de niveau.

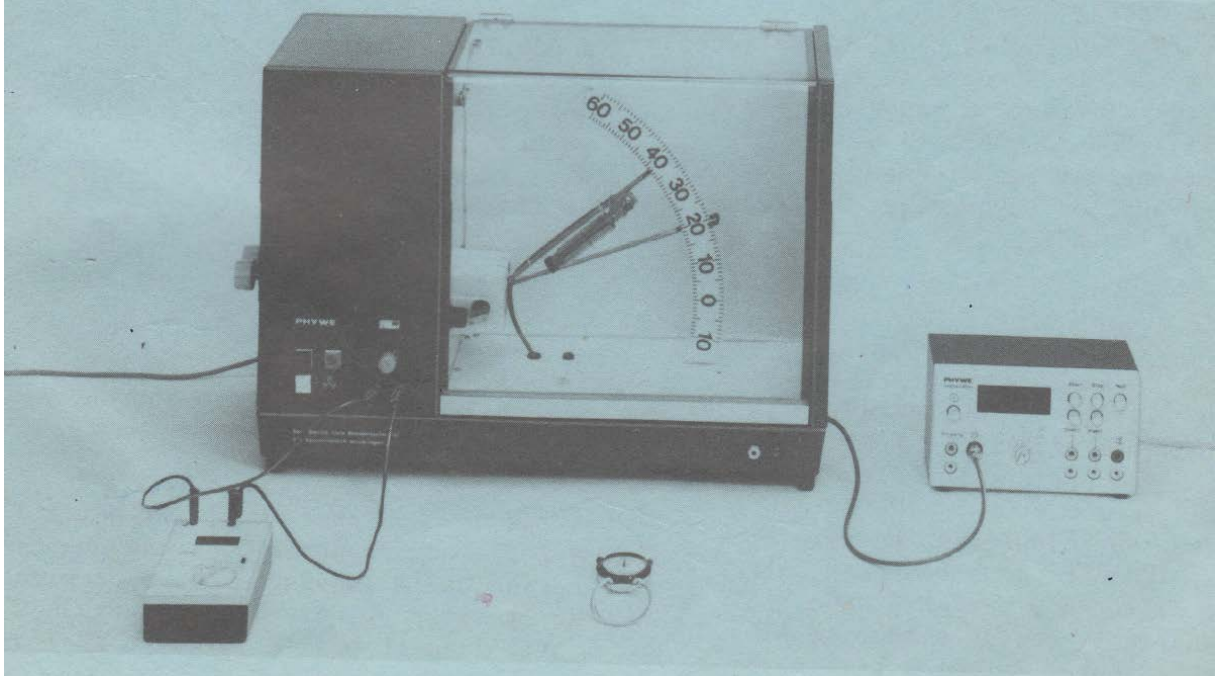


Fig. 1: Montage pour la détermination du spectre de rayons X d'un tube Cu.

On place le cristal LiF parallèlement à l'aiguille et afin d'obtenir une butée-repère définie, il est légèrement tourné vers la droite. On introduit le compteur G.M., on branche le compteur à 4 décades et puis, on ferme l'enceinte d'expérimentation (encliquetage du contacteur de sécurité). On règle la tension à l'anode sur environ 20-22 kV.

On tourne le cristal sur $22,5^\circ$ et on règle le tube GM sur la plage du maximum d'intensité relatif, soit environ 40° à 50° . En faisant subir au cristal et au compteur GM de petites modifications angulaires, on cherche le maximum absolu d'intensité (raie K_α , $\lambda = 154 \text{ pm} \approx 22,5^\circ$). Les aiguilles équipant les dispositifs sont positionnées sur $22,5^\circ$ resp. 45° . On procède dans un essai préliminaire à la détermination de l'effet zéro.

La tension à l'anode est à contrôle et éventuellement à réajuster entre les mesures.

Théorie et exploitation

Si un faisceau d'électrons ayant une énergie E frappe une anode d'un matériau déterminé, les électrons sont freinés. Une partie de l'énergie cinétique eU est cédée sous forme de rayonnement, où U est la tension appliquée à l'anode. Le spectre de freinage a une limite inférieure d'ondes courtes due au fait que la totalité de l'énergie

cinétique est transformée, en un seul processus, en rayonnement de fréquence f (cas limite) :

$$eU = hf = h \frac{c}{\lambda}$$

c est la vitesse de la lumière, λ la longueur d'onde resp. f la fréquence.

h est la constante de Planck ou quantum d'action et e la charge des électrons. En cédant leur énergie cinétique, les électrons peuvent ioniser les atomes target, par arrachage d'électrons de la couche située le plus à l'intérieur. L'atome activé passe de préférence à un niveau inférieur, c.-à-d. qu'un électron passe de la couche la plus proche ou la suivante à la couche située le plus à l'intérieur et qu'il émet à ce moment la différence d'énergie sous forme de quanta de rayons X. Si la couche sur laquelle l'électron est passé est la couche K , on obtient en conséquence les raies K_{α} , K_{β} etc.

Si une onde de longueur λ tombe sur un système de plans réticulaires parallèles, sous un angle θ , il se produit une interférence constructive de l'onde réfléchie, lorsque les parcours des ondes partielles élémentaires diffèrent entre-elles d'une longueur d'onde ou de son multiple.

En reprenant les désignations de la fig. 2, ce cas se produit si

$$n \lambda = 2 d \sin \theta; \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

d étant la distance entre les plans du réseau.

A partir d'un rayonnement blanc, chaque position du cristal dispersant donne lieu, par filtration, à une longueur d'onde déterminée. Le cristal employé est un LiF avec un écartement du réseau de

$$d = 2.01 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$$

On peut ainsi attribuer à chaque position angulaire du cristal la. Longueur d'onde resp. la fréquence correspondante.

