098.1

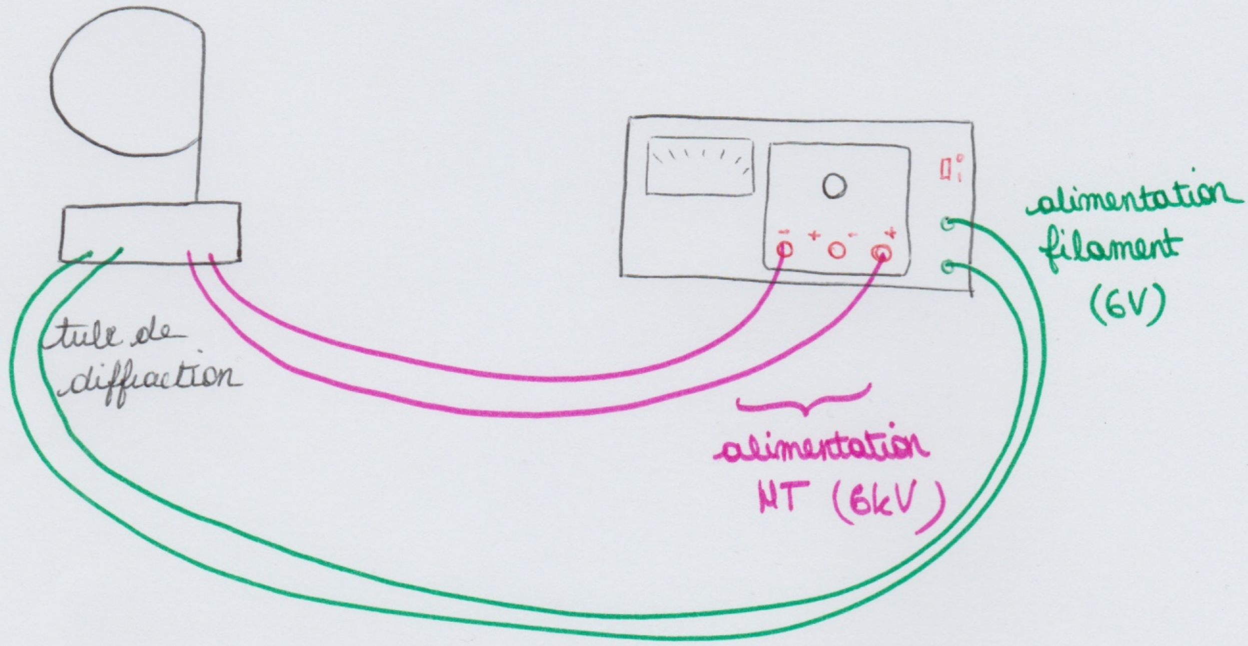
Diffraction des élections

1) Montage :

• matériel :

- système de diffraction des élections (PhG10.J.DiffElec)
- alimentation haute tension FREDERIKSEN (PhG10.JAlimHT.3 et 4)

• montage :



Onde de De Broglie associée à l'électron.
Diffraction d'électrons

On cherche à observer la diffraction d'un faisceau d'électrons par un réseau cristallin et à mesurer la longueur d'onde de De Broglie.

- La relation de De Broglie est $\hbar k = p = m_e v$

d'où $\lambda = \frac{h}{m_e v}$

On $\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$ d'où $\lambda = \frac{h}{m_e}\sqrt{\frac{m_e}{2eV}} = \boxed{\frac{h}{\sqrt{2 m_e e V}} = \lambda}$

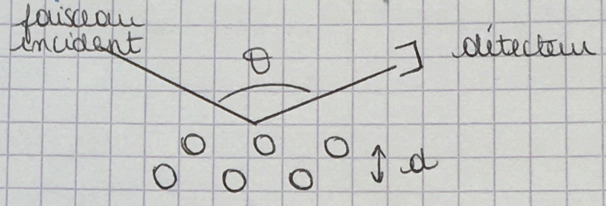
- Relation de Bragg : $2d \sin\theta = n\lambda$.

