



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Licence

Filière : Physique
Option : Physique des Matériaux

THÈME

DIFFRACTION DES ELECTRONS SUR LE GRAPHITE –DUALITE ONDE CORPUSCULE-

Préparé par :

Harouthà Ilham et **Bechta Dalal**

Soutenu le :

Devant le jury :

Président :

Rapporteur : N.BENCHIHEUB

Co-rapporteur : M.BERREHEIL

Examineur:

Examineur :

Année Universitaire 2014-2015

REMERCIEMENT

Aujourd'hui, si la finalisation de notre travail s'est réalisée, c'est grâce à dieu tout puissant, qui nous a donné la force d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimée notre immense gratitude à Mme N .Ben chiheub, M.A. A, au département des Sciences de la matière qui n'a pas hésitée nous dénouer ; à sacrifier de son temps pour aboutir à ce document fini .Nous la remercions pour nous avoir encadrés et guidés, merci pour le suivi et les conseils, merci pour ses constantes disponibilité.

Nous remercions tous les enseignants du département de physique de l'université de Bordj Bou Arreridj qui ont contribués à notre formation le long de nos études.

Nous remercions aussi les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font pour accepte de juger ce travail.

Nous remercions les responsables de la bibliothèque pour leur aide sur tous « faiza ».

A nos collègues et nos amis (es) qui ont été très productifs et agréable côtoyer.

Par ailleurs, nous remerciement sont dirigés a toutes personne qui par leur soutien et leur encouragement ont rendu possible ce travail ; qu'elles trouvent dans ces quelques ligne l'expression de touts nos reconnaissance.

Merci encore une fois.

Introduction général

CHAPITRE 1 : DUALITE ONDE CORPUSCULE

I - Introduction.....	1
I-1 la Dualité onde corpuscule –Relation de Broglie	2
I-2 Fonction d’onde et l’équation de Schrödinger.....	4
I-2-1-Fonction d’onde.....	5
I-2-1-1-Caractéristique fondamentale de la fonction d’onde.....	5
I-2-1-2 caractéristique de la fonction d’onde si on a la symétrie.....	5
I-2-2 L’équation de Schrödinger.....	6
I-2-2-1 l’équation de Schrödinger dépendent du tempe.....	6
I-2-2-2 L’équation de Schrödinger indépendant du tempe.....	6
I-2-2 3- Résolution de l’équation de Schrödinger	7
I-3 Les onde matière (onde des particules).....	8
I-4 Diffraction des électrons	9
I-5 Condition de diffraction des électrons-loi de Bragg.....	10

CHAPITRE II : DIFFRACTIOB DES ELECTRON DANS UN RESEAU POLYCRISTALIN

II Introduction	12
II-1 Production des électrons.....	12

II-2	Réalisation expérimental.....	13
II-2-1	Matériel utilisée	13
II-2-2	Principe.....	14
II-2-3	Description de manipulation.....	15
II-2-4	Conseil de sécurit.....	16
II-2-5	Montage l'appareil.....	16
II-3	Résultat et discussions.....	17

Conclusion général

Introduction

Générale

Introduction générale

La diffraction des ondes dans la matière de deux concepts classique et quantique est identifiée par : La dualité onde-corpuscule c'est une formulation qui s'applique aux manifestations du photon, qui se comporte soit comme une onde, soit comme une particule. Pour une particule ponctuelle on introduira la « position », la « vitesse », « quantité de mouvement », « l'énergie » etc. Pour une onde, on introduira la signification de « longueur d'onde », « pulsation », « fréquence », « période » et « intensité ».

L'occasion doit pouvoir être saisie d'une similitude des propriétés des ondes de matière et des ondes Particule comme dans le cas des diffractions des électrons.

Le présent travail est subdivisé en deux chapitres :

Le premier chapitre on parle sur les concepts de mécanique ondulatoire prend travaux de Broglie, mais c'est au physicien Erwin Schrödinger que l'on doit sa véritable découverte il s'agit initialement d'une formulation restreinte des principes et équation de la mécanique quantique.

Dans le deuxième chapitre on a étudiée expérimentalement la diffraction des électrons dans un poly cristal de graphite dans le but est de vérifier la loi de De Broglie.

Ce travail s'achève par une conclusion générale.