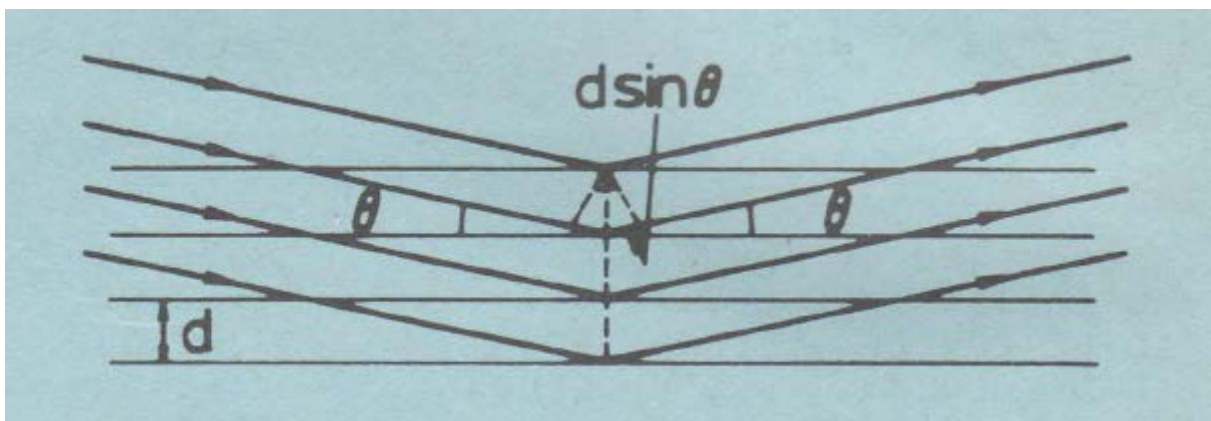


Fig. 2: Interférence d'ondes sur des plans du réseau.

La pente croissante de l'intensité du spectre aux **rayons X** pour une augmentation de la longueur d'onde provient du rayonnement des électrons freinés partiellement par le matériau de l'anode (spectre de freinage). pour une anode mince, l'intensité est

$$I(\lambda) = a \cdot \lambda^{-2} \text{ pour } \lambda \geq \lambda_{\min} \quad \text{et } I(\lambda) = 0 \text{ pour } \lambda \leq \lambda_{\min}$$

où **a** est une constante; de $\lambda = \frac{c}{f}$;

on déduit
$$I(\lambda)d\lambda = \frac{f^2}{c} I(f)df$$

et, à partir de là, pour une anode mince

$$I(\lambda) = \text{const.} \text{ pour } f \geq f_{\max} \quad \text{et } I(f) = 0 \text{ autrement.}$$

Si on, néglige l'absorption des rayons dans l'anode on a approximativement pour une anode épaisse

$$I(f) = b \cdot (f_{\max} - f) \quad (\text{Kulenkampff})$$

La constante b dépend du numéro atomique du matériau de l'anode et de la tension U_A .

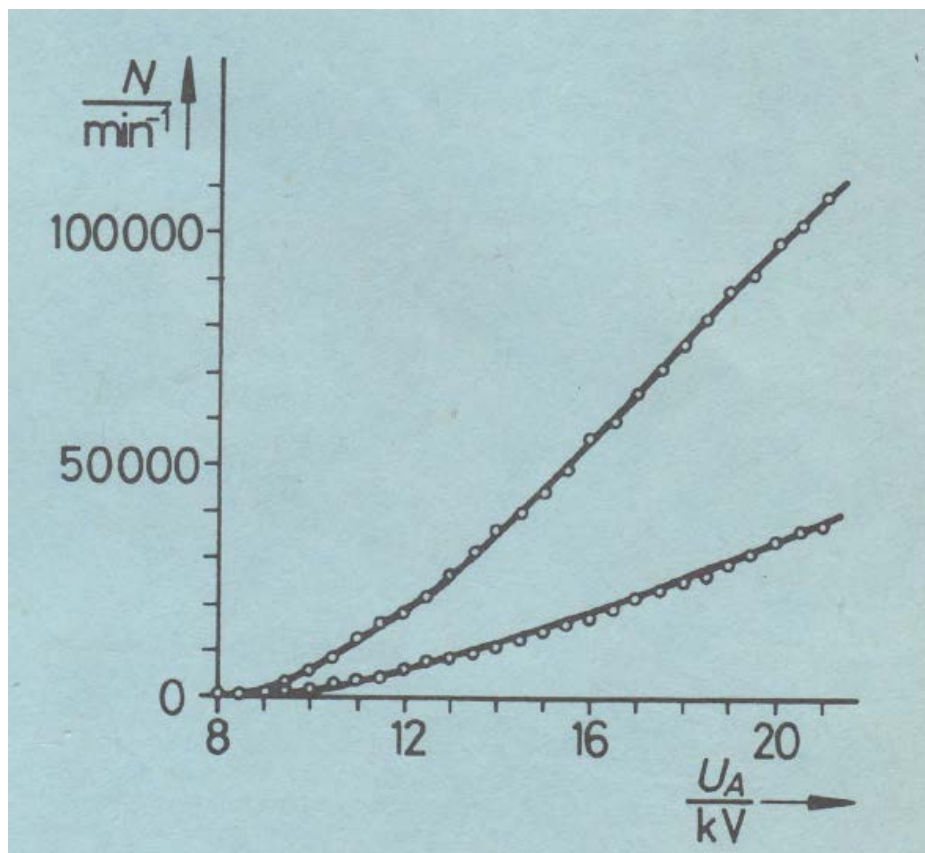


Fig. 4: Intensité des raies K_α et K_β d'un tube Cu en fonction de la tension de l'anode.

Mesure :

- Mettre un cristal (**NaCl**, **LiF**, ...) dans le porte échantillon ; refermer le couvercle.
- Mettre en marche le détecteur d'impulsions et l'appareil à rayons X (avec la minuterie au maximum), appuyer sur le bouton rouge déclencher les rayons X.
- En déplaçant le détecteur d'un angle **2θ**, le cristal tourne aussi d'un angle **θ** qui est l'angle d'incidence des rayons X sur le cristal.
- Etudier la variation des impulsions des rayons X en fonction de **2θ** (voir **tableau1**).
- Tracer la courbe **intensité(RX)=f(2θ)** ; en déduire le spectre des R.X.
- Commenter la courbe et comparer avec la courbe théorique.
- Pour le pic maximum de la courbe déterminer **θ_{Max}** ; calculer cet angle la valeur de la distance inter-réticulaire.