avec d le pas du réseau, qui correspond à la distance intermoléculaire.

n l'ordre de diffraction

λ la longueur d'onde

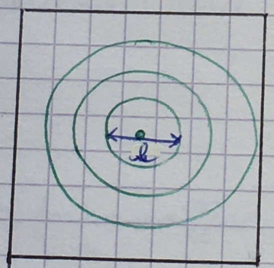
θ le demi angle de déviation



- On observe sur l'écran fluorescent les radiations émise par la désexcitation des atomes de la poudre
- Observation de la diffraction des électrons :

On observe sur l'écran fluorescent une figure de diffraction, qui dépend de la tension appliquée V puisque λ dépend de cette tension V :

Figure obtenue :

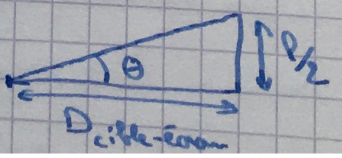


On relève les valeurs suivantes :

V appliquée	l mesuré	incertitude
3500V	2,50cm	0,058 cm
4000V	2,15 cm	0,058 cm
5000V	1,95 cm	0,058 cm

On applique la relation de de Bragg à l'ordre 1 : $\lambda = 2d\sin\theta$

Ou $\sin\theta = \frac{l/2}{\sqrt{l^2/4 + D_{cible-écran}^2}}$



Donc $b = \dfrac{d\ell}{2\sqrt{\ell^2 + 4D_{cible-écran}^2}}$

On suppose la précision sur $D_{cible-écran}$ de l'ordre de la graduation d'où

$$\sigma_{D_{cible-écran}} = 2{,}89 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Afin de prendre en compte l'existence de deux distances caractéristique, on introduit

$$d = \frac{d_1+d_2}{2} = 1{,}68 \text{ Å} \qquad \sigma_d = 0{,}32 \text{ Å}.$$

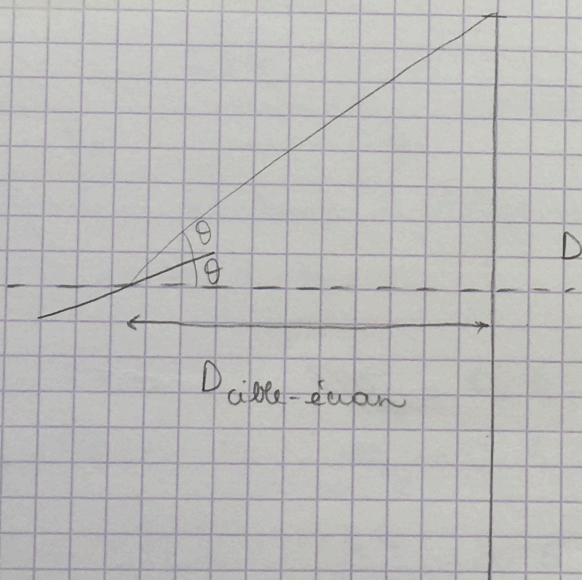
On obtient alors le tableau de valeurs suivant:

Tension appliquée V (V)		λ_{dB} donnée par la relation de de Broglie (m)		$\lambda_{deBragg}$ donnée par la relation de Bragg (m)	
V	σ_V	λ_{dB}	$\sigma_{\lambda_{dB}}$	$\lambda_{deBragg}$	$\sigma_{\lambda_{deBragg}}$
3500	72	$6{,}58 \cdot 10^{-13}$	$1{,}4 \cdot 10^{-14}$	$7{,}8 \cdot 10^{-12}$	$1{,}5 \cdot 10^{-12}$
4000	72	$6{,}15 \cdot 10^{-13}$	$1{,}1 \cdot 10^{-14}$	$6{,}7 \cdot 10^{-12}$	$1{,}3 \cdot 10^{-12}$
5000	72	$5{,}50 \cdot 10^{-13}$	$9{,}9 \cdot 10^{-15}$	$6{,}0 \cdot 10^{-12}$	$1{,}2 \cdot 10^{-12}$

$$\sigma_{\lambda_{dB}} = \lambda \frac{\sigma_V}{V} \quad \text{et} \quad \sigma_{\lambda_{deBragg}} = \lambda_{deBragg} \sqrt{\left(\frac{\sigma_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{4\sigma_D D}{\ell^2+4D^2}\right)^2 + \sigma_\ell^2\left(\frac{1}{\ell} + \frac{2\ell}{\ell^2+4D}\right)^2}$$