Chapitre I :
Dualité onde
Corpuscule

I-Introduction

L'origine de la mécanique ondulatoire Début au XX^e siècle consistant à savoir si la lumière est d'origine ondulatoire ou corpusculaire ? Inspiré des théories de Newton fait place au XIX^e siècle, où le concept ondulatoire formulé par Euler et Huygens et confirmé selon les expériences de Fresnel et de Young. La suite des remarques de Planck sur le caractère discontinu du rayonnement a réapparu la première hypothèse avec les travaux d'Albert Einstein qui associe un quantum d'énergie à l'onde électromagnétique. Alors ils ont montrés que la lumière agit comme un ensemble de particules et comme une onde : c'est la dualité onde-particule.

Cette théorie se complète par l'idée de Louis de Broglie 1923 partiellement audacieuse puis qu'elle consiste à « associer » à toute particule matérielle en mouvement une onde réelle dont la longueur d'onde est fonction de la masse et de la vitesse de cette particule. Les expériences de Davisson et Germer sur la diffusion des électrons par les cristaux confirmeront très rapidement la justesse du point de vue de L. de Broglie à savoir que l'électron possède effectivement une nature ondulatoire, d'autres expériences montrent que l'onde associée est universelle c'est à dire valable quelle que soit la particule matérielle.

En 1926, Erwin Schrödinger formula l'équation qui doit vérifier l'onde associée à une particule et généralise ainsi l'approche de Broglie ci-dessus aux particules en présence d'un potentiel initialement d'une formulation restreinte des principes et équation de la mécanique quantique.

I.1.1a dualité onde –corpuscule - Relation de Broglie :

En effet, si aux ondes électromagnétiques on peut associer des corpuscules, on peut associer aux corpuscules les photons. On peut penser qu'aux corpuscules on peut associer des ondes de matière. Nous allons à partir de cette idée de symétrie entre ondes et corpuscules obtenir les relations de Broglie qui permettent de calculer la longueur d'onde et la fréquence de l'onde de matière associée à une particule.

En mécanique relativiste ; A. Einstein a trouvé qu'il n'existe pas de différence fondamentale entre la matière et l'énergie ; Une masse m de matière peut être convertie en une quantité d'énergie égale à :

$$E = m_0 C^2 \quad (I-1)$$

Où m_0 : la masse au repos d'un corpuscule.

C : Est la vitesse de la lumière dans le vide.

En mécanique relativiste ; l'énergie totale est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie au repos elle est décrite par la relation

$$E = E_c + m_0 c^2 = \frac{P^2}{2m} + m_0 c^2 \quad (\text{I-2})$$

Où p représente le module de l'impulsion.

La masse du photon étant nulle au début ; le module p de l'impulsion est relié à son énergie totale par :

$$P = \frac{E}{C} \quad (\text{I-3})$$

La relation donnant l'impulsion d'une particule de masse m_0 au repos animée d'une vitesse v est donnée par l'expression :

$$P = m_0 v / \sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)} \quad (\text{I-4})$$

Lorsque $V \ll C$, on retrouve le résultat bien comme en mécanique classique :

$$P = m_0 v \quad (\text{I-5})$$

D'autre part l'équation d'Einstein donnant :

$$E = h \nu = \frac{h\omega}{2\pi} = \hbar \omega \quad (\text{I-6})$$

$$\text{Dont } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

ω : Est la pulsation

h : Est la constant de Planck.

En analogie avec ces relations ; l'idée de Broglie est d'associer à chaque corpuscule d'énergie totale E et de module d'impulsion p une onde de matière de longueur d'onde λ et de fréquence ν données par les relations (I-6).

La quantité de mouvement P en mécanique classique, est la grandeur conservée associée à l'invariance par translation dans l'espace. IL résulte du raisonnement précédent qu'elle doit, en

théorie quantique fusionner avec la grandeur qui décrit l'harmonicité d'une onde dans l'espace à savoir, le vecteur d'onde K .

La substitution de l'équation (I-5) dans l'équation (I-6) Relie l'énergie du photon à sa fréquence par :

$$P = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \hbar k \quad (\text{I-7})$$

C'est la relation de Broglie.