Remarque : Pour la variation de **2θ** on procède ainsi :

- ✓ Entre **12° et 20°** on varie le pas de **1°**. Entre **20° et 40°** on varie le pas de **2°**.
- ✓ Entre **40° et 46°** on varie le pas de **1°**. Et on continue jusqu'à **50°** avec un pas de **2°**.

Données : $\lambda_{K\alpha} = 0.154 \cdot 10^{-9}m$; $\lambda_{K\beta} = 0.138 \cdot 10^{-9}m$

- Que concluez-vous ?

Angle 2θ	Nombre d'impulsions			Moyenne X_{Moyen}	Angle 2θ	Nombre d'impulsions			Moyenne X_{Moyen}
	X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃	
12					32				
13					34				
14					36				
15					38				
16					40				
17					41				
18					42				
19					43				
20					44				
22					45				
24					46				
26					48				
28					50				
30					/	/	/	/	/

tableau1

T.P. 4: Spectre atomique de systèmes à deux électrons : He, Hg

Termes analogues (Pour en savoir plus sur ...):

Le parahélium, l'orthohélium, l'énergie d'échange, le spin, le moment angulaire, le moment cinétique, l'interaction spin-orbite et moment cinétique orbital, l'état singulet, l'état triplet, la multiplicité, les séries de Rydberg, les règles de sélection, la transitions interdites, l'état métastable, le niveau d'énergie, l'énergie d'excitation.

Principe de l'expérience:

Les raies spectrales du He et Hg sont étudiées à l'aide du réseau de diffraction. La longueur d'onde des raies est déterminée à partir de leur disposition géométrique et des constantes du réseau de diffraction.

Matériel :

Tube spectral, Hg 06664.00	1
Tube spectral, He 06668.00	1
Support pour tube spectral, la paire 06674.00	1
Abat-jour pour tube spectral 06675.00	1
Fil de connexion, 30 kV, l = 1000 mm 07367.00	2
Porte-objet 50 mm x 50 mm 08041.00	1
Réseau de diffraction, 570 ou 600 lignes/mm 08546.00	1
Alimentation haute tension 0...10 kV 13670.93	1
Support isolant 06020.00	2
Trépied PASS 02002.55	1
Embase PASS 02006.55	1
Tige carrée PASS, l = 400 mm 02026.55	1
Noix double PASS 02040.55	3
Tige raccord 02060.00	1
Mètre de démonstration, l = 1000 x 27 mm 03001.00	1
Curseur pour mètre, rouge, plastique, la paire 02201.00	1
Décamètre, l = 2 m 09936.00	1

Objectifs :

1. Déterminer la longueur d'onde des raies spectrales les plus intenses de l'He.
2. Déterminer la longueur d'onde des raies spectrales les plus intenses de l'Hg.



Fig. 1: Montage pour la mesure des spectres de l'He et de l'Hg.

Montage et mode opératoire

Le montage est effectué suivant **fig.1**. Les isolateurs à bornes sont posés à la sortie **7 kV** de la source H.T. On fixe à la hauteur de la fente du tube écran, immédiatement derrière le tube spectral, la règle graduée droite. On fixe sur le porte-écran le réseau de Rowland de telle façon que le plan du réseau soit **perpendiculaire** à la fente du tube écran. Le local sera assombri de telle sorte que l'on puisse encore procéder à une mesure sur la règle graduée. On règle la source haute tension sur environ **5 kv**. On observe à travers le réseau les différentes raies (**1^{er} ordre**) de la lampe spectrale, et on détermine, à l'aide de la règle graduée, la distance **2 l** entre, les mêmes raies.

Théorie et exploitation

1. Si un rayon lumineux de longueur d'onde λ tombe sur un réseau ayant une constante de réseau k , il est diffracté. Des maxima d'intensité se produisent lorsque l'angle de diffraction Φ remplit la condition

$$n \cdot \lambda = k \cdot \sin \Phi \quad ; \quad n = 0, 1, 2 \dots$$

La **figure 2** donne $\sin \Phi = \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}}$; on trouve $\lambda = \frac{k \cdot l}{\sqrt{d^2 + l^2}}$ pour la diffraction de **1^{er} ordre**.

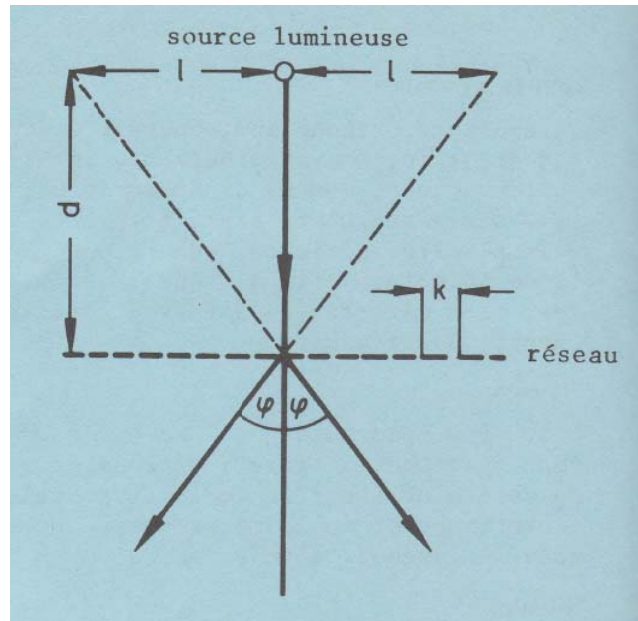


Fig. 2: Diffraction d'un rayon lumineux de l'longueur d'onde λ sur réseau.

2. L'excitation des atomes de l'He resp. de l'Hg est provoquée par le choc des électrons. La différence d'énergie lors du retour des électrons du niveau excité E_1 , au niveau initial E_0 est émise sous forme de photon de fréquence f

$$h \cdot f = E_1 - E_0 \quad h = \text{constante de Planck} \\ = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}.$$

Suite de la théorie : voir l'annexe à ce TP.