à $D = D_{cible-écran}$

On obtient un facteur 10 de différence, en prenant en compte les incertitudes



loi de Bragg:

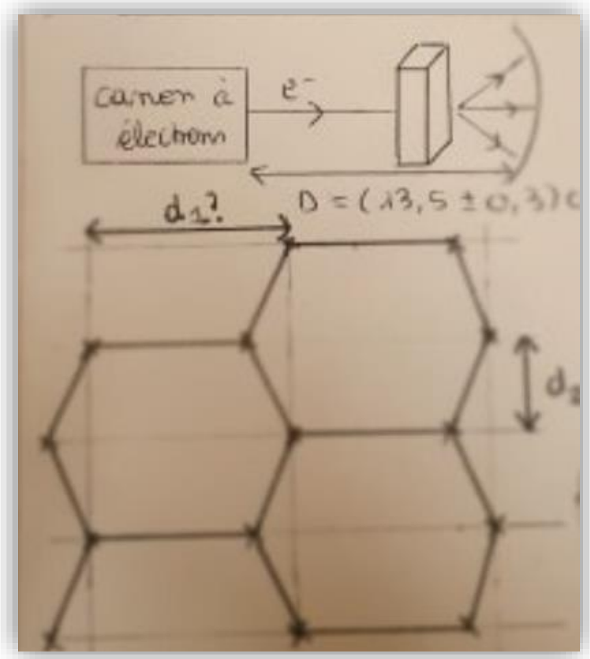
$$2\, d \sin\theta = n\lambda$$

$$\tan 2\theta = \frac{D/2}{D_{cible\,écran}}.$$

à l'ordre 1:

$$\lambda = 2\, d \sin\left(\frac{1}{2} \arctan \frac{D}{2D_{c-é}}\right)$$

III-] Pas du reseau cristallin du graphite



→ Un canon à électron accélère des électrons qui arrivent sur un bloc de graphite. Il y a alors diffraction des électrons. Au niveau du cristal on observe alors deux anneaux de diffraction (il y a une poudre fluorescente sur l'écran). Ils permettent de remonter à deux distances inter-réticulaires.

→ Le faisceau d'électron est accéléré par une tension V :

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

→ On peut alors associer une onde de De Broglie à ces électrons accélérés : $\lambda_{DB} = \frac{h}{\sqrt{2eVm}}$