Où $\lambda = \frac{v}{c}$ est la longueur d'onde de l'onde électromagnétique.

et $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ est le vecteur nombre d'onde.

On conclut alors que l'énergie d'un rayonnement est caractérisée par l'énergie du corpuscule associé pour une électromagnétique constituée au niveau corpusculaire d'un flux de photons comme pour un faisceau d'électrons ou de neutrons ; la relation de Broglie permettent de relier le caractère corpusculaire au caractère ondulatoire avec:

Corpusculaire	Ondulatoire	Relation	Découvreur
Impulsion P	Longueur d'onde λ	$P = h/\lambda$	De Broglie (1924)
Energie E	Fréquence ν	$E = h\nu$	Einstein (1905)

A toute particule d'énergie E et impulsion \vec{P} peut donc associer une onde caractéristique de pulsation ω et d'onde vectrice \vec{K}

$$E = \hbar \omega = h\nu \quad (\text{I-8}) \text{ [Relation Einstein]}$$

$$\vec{P} = \hbar \vec{K} = (h/\lambda) \vec{U} \quad (\text{I-9}) \text{ [Relation de Broglie]}$$

I-2-Fonction d'onde et l'équation de Schrödinger

En physique classique une particule est décrite par sa position $r(t)$. L'évolution de sa position (la trajectoire de la particule) est donnée par l'équation de Newton :

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = F(r, t) \quad (\text{I-10})$$

En physique quantique, en vertu de la dualité onde corpuscule, la particule est maintenant décrite par une fonction d'onde $\psi(r, t)$ dont nous décrirons la signification et l'équation qui donne son évolution (l'équation de Schrödinger)

I-2-1-Fonction d'onde

❖ Caractéristique fonctionnement de la fonction d'onde

Lors de l'étude de phénomènes ondulatoire que l'onde représente un processus de transport d'une énergie finie dont la valeur instantanée est proportionnel au carré de l'amplitude du mouvement vibratoire :

$$||\psi||^2 = \psi \psi^* \quad (\text{I-11})$$

En mécanique ondulatoire ce terme nous informe sur la probabilité de présence P de la particule dans le temps et l'espace ; c'est dans la région de l'espace où la fonction ψ est grande que l'on a la plus de chance d'y trouver la particule. Ainsi la quantité

$$dP = \psi \psi^* dx \quad (\text{I-12})$$

Représente la probabilité dans l'espace dx cette caractéristique impose à la fonction ψ d'être normalisable à l'unité ce que l'on écrit

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi \psi^* dx = 1 \quad (\text{I-13})$$

Autrement dit, la probabilité de trouver de la particule dans tout l'espace est maximal.

❖ caractéristique de la fonction d'onde si on a la symétrie :

Une seconde caractéristique importante est celle de parité :

- si la fonction $v(x)$ est symétrique par rapport à l'origine c'est-à-dire $v(x) = v(-x)$

Donc il devient :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(-x) + v(-x) \psi(-x) = E \psi(-x) \quad (\text{I-14})$$

est équivalente à :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \psi(-x) + V(x) \psi(-x) = E \psi(-x) \quad (\text{I-15})$$

$\Psi(x)$ et $\Psi(-x)$ sont solution de la même équation, elles sont identiques à un facteur multiplicateur près :

$$\Psi(x) = \varepsilon \Psi(-x) \quad \text{et} \quad \Psi(-x) = \varepsilon \Psi(x)$$

Ce qui entraîne ; par substitution :

$$\Psi(x) = \varepsilon^2 \Psi(x) \quad (\text{I-16})$$

et par suite ; $\varepsilon = \pm 1$ ainsi. $\varepsilon = +1 \Rightarrow \Psi(x)$ est une fonction paire de l'espace.

$$\varepsilon = -1 \Rightarrow \Psi(x) \text{ est une fonction impaire de l'espace.}$$

Dans le premier cas, la fonction est dite « symétrique » et dans le seconde cas « anti symétrique »

I-2-2 l'équation de Schrödinger

La question qui se pose est maintenant la suivante : si on poursuit le parallèle avec le mouvement d'une particule, il faut alors trouver une équation pour décrire la fonction.

Soit un atome d'hydrogène formé d'un proton et d'un électron. La fonction d'onde $\Psi(r)$ permet de calculer la densité de probabilité $|\Psi(r)|^2$ de trouver l'électron en un point r.