Mesure :

- Mettre en marche la source haute tension sur environ **5 kv**.
- En déplaçant à chaque fois le réseau de Rowland de telle façon que le plan du réseau soit **perpendiculaire jonction** à la réseau-fente du tube écran.
- On observe à travers le réseau les différentes raies (**1^{er} ordre**) de la lampe spectrale, et on détermine, à l'aide d'une règle graduée, la distance **2 l** entre, les mêmes raies et la distance **d** entre la source lumineuse (Tube spectral Hg ou He) et le réseau de diffraction.
- Compléter le **tableau 1** et déduire les longueurs d'ondes des raies observées.

Données $k = 10^{-6} \text{ m}$

Que concluez-vous ?

couleur	d/cm	l/cm	λ/nm	transition

tableau1

Bibliographie :

- [1] Phywe systeme GmbH Robert-Bosh-Breite 10 D-37079 Gottingen Germany.
- [2] PROPRIÉTÉS PHYSIQUES, MÉCANIQUES, ET ÉLECTRONIQUES DES MATÉRIAUX SOLIDES ; Roland FORTUNIER, 2005.
- [3] DIFFRACTION DES RAYONS X, K. Wolski Février 2004.
- [4] PHYSIQUE NUCLÉAIRE, Claude Le Sech et Christian Ngô, Dunod, Paris, 2010.
- [5] Expériences Travaux pratiques de Physique PHYWE Systeme GmbH & Co. KG · D-37070 Göttingen.

Couleur	λ/nm	Transition
rouge	665 ± 2	$3^1D R 2^1P$
jaune-orange	586 ± 2	$3^3D R 2^3P$
vert	501 ± 2	$3^1D R 2^1P$
bleu-vert	490 ± 2	$4^1D R 2^1P$
bleu	470 ± 3	$4^3S R 2^3P$
violet	445 ± 1	$4^3D R 2^3P$

Couleur	λ/nm	Transition
jaune	581 ± 1	$\left\{ \begin{array}{l} 6^1D1 R 6^1P1 \\ 6^3D1 R 6^1P1 \end{array} \right.$
vert	550 ± 1	$7^3S1 R 6^3P1$
vert	494 ± 2	$8^1S1 R 6^1P1$
bleu	437 ± 2	$7^1S R 6^1P1$

Tableau 2 : raies spectrales de l'He/Hg mesurées et les transitions de niveau d'énergie correspondantes⁵.

[5] Expériences Travaux pratiques de Physique PHYWE Systeme GmbH & Co. KG · D-37070 Göttingen.

T.P. : effet Compton

Termes analogues :

Effet Compton, rayonnement de freinage, rayonnement caractéristique, plan réticulaire (plan Cristallographique), écartement du réseau, fréquence critique, longueur d'onde critique.

Principe :

L'effet Compton, résulte de l'interaction entre le photon incident et un électron. Le photon cède de l'énergie à l'électron et le photon diffusé a une longueur d'onde plus grande. L'énergie d'un électron lié de la cible est de quelques eV. Cette énergie est négligeable devant celle du photon incident et on peut considérer que la vitesse initiale de l'électron est nulle. Un faisceau de rayons X frappe un cristal pouvant subir une rotation. Suivant la condition de Bragg, les rayons d'une longueur d'onde définie subissent une dispersion en phase en fonction de l'angle entre la direction des rayons et le plan réticulaire. On mesure le Nombre d'impulsions N en fonction la tension de l'anode U et la différence de la longueur d'onde en fonction de l'angle de réflexion.

Matériel :

Le Matériel est le même du T.P. du Spectre de rayons X et réflexion de Bragg.

Problème

Détermination de la longueur d'onde de Compton.

Montage et mode opératoire

Le montage est effectué suivant le montage du T.P. du Spectre de rayons X et réflexion de Bragg.

Théorie et exploitation

Voir le TP du Spectre de rayons X et réflexion de Bragg et l'annexe théorique à ce TP.

Mesure :

- Mettre un cristal (NaCl , LiF , ...) dans le porte échantillon ; refermer le couvercle.
- Mettre en marche le détecteur d'impulsions et l'appareil à rayons X (avec la minuterie au maximum), appuyer sur le bouton rouge déclencher les rayons X.
- En déplaçant le détecteur d'un angle 2θ , le cristal tourne aussi d'un angle θ qui est l'angle d'incidence des rayons X sur le cristal.
- En règle la tension à 20KV et on mesure le nombre de rayons/s (Nombre d'impulsions N).
- Tracez $N = f(U)$, U la tension de l'anode et N nombre de rayons/s
- Etudier la variation des impulsions des rayons X en fonction de Nombre d'impulsions N ; en fonction $1 - \cos\theta$ et en fonction $\Delta\lambda$ (voir tableau1)
- Tracer la courbe $\Delta\lambda = f(1 - \cos\theta)$; en déduire la λ_c .
- Commenter la courbe et comparer avec la courbe théorique.

U	N	$1 - \cos\theta$	$\Delta\lambda$

tableau1

Que concluez-vous ?

Bibliographie :

[1] Phywe systeme GmbH Robert-Bosh-Breite 10 D-37079 Gottingen Germany.

- [2] PROPRIÉTÉS PHYSIQUES, MÉCANIQUES, ET ÉLECTRONIQUES DES MATÉRIAUX SOLIDES ; Roland FORTUNIER, 2005.
[3] DIFFRACTION DES RAYONS X, K. Wolski Février 2004.
[4] PHYSIQUE NUCLÉAIRE, *Claude Le Sech et Christian Ngô*, Dunod, Paris, 2010.

Annexe : rappel théorique sur l'effet Compton.

On envoie un faisceau de rayons X durs ou de rayons γ de fréquence ν et de longueur d'onde $\lambda = c / \nu$ sur une cible très mince. On observe les rayons diffusés dans une direction faisant l'angle ϕ avec la direction du faisceau incident. On constate que la longueur d'onde λ' des photons diffusés est supérieure à λ et que cette longueur d'onde est fonction de l'angle d'observation. Ce phénomène, qui est l'effet Compton, résulte de l'interaction entre le photon incident et un électron. Le photon cède de l'énergie à l'électron et le photon diffusé a une longueur d'onde plus grande. L'énergie d'un électron lié de la cible est de quelques eV. Cette énergie est négligeable devant celle du photon incident et on peut considérer que la vitesse initiale de l'électron est nulle. Compte tenu des énergies, il faut utiliser les relations relativistes de la quantité de mouvement et de l'énergie.

m est la masse de l'électron et c la vitesse de la lumière.