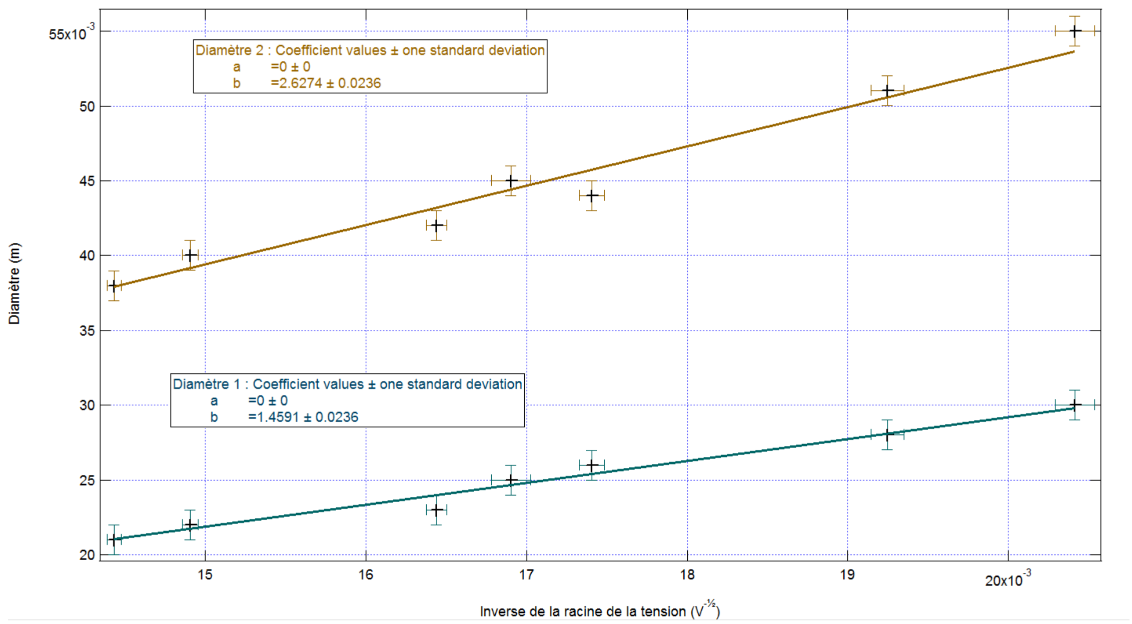
→ Le faisceau d'électron est diffracté selon la relation de Bragg :

$$2d\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = n\lambda$$

→ On trouve alors que les diamètres des cercles observés (n=1) sur l'écran sont reliés aux distance inter-réticulaires par la relation :

$$\boldsymbol{dia = \frac{2Dh}{d\sqrt{2eVm}}}$$

→ On peut alors tracer **dia** en fonction de $\frac{1}{\sqrt{V}}$.



→ Les pentes **b** permettent de retrouver les distances inter-réticulaires :

$$\boldsymbol{d = \frac{2Dh}{b\sqrt{2eVm}}}$$

Manipulations :

- On allume le système. La haute tension n'est pas allumée mais 6Volts sont fournis pour pouvoir chauffer le filament (qui produit les électrons qui seront par la suite accélérés). Il faut attendre 2 minutes le temps de chauffer le filament.
- On place un papier calque au niveau de l'écran. On met après la haute tension (minimum 2500 Volts pour voir quelque chose). On prend les mesures des deux diamètres.

- On rajoute la mesure prise en direct sur la courbe

⚠ On ne peut allumer le dispositif qu'une dizaine de minutes : le filament ne doit pas chauffer trop longtemps.

⚠ L'accélération des électrons se fait sous haute tension ! Ne pas dépasser les 5000 Volts

Incertitudes (Type B) :

→ Pour la prise de mesure (qui permet de tracer les droites), il faut prendre en compte :

- L'incertitude sur la mesure de la tension. Elle se lit sur un compteur. On a donc pris une incertitude avec la demi-graduation divisée par $\sqrt{3}$ (distribution rectangulaire)
- L'incertitude sur la longueur des diamètres. Elle se fait à la règle, et comme les cercles ont des rayons épais, que l'écran n'est pas plat, on a décidé de prendre une incertitude sur les diamètres de l'ordre de 1mm.

→ Ces deux sources d'incertitudes sont traitées par Igor qui nous donne l'incertitude sur b (que l'on multiplie par deux pour avoir un intervalle de confiance de 95%).

→ Sources d'incertitudes sur **b** et **D**. **D** est la distance qui sépare le graphite de l'écran. La distance est donnée par le constructeur comme étant environ égale à 13.5 cm. En plus de l'ajout du papier calque qui rajoute une autre incertitude sur cette distance, on a décidé de prendre une distance $D = (13.5 \pm 0.3)cm$.

→ On utilise alors la formule de propagation des incertitudes : $\Delta d = d\sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + (\frac{\Delta D}{D})^2}$

→ On compare avec les valeurs tabulées (qui sont données par les données du constructeur).