I-2-2-1 l'équation de Schrödinger dépendante du temps

Dans le cas où l'énergie n'est plus constante cas d'un régime dépendant du temps l'équation

décrit comment la fonction d'onde se transforme au cours du temps. On a donc une fonction $\Psi(r)$ pour chaque valeur du temps t. On définit donc une fonction $\Psi(r; t)$ s'écrit sous la forme:

$$i \hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(r) \Psi \quad (\text{I-17})$$

Où:

- $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.05457 * 10^{-34}$ JS
- Δ : est la' laplacien
- m: masse de la particule au point r
- V : l'énergie potentiel de la particule

I-2-2-2 L'équation de Schrödinger indépendante du temps

On suppose que l'énergie potentielle est indépendante de la temps. On cherche les solutions sous la forme $\Psi(r, t) = f(t) \psi(r)$. En injectant dans l'équation (I.17) et en divisant par Ψ on trouve :

$$i\hbar \frac{f'(t)}{f(t)} = \frac{1}{\psi} \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V(r)\psi \right) \quad (\text{I-18})$$

Comme le membre de gauche ne dépend que du temps et que celui de droite ne dépend que de la position, ces deux membres sont nécessairement constants. On doit appliquer une condition qui vient de la physique. Nécessairement, tant que la particule existe, on doit pouvoir la trouver quelque part dans l'espace, ce qui fait que l'on a, quelque soit t :

$$\int \|\Psi(r, t)\|^2 dr = \|f(t)\|^2 \int \|\psi(r)\|^2 dr = 1 \quad (\text{I-19})$$

Ce qui impose que $\|f(t)\| = \text{constante}$. On peut choisir cette constante égale à 1 (en la faisant rentrer dans et donc $f(t) = e^{i\varphi(t)}$). En reportant dans l'équation (I-19), on doit donc avoir

$\varphi' = \text{constante}$. On note cette constante $-\omega$ ce qui fait que la fonction

$$F(t) = e^{-i\omega t} \quad (\text{I-20})$$

et on trouve:

$$\hbar \omega \Psi = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(r)\Psi \right) \quad (\text{I-21})$$

D'après la relation de Planck $E = h\nu$, où $\nu = \omega/2\pi$ est la fréquence, on voit que le membre de gauche de l'équation (1.6) fait intervenir l'énergie de la particule, et l'on obtient finalement l'équation de Schrödinger indépendante du temps (ou stationnaire) :

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + V(r)\Psi = E\Psi \quad (\text{I-22})$$

Il se trouve que, dans beaucoup de cas, cette équation n'a de solution physiquement acceptable (c.-à-d. normalisable) que pour un ensemble discret de valeurs de E . Toutes les valeurs de E ne sont pas nécessairement autorisées : c'est quantification de l'énergie.

I-2-3 Résolution de l'équation de Schrödinger

Les cas les plus simples sont ceux obtenus à une dimension. L'équation de Schrödinger stationnaire à une dimension

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} \Psi + V(x)\Psi = E\Psi \quad (\text{I-23})$$

* cas ou $V(x) = 0$

L'équation de Schrödinger stationnaire à une dimension devient

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dx^2} = E\Psi \quad (\text{I-24})$$

La solution générale est :

$$\Psi = Ae^{ikx} + Be^{-ikx} \quad (\text{I-25})$$

Ou

$$\Psi = A\sin(kx) + B\cos(kx) \quad (\text{I-26})$$

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} k^2$$

à partir des Condition aux limites :

$$\Psi(0) = \Psi(l) \Rightarrow B = 0, A \neq 0$$

$$\Psi(x) = A \sin(kx) \quad (\text{I-27})$$

$$\Psi(l) = 0$$

$$\Psi(l) = A \sin(kl) = 0 \Rightarrow kl = n\pi \Rightarrow k = \frac{n\pi}{l}; \text{ avec } n=1, 2, 3$$

Donc :

$$\Psi(x) = A \sin\left(\frac{n\pi}{l}x\right) \quad (\text{I-28})$$

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{n^2\pi^2}{l^2} \quad (\text{I-29})$$

I-3 Les ondes matières (ondes des particules) :

La matière est une onde et les ondes sont composées de particules (photons pour la lumière, phonons pour le son) : c'est un des principes clefs de la mécanique quantique. Il prédit qu'à toute particule on peut associer une onde, et réciproquement. Ainsi, de même qu'on peut faire interférer des photons, mettant ainsi en évidence leur caractère ondulatoire, il est possible de réaliser des interféromètres avec des particules de matière.