Etat initial :	Photon	Quantité de mouvement $p_1 = h / \lambda$.	Energie $E_1 = h\nu = h.c / \lambda$.
	Electron	Quantité de mouvement $p_2 = 0$	Energie $E_2 = mc^2$
Etat final :	Photon	Quantité de mouvement $p_1' = h / \lambda'$.	Energie $E_1' = h\nu' = h.c / \lambda'$.
	Electron	Quantité de mouvement $p_2' = \gamma.m.v$	Energie $E_2' = \gamma.mc^2$

Avec $\gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Soit ψ l'angle entre la direction incidente Ox et celle de l'électron.

$$\text{Conservation de l'énergie : } mc^2 + h\nu - h\nu' = \gamma.mc^2 \quad (1)$$

Conservation de la quantité de mouvement

$$\text{Sur Ox } h\nu - h\nu' \cos \phi = \gamma.mcv \cos \psi \quad (2)$$

$$\text{Sur Oy } h\nu' \sin \phi = \gamma.mcv \sin \psi \quad (3)$$

$$\text{Le carré de (1) donne : } m^2c^4 + (h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2h^2\nu\nu' - 2hmc^2(\nu' - \nu) = \gamma^2.m^2c^4 \quad (4)$$

$$\text{La somme de (2) et (3) au carré donne : } (h\nu)^2 + (h\nu')^2 - 2h^2\nu\nu' \cos \phi = \gamma^2.(mc\nu)^2 \quad (5)$$

La soustraction membre à membre de (4) et (5) permet d'éliminer ν^2 .

$$\text{Il reste : } h^2\nu\nu'.(1 - \cos \phi) = hmc^2(\nu - \nu').$$

$$\text{En passant aux longueurs d'onde, on obtient : } \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \phi)$$

C'est la relation de Compton.

La quantité $\lambda_C = h / mc = 0,02426 \text{ \AA}$ est la longueur d'onde de Compton

A partir de la relation (1), on peut calculer γ et en déduire la vitesse v de l'électron.

$$\text{Le quotient de (3) par (2) donne : } \tan \psi = \frac{\nu' \sin \phi}{\nu - \nu' \cos \phi} = \frac{\frac{c}{\lambda'} \sin \phi}{\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda'} \cos \phi}$$

$$\text{Vérifier que } \frac{1}{\tan \psi} = -\tan \frac{\phi}{2} \left(1 + \frac{h}{mc\lambda} \right)$$

Examen TP : effet Compton

Nom de l'étudiant(e) :
Prénoms de l'étudiant(e) :

Objectif : Détermination de la longueur d'onde de Compton.

Montage: Réaliser le montage suivant la figure 1.

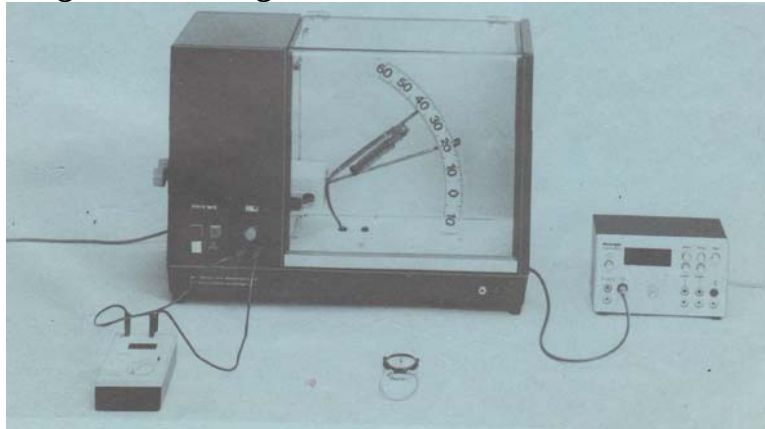


Fig. 1: Montage pour la détermination du spectre de rayons X d'un tube Cu.

Mesure : On mesure le Nombre d'impulsions N en fonction la tension de l'anode U et la différence de la longueur d'onde en fonction de l'angle de réflexion.

- Mettre un cristal (NaCl, LiF, ...) dans le porte échantillon ; refermer le couvercle.
- Mettre en marche le détecteur d'impulsions et l'appareil à rayons X (avec la minuterie au maximum), appuyer sur le bouton rouge déclencher les rayons X.
- En déplaçant le détecteur d'un angle 2θ , le cristal tourne aussi d'un angle θ qui est l'angle d'incidence des rayons X sur le cristal.
- En règle la tension à 20KV et on mesure le nombre de rayons/s (Nombre d'impulsions N).
- Tracez $N = f(U)$, U la tension de l'anode et N nombre de rayons/s
- Etudier la variation des impulsions des rayons X en fonction de Nombre d'impulsions N ; en fonction $1 - \cos\theta$ et en fonction $\Delta\lambda$ (voir tableau1)
- Tracer la courbe $\Delta\lambda = f(1 - \cos\theta)$; en déduire la λ_c .
- Commenter la courbe et comparer avec la courbe théorique.

U	N	$1 - \cos\theta$	$\Delta\lambda$
20			
18			
15			
10			
5			

Tableau1

Données : $\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$, $\lambda_c \cong 0.02426\text{\AA}$

Bon courage

Examen TP n° 4: Charge spécifiques de l'électron Nom de l'étudiant(e) :

(Examen TP n° 4 pour $r=0.05\text{ m}$)

Prénoms de l'étudiant(e) :

Objective :

Détermination de la charge spécifique de l'électron (e/m_0) à partir de la trajectoire d'un faisceau de rayons d'électrons dans des champs électriques et magnétiques croisés d'intensité variable.

Montage: réaliser le montage de la manipe suivant la figure 1.