CONCLUSION

→ Mesures de longueur possibles sur une grande gamme d'ordre de grandeur.

→ Techniques utilisées : parallaxe pour mesurer des distances astronomiques (unité astronomique), interféromètres pour la mesure de petites variations de longueurs (ondes gravitationnelles), diffraction pour arriver à de petites distances.

Corrections élèves

→ Mesure de parallaxe en astro ?

- 2 endroits sur Terre
- Un même endroit mais à des temps différents

→ Incertitudes sur les angles ?

- γ est dépendant de α et β
- Peut être plus précis si on ne pointe pas le centre du M mais plutôt un de ses côtés.
- Mesure de la distance entre les goniomètres et l'objet ? Mieux avec un mètre ruban qu'avec des règles de 1m.

→ Retrouver la formule avec le nombre de cannelures.

- Si on considère les franges brillantes. Si une longueur d'onde présente un maximum d'intensité, cela veut dire que le déphasage créé par la lame vaut $\delta = 2e(n-1) = p\lambda_1$
- On considère une deuxième longueur d'onde qui présente elle aussi un maximum d'intensité. Le déphasage créé par la lame peut donc aussi s'écrire $\delta = 2e(n-1) = (p+N)\lambda_2$, avec N le nombre de cannelures.
- On retrouve alors la formule.

→ Limite de diffraction ?

- Il faut que la longueur d'onde de De Broglie soit du même ordre de grandeur du pas du réseau (c'est pour ça que pour de petites tensions on ne voit rien).

→ Pourquoi voit-on des cercles de diffraction ?

- C'est un polycristal (cristal composé de sous cristaux qui ont des directions différentes).
- Autres techniques : avec de la poudre.

→ Obtention de la haute tension ? Utilisation d'un transformateur.

→ On est censé voir un troisième anneau (une troisième distance inter-réticulaire), pourquoi on ne le voit pas ?

- Pas trop de réponses… Peut être que la dernière distance est beaucoup plus grande. Dans ce cas le diamètre du cercle de diffraction serait trop petit et pourrait être confondu avec l'ordre 0.

→ Télémétrie laser ?

- Principe (utiliser des coins de cube en 3D)
- Limité par la diffraction

Questions et commentaires du correcteur

→ Diffraction des électrons

- Bonne manip
- Expliquer la relation de diffraction (Bragg)
- Pour l'incertitude sur D, on peut voir que la couche de graphite n'est pas au centre, ce qui rajoute des incertitudes (on peut monter jusqu'à 0.5cm).
- Il aurait été pertinent de calculer la longueur de De Broglie pour montrer qu'elle est bien du même ordre de grandeur que le pas du réseau, du moins montrer que si elle est plus grande que ce dernier, on n'observe rien à l'écran (que l'ordre 0). $\lambda = 0.2\ Angstr\ddot{o}m$.

→ Michelson

- Bonne manip
- Longueur de cohérence de la lumière blanche : de l'ordre du micromètre. On a beaucoup d'informations avec le blanc d'ordre supérieur.
- Autre méthode : sans le spectro, se remettre au niveau du contact optique :
    - Pas facile en direct car très sensible
    - Beaucoup plus imprécis car on est précis à la limite du vernier qui est de l'ordre de 10 micromètres. Ici on utilise comme étalon les cannelures, beaucoup plus précis.
    - La lame a un indice précis à 589.3 nm, qui correspond au centre des doublets du sodium.
    - Préciser qu'il est négligeable de prendre en compte la variation de n avec la longueur d'onde (Loi de Cauchy)

→ Goniomètre

- Bonne manip
- Mettre un fil entre les 2 goniomètres pour être plus précis pour les mesures de longueur et pour être bien aligné.

→ Manip surprise : pas du CD

- Il faut utiliser la formule des réseaux : $\sin(i) + \sin(i_0) = \frac{n\lambda}{n_{air} pas}$ et faire les mesures directement sur le mur.