I-4 Diffraction des électrons

A partir du moment où une onde est associée à toute particule, on se doute que tous les phénomènes essentiellement ondulatoire [diffraction, interférence] observés de rayonnement électromagnétique vont également survenir avec un faisceau des particules matérielles .cette idée, a été confirmée définitivement par Davisson et Germer en 1927, qui ont observés la diffraction de Broglie en envoyant sur un monocristal de nickel un faisceau d'électrons d'énergie appropriée. Derrière, un détecteur enregistre les points d'impact des électrons. Les impacts se répartissent selon un motif périodique – un interférogramme, qui ne peut s'expliquer que par un phénomène d'interférences, et donc un comportement ondulatoire des électrons sur figure(I .1) Depuis cette preuve de principe, des interférences ont été observées avec des neutrons, des atomes et, récemment, des molécules organiques comportant plusieurs centaines d'atomes, confirmant que la mécanique quantique est encore valable à l'échelle macroscopique.

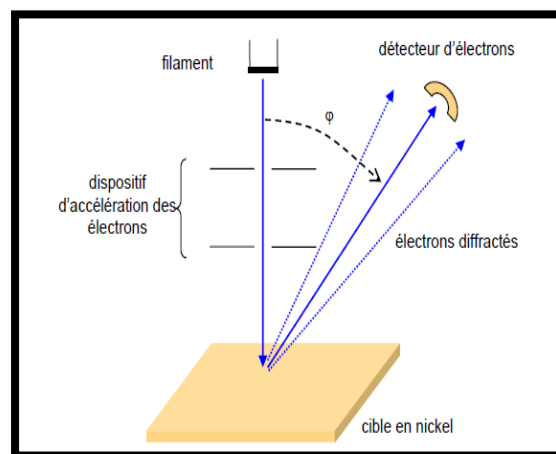


Figure .I. 1: Expérience de Davisson et Germer en 1927

Les expériences de G.P.Thomson avec les électrons rapide sont apporté une confirmation additionnelle (rapportée en 1928) de l'exactitude de l'hypothèse de Broglie. Thomson passa un faisceau d'électron à travers de minces couches d'aluminium, d'or et de platine et observa à partir de ces cibles poly cristallines, des patrons de diffraction en forme d'anneaux.

A partir des mesures de la grandeur de ces anneaux observés sur un écran fluorescent, il put calculer la longueur d'onde des électrons nécessaires pour obtenir un tel patron .Cette longueur d'onde peut aussi être prédite à partir de l'hypothèse de Broglie, et la quantité de mouvement de l'électron peut être obtenue à partir du voltage d'accélération.

En 1929 Estermann et Stern montrèrent que les atomes d'hélium et des molécules d'hydrogène étaient également diffractés suivant la règle de Bragg, compte tenu de la relation de Broglie. La longueur d'onde associée variant à énergie donne comme l'inverse de la racine carrée de la masse, on peut envisager de couvrir un intervalle quasiment illimité de longueur d'onde.

Par exemple des protons d'énergie 100eV ont une longueur d'onde associée voisine de 0.03 Å, les neutrons dits thermiques d'énergie ≈ 25 MeV redonnent des longueurs d'onde de l'ordre de l'Å. Cette expérience démontre définitivement la possibilité d'avoir des interférences avec des faisceaux de particule matière. la preuve expérimental de la « dualité onde-corpuscule » était ainsi donnée et découvrait un champ immense de possibilités .on pouvait des lors envisager d'abord de substituer aux rayons X des faisceaux électronique de basse énergie ; le simple ajustement de la différence de potentiel (ddp) du canon à électrons permet de produire le faisceaux ayant la bonne longueur d'onde pour une expérience donnée .de plus ,ce qui était vrai pour les électrons devait être également pour tout les particules matérielles.