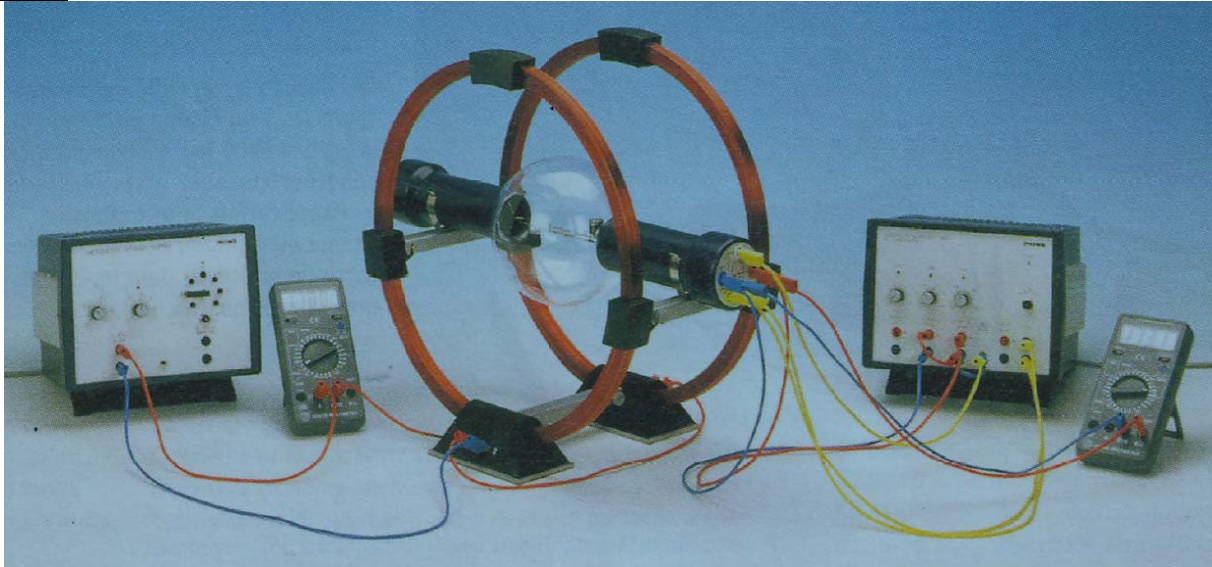


Fig.1. montage pour la détermination de la charge spécifique de l'électron

Mesure :

1. Complétez le tableau 1 en donnant U, pour $r=0.05\text{ m}$.

2. Tracer $I=f(U)$. Tracer U en fonction de I^2 , c-à-d $U = \left[\frac{r^2}{4.17 \cdot 10^{10}} \cdot \frac{V \cdot Kg}{A^3 \cdot cm^2 \cdot s} \right] \cdot \frac{e}{m_0} \cdot I^2$

3. Donnez la valeur du rapport e/m_0 .

On donne le nombre de spire $N=450$, $R_{\text{Bobine}} = 50\text{ cm}$, et $r_4=0.05\text{m}$. $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$, $m \approx 9.1 \cdot 10^{-31}\text{ Kg}$.

$$\frac{e}{m_0} = \left[4.17 \cdot 10^{10} \frac{A^3 \cdot cm^2 \cdot s}{V \cdot Kg} \right] \cdot \frac{U}{I^2 \cdot r^2}$$

U/V	r=5cm		
	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)	I^2/A^2
220			
260			
280			

Tableau 1 : Intensité de courant et charge spécifique de l'électron pour différentes tensions U et rayons r de la trajectoire circulaire des électrons.

Bon courage

Pr. M. ELKEURTI & Dr. H. HOCINE

Examen TP n° 1: Charge spécifiques de l'électron

(Examen TP n° 1 pour $r=0.02\text{ m}$)

Nom de l'étudiant(e) :.....
Prénoms de l'étudiant(e) :.....

Objective :

Détermination de la charge spécifique de l'électron (e/m_0) à partir de la trajectoire d'un faisceau de rayons d'électrons dans des champs électriques et magnétiques croisés d'intensité variable.

Montage: réaliser le montage de la manipe suivant la figure 1.

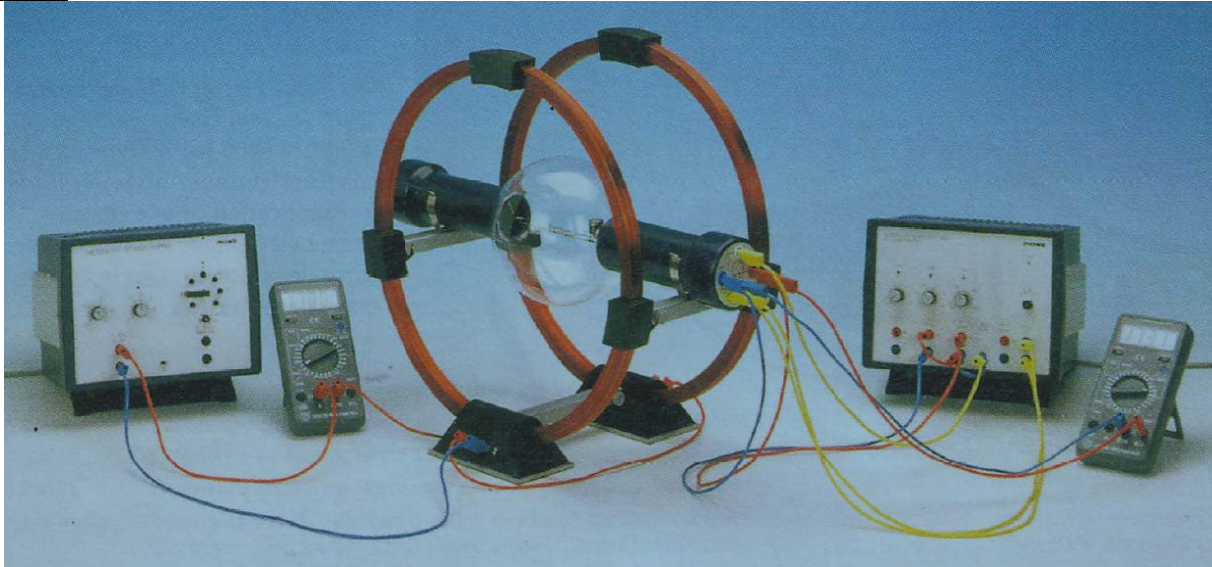


Fig.1. montage pour la détermination de la charge spécifique de l'électron

Mesure :