I-5- condition de diffraction des électrons -loi de Bragg

Considérons une famille des plans (h k l) quelconque caractéristique par la distance interarticulaire d_{hkl} et irradiée sous un angle θ par un faisceau des électrons. Si le cristal est relativement petit. Chaque atome de ce cristal est baigné dans un faisceau d'intensité constant et diffusé de façon cohérente une onde ; si tout ces ondes diffusées sont en phase sur un plan d'onde π perpendiculaire à la direction de diffusion , elle interfèrent et donnent lieu à une onde diffractée de forte intensité dans cette direction ; si l'on considère le plan d'onde π_0 de l'onde incidente , Les trajets entre les deux plans d'onde π et π_0 des ondes diffusés par les atomes placés en A et A' sont égaux si l'angle entre le plan atomique et le faisceau incident et égaux si l'angle entre ce plan atomique et le faisceau diffusé. La différence de marche de l'onde diffusée par l'atome situe en A' s'écrit :

$$S = \bar{H} A' + A'k \quad (\text{I-30})$$

Si d est la distance inter réticulaire caractérisant cette famille de plan alors :

$$S = 2 d \sin \theta \quad (\text{I-31})$$

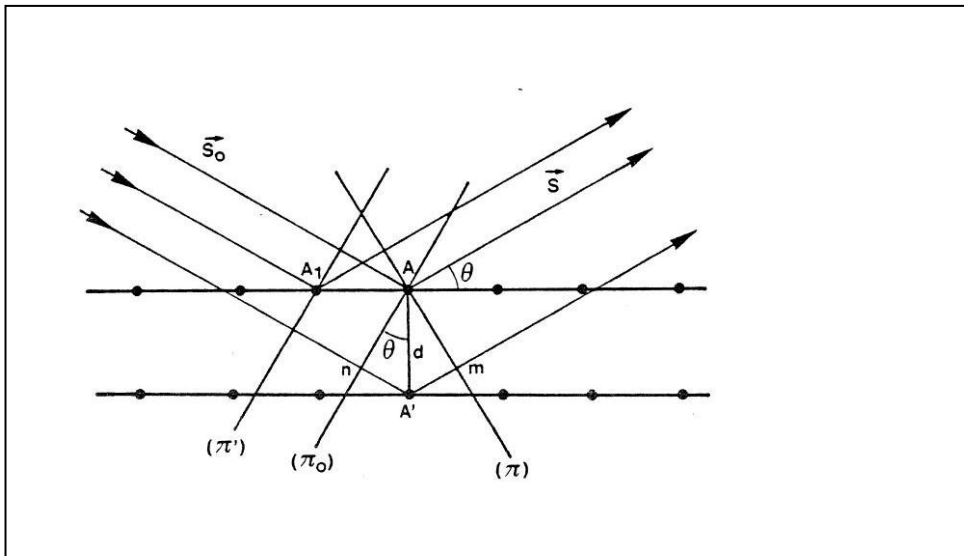


Figure : I.2 L'interférence de l'atome d'une cristalline démonstration la loi de Bragg

l'interférence constructive à partir d'un ensemble de plans survient lorsque les angles d'incidence et de réflexion sont égaux et que la différence de marche pour les plans adjacents est égal à un multiple entier de la longueur d'onde .alors la condition pour obtenir un maximum d'intensité dans la figure de diffraction est satisfaite quand on a :

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

Où λ est la longueur d'onde,

d : est la distance entre plan adjacent du cristal

n : est le nombre 'entier appelé ordre de réflexion l'équation

et : 2θ ; l'angle est entre le rayon incident et le rayon diffracté

Cette relation est appelée loi de Bragg. Elle est identique à la condition nécessaire pour obtenir une interférence constructive lors de la diffraction des rayons X par un réseau cristallin.

Chapitre III :
Diffraction des
électrons

II-Introduction

Suivant de Broglie, à tout corpuscule de masse m animé de la vitesse v , peut être associé une onde de longueur d'onde telle que :

$$\lambda = \frac{h}{mv} \text{ avec } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ de Planck.}$$

Cette loi est valable également pour les électrons aux quels on peut associer ainsi une onde lorsqu'ils se déplacent sous l'action d'une différence de potentiel V . Pour ce faire ; nous allons réaliser l'expérience de diffraction des électrons décrite ci-dessous.