1. Complétez le tableau 1 en donnant U, pour $r = 0.02\text{ m}$.

2. Tracer $I=f(U)$. Tracer U en fonction de I^2 , c-à-d $U = \left[\frac{r^2}{4.17 \cdot 10^{10}} \cdot \frac{V \cdot Kg}{A^3 \cdot cm^2 \cdot s} \right] \cdot \frac{e}{m_0} \cdot I^2$

3. Donnez la valeur du rapport e/m_0 .

On donne le nombre de spire $N=450$, $R_{\text{Bobine}} = 50\text{ cm}$, et $r_4=0.05\text{m}$. $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$, $m \approx 9.1 \cdot 10^{-31}\text{ Kg}$.

$$\frac{e}{m_0} = \left[4.17 \cdot 10^{10} \frac{A^3 \cdot cm^2 \cdot s}{V \cdot Kg} \right] \cdot \frac{U}{I^2 \cdot r^2}$$

U/V	r=2cm		
	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11}As/Kg)	I^2/A^2
110			
130			
150			

Tableau 1 : Intensité de courant et charge spécifique de l'électron pour différentes tensions U et rayons r de la trajectoire circulaire des électrons.

Bon courage

Pr. M. ELKEURTI & Dr. H. HOCINE

Examen TP n° 3: Charge spécifiques de l'électron

(Examen TP n° 3 pour $r=0.04$ m)

Nom de l'étudiant(e) :.....
Prénoms de l'étudiant(e) :.....

Objective :

Détermination de la charge spécifique de l'électron (e/m_0) à partir de la trajectoire d'un faisceau de rayons d'électrons dans des champs électriques et magnétiques croisés d'intensité variable.

Montage: réaliser le montage de la manipe suivant la figure 1.

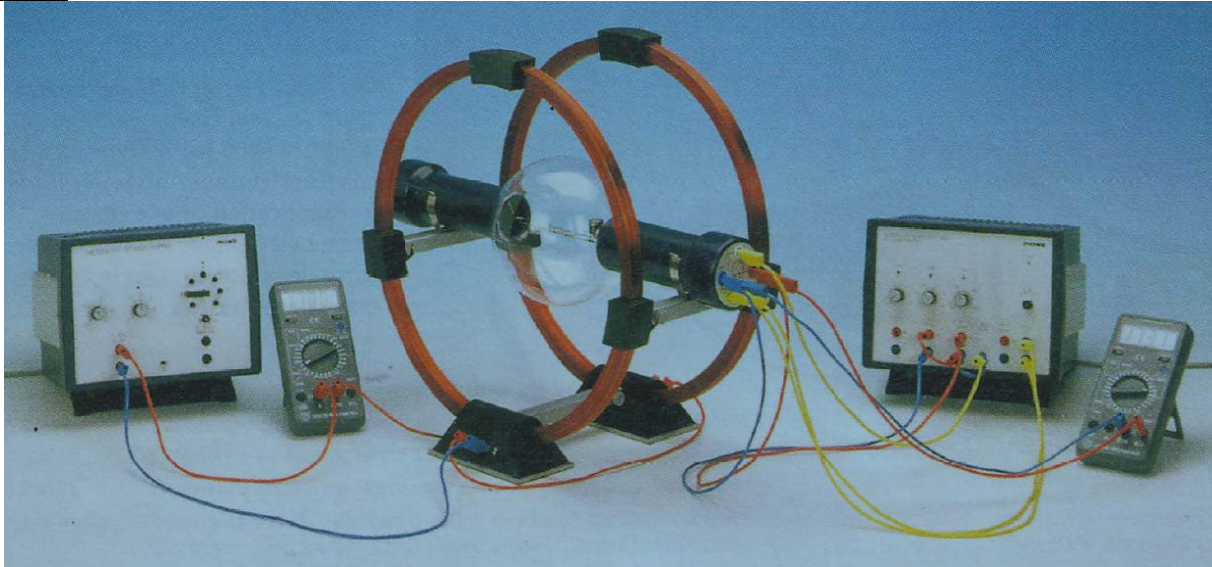


Fig.1. montage pour la détermination de la charge spécifique de l'électron

Mesure :

1. Complétez le tableau 1 en donnant U, pour $r=0.04$ m.

2. Tracer $I=f(U)$. Tracer U en fonction de I^2 , c-à-d $U = \left[\frac{r^2}{4.17 \cdot 10^{10}} \cdot \frac{V \cdot Kg}{A^3 \cdot cm^2 \cdot s} \right] \cdot \frac{e}{m_0} \cdot I^2$

3. Donnez la valeur du rapport e/m_0 .

On donne le nombre de spire $N=450$, $R_{Bobine} = 50$ cm, et $r_4=0.05$ m. $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $m \approx 9.1 \cdot 10^{-31}$ Kg.

$$\frac{e}{m_0} = \left[4.17 \cdot 10^{10} \frac{A^3 \cdot cm^2 \cdot s}{V \cdot Kg} \right] \cdot \frac{U}{I^2 \cdot r^2}$$

U/V	r=4cm		
	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)	I^2/A^2
180			
240			
260			

Tableau 1 : Intensité de courant et charge spécifique de l'électron pour différentes tensions U et rayons r de la trajectoire circulaire des électrons.

Bon courage

Pr. M. ELKEURTI & Dr. H. HOCINE

Examen TP n° 2: Charge spécifiques de l'électron

(Examen TP n° 2 pour $r=0.03$ m)

Nom de l'étudiant(e) :.....
Prénoms de l'étudiant(e) :.....

Objective :

Détermination de la charge spécifique de l'électron (e/m_0) à partir de la trajectoire d'un faisceau de rayons d'électrons dans des champs électriques et magnétiques croisés d'intensité variable.

Montage: réaliser le montage de la manipe suivant la figure 1.