II-1 Production des électrons

Pour obtenir un rayonnement électronique de longueur d'onde associée déterminée, il faut produire les électrons, puis les accélérer à une énergie E correspondante.

Le dispositif de production des électrons est communément appelé canon à électrons. En dehors des sources de lumière, le canon à électrons est la source de rayonnement ayant l'utilisation la plus large, aussi bien pour les besoins scientifiques (tube à rayons X, microscopes électroniques, microanalyses X... etc.) que pour les applications de l'électronique en général (oscilloscope, tube TV... etc.).

Les électrons, même d'énergie élevée, sont rapidement absorbés par l'air même à pression réduite, leur production et leur utilisation doivent donc avoir lieu dans une enceinte sous vide secondaire (pression max 10^{-4} torr)

Aucun électron, même d'énergie élevée ne peut traverser les parois de l'enceinte cependant le point d'impact des électrons sur la préparation ou sur des pièces de l'appareil (diaphragmes) constitue une source de rayons X nécessitant des blindages efficaces pour la protection des utilisateurs.

Un système de production comporte couramment :

Source d'électrons : cathode chaude à émission thermo-ionique ou cathode froide à émission de champ.

Système d'optique électronique : plus ou moins performant suivant l'utilisation, il sert à focaliser les électrons.

Anode : portée à un potentiel V_a par rapport à la cathode, elle sert à accélérer les électrons à une énergie E_a . La tension doit être stabilisée si on désire un faisceau monocinétique la réalisation pratique varie suivant l'appareillage.

II-2- Réalisation expérimental

II-2-1 matérielle utilisés

Le tube : pour la diffraction d'électron en verre de diamètre $d=9\text{cm}$ et de longueur totale $l = 27\text{cm}$ permet de mettre en évidence la nature ondulatoire des électrons par diffraction sur un réseau de graphite polycristallin. Et il permet aussi déterminer la longueur d'onde des électrons à différentes tensions anodique à partir des rayons des anneaux de diffraction et de l'écartement des plans réticulaires du gravite et de la comparer avec l'hypothèse de Louis de Broglie. Où règnent un vide élevé et contenant un canon à électron constitué de :

- F_1, F_2 filament pour le chauffage de la cathode.
- C la cathode.
- X électrode de focalisation.
- A anode à plaque de graphite poly cristallin.
- écran fluorescent

Support pour tube :

- tenir le tube pour la diffraction d'électrons à l'horizontale et le tourner de manière à ce que les deux broches les plus espacés du culot soient orienté vers le bas.
- introduit prudemment le culot à la broches jusqu'en butée dans douille du support pour tubes.

Alimentation haute tension 10 KV :

- pour le chauffage de la cathode, brancher les douilles F_1 et F_2 du support pour tube à la sortie au dos de l'alimentation.
- Raccorde les douilles C et X du support pour tube (capuchon cathodique et électrode de focalisation) au pole négatif et la douille A (anode) au pole positif de la sortie $5\text{kv}/2\text{mA}$ et relier le pole positif à la terre.

Câbles de sécurités rouges, bleu et noirs : de longueur $25 - 50\text{ cm}$ et 100 cm

Pied à coulisse.

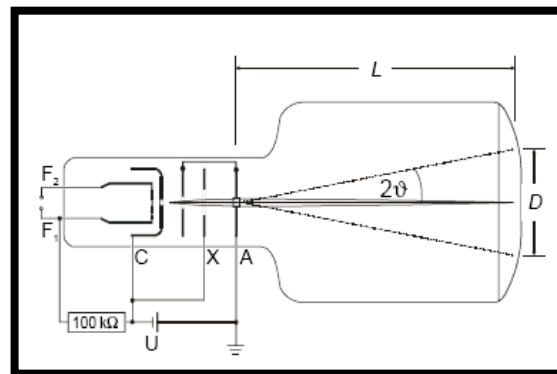


Figure II.1: description du tube pour la diffraction des électrons

II-2-2 Principe

En 1924, Louis De Broglie a suggéré que à tout électron en mouvement on peut associer une onde de longueur d'onde λ qui est inversement proportionnel à sa quantité de mouvement par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (\text{II-1})$$

Avec :

λ : est la longueur d'onde.

$h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ La constante de Planck.