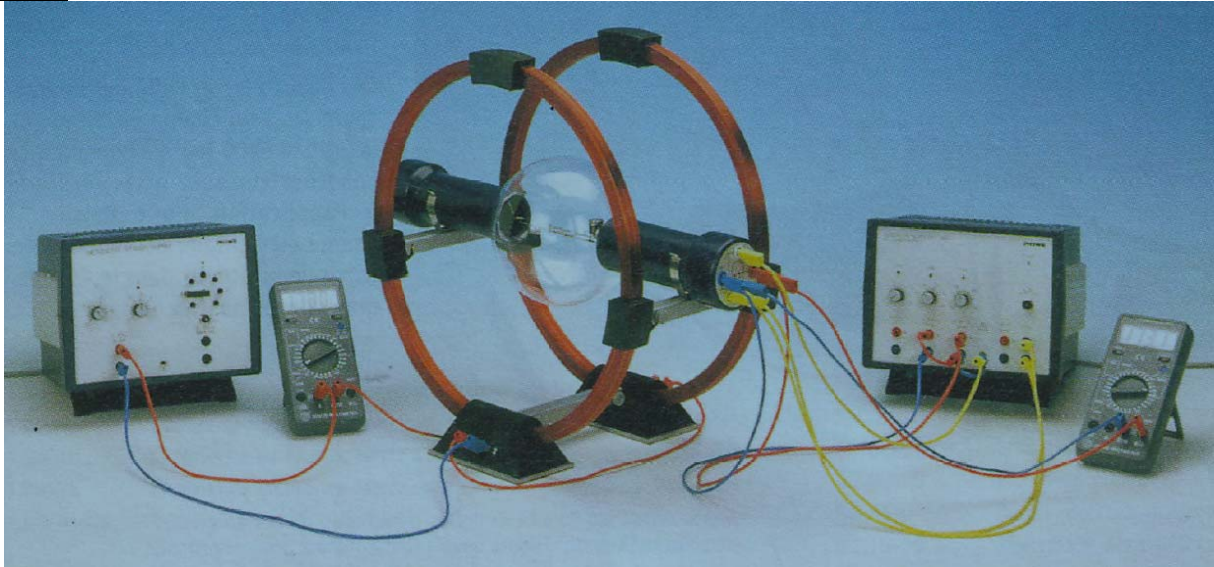


Fig.1. montage pour la détermination de la charge spécifique de l'électron

Mesure :

1. Complétez le tableau 1 en donnant U, pour $r= 0.03$ m.

2. Tracer $I=f(U)$. Tracer U en fonction de I^2 , c-à-d $U = \left[\frac{r^2}{4.17 \cdot 10^{10}} \cdot \frac{V \cdot Kg}{A^3 \cdot cm^2 \cdot s} \right] \cdot \frac{e}{m_0} \cdot I^2$

3. Donnez la valeur du rapport e/m_0 .

On donne le nombre de spire $N=450$, $R_{Bobine} = 50$ cm, et $r_4=0.05$ m. $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $m \approx 9.1 \cdot 10^{-31}$ Kg.

$$\frac{e}{m_0} = \left[4.17 \cdot 10^{10} \frac{A^3 \cdot cm^2 \cdot s}{V \cdot Kg} \right] \cdot \frac{U}{I^2 \cdot r^2}$$

U/V	r=3cm		
	I/A	$\frac{e}{m_0}$ (10^{11} As/Kg)	I^2/A^2
170			
230			
250			

Tableau 1 : Intensité de courant et charge spécifique de l'électron pour différentes tensions U et rayons r de la trajectoire circulaire des électrons.

Bon courage

Pr. M. ELKEURTI & Dr. H. HOCINE

Examen TP : Spectre de rayons X et réflexion de Bragg **Nom de l'étudiant(e) :**
Prénoms de l'étudiant(e) :

Objectif :

1. Détermination du spectre des rayons X en fonction de l'angle entre la direction des rayons X et le plan réticulaire (plan cristallographique) pour une tension d'anode constante.
2. Détermination de l'intensité de rayons X monochromatiques en fonction de la tension à l'anode.

Montage: Réaliser le montage suivant la figure 1.

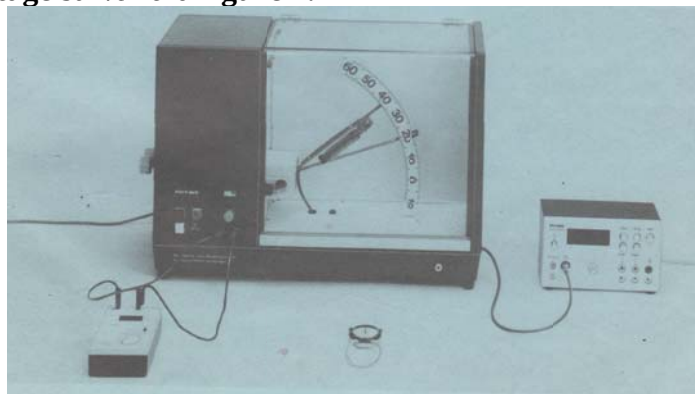


Fig. 1: Montage pour la détermination du spectre de rayons X d'un tube Cu.

Mesure :

- Mettre un cristal (NaCl) dans le porte échantillon ; refermer le couvercle.
- Mettre en marche le détecteur d'impulsions et l'appareil à rayons X (avec la minuterie au maximum), appuyer sur le bouton rouge déclencher les rayons X.
- En déplaçant le détecteur d'un angle 2θ , le cristal tourne aussi d'un angle θ qui est l'angle d'incidence des rayons X sur le cristal.
- Etudier la variation des impulsions des rayons X en fonction de 2θ (voir tableau 1).
- Tracer la courbe intensité(RX)=f(2θ) ; en déduire le spectre des R.X.
- Commenter la courbe et comparer avec la courbe théorique.
- Pour le pic maximum de la courbe déterminer θ_{Max} ; calculer cet angle la valeur de la distance inter-réticulaire.

Angle 2θ	Nombre d'impulsions			Moyenne X_{Moyen}	Angle 2θ	Nombre d'impulsions			Moyenne X_{Moyen}
	X_1	X_2	X_3			X_1	X_2	X_3	
12					34				
15					38				
20					40				
24					43				
28					45				
30					50				

Tableau 1

Bon courage

Données

$\lambda_{K\alpha} = 0.154 \cdot 10^{-9} m$; $\lambda_{K\beta} = 0.138 \cdot 10^{-9} m$; $n\lambda = 2d \sin \theta$; $n = 1, 2, 3 \dots$; $d = 2.01 \cdot 10^{-10} m$ (pour LiF) ; $eU = hf = h \frac{c}{\lambda}$