P : la quantité de mouvement.

Sur un écran fluorescent ; des anneaux de diffraction de type de Bragg sont observés. Ces anneaux sont centrés autour du faisceau incident. Les diamètres des anneaux dépendent de la longueur d'onde des électrons c'est-à-dire de la tension d'accélération.

A partir de l'énergie cinétique E_c des électrons accélérés par le potentiel U :

$$E_c = e \cdot U = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (\text{II-2})$$

La quantité de mouvement peut être écrite sous la forme ci-dessous :

$$P = \sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot U} \quad (\text{II-3})$$

Sachant que: $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; la charge de l'électron.

$m = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ Masse de l'électron au repos.

V : vitesse de l'électron.

En remplaçant l'équation (II-3) dans l'équation (II-1) on peut déduire que la longueur d'onde s'exprime par :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot U}} \quad (\text{II-4})$$

Le faisceau électronique traversant le graphite polycristallin subit la réflexion et par conséquent les figures de diffraction (constructive) peuvent être observées lorsque la condition de Bragg est accomplie :

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (\text{II-5})$$

Où $n = 1, 2, 3, \dots \text{ etc}$ est l'ordre de diffraction.

d : Représente la distance entre les plans réticulaires parallèles.

θ : Angle de Bragg entre le faisceau diffracté et le plan réticulaire réfléchissant.

A partir de la figure (II.4) on peut déduire la relation suivante :

$$tg2\theta = \frac{D}{2L} \quad (\text{II-6})$$

Avec : D diamètre de l'anneau.

L la distance entre le graphite et l'écran

On peut faire une approximation pour de faible angle on obtient :

$$tg2\theta \approx \sin2\theta \approx 2\sin\theta = \frac{D}{2L} \quad (\text{II-7})$$

Par substitution de l'équation (II-7) dans l'équation (II-5) on obtient la longueur d'onde d'électron pour le premier ordre de diffraction par :

$$\lambda = d \frac{D}{2L} \quad (\text{II-8})$$

$$d_1 = 2.13A^0 \text{ et } d_2 = 1.23A^0$$

La combinaison de la relation (II-4) et la relation (II-8) montre qu'on peut écrire le diamètre de l'anneau en fonction de la tension par la relation suivante :

$$D = K \frac{1}{\sqrt{U}} \quad (\text{II-9})$$

D'où :

$$K = \frac{2L.h}{d\sqrt{2m.e}} \quad (\text{II-10})$$

II-2-3 description de la manipulation

Le tube à diffraction contient un canon à électron qui émet un étroit faisceau d'électron dont l'énergie cinétique peut atteindre 5 Kev; ces faisceaux sont dirigés sur la cible de graphite. Les électrons diffractés par la cible de graphite et l'ensemble est sous vide. Les électrons diffractés par la cible voyagent librement jusqu'à ce qu'ils frappent la face intérieure de l'ampoule de verre enduit d'une substance fluorescente. La source d'électron est une cathode recouverte d'oxyde, chauffée par un filament (voir le schéma de la figure II.1). Les électrons quittent la cathode par l'ouverture au bout de l'enveloppe de la cathode et sont accélérés vers l'anode qui constitue la cible.

La cible est un fin grillage de nickel sur le quel on a vaporisé une mince couche de carbone (graphite) ; elle est placée à la sortie du canon électron .cible poly cristallin est diffracté en formant un patron annulaire sur l'écran de phosphore.

II-2-4 Conseil de sécurité

- utiliser le tube pour la diffraction d'électron seulement avec des haute tentions jusqu'à 5kv.
 - Le câblage indique du tube pour la diffraction d'électrons avec onde sur potentiel terrestre exige une source de tension résistantes à la haute tension pour le chauffage de la cathode.
 - Utiliser une alimentation haute tension 10KV (52170) pour l'alimentation en tension du tube pour la diffraction d'électrons.
 - Danger d'implosion : le tube à diffraction est un tube en verre sous vide poussé à paroi mince.
 - Ne soumettre le tube pour la diffraction d'électrons à aucune sollicitations mécanique et ne le câbler que lors qu'il est dans le support pour tubes.
 - Manipuler avec soin les broche du culot du tube, ne pas les plier, les introduire prudemment dans le support pour tubes.
 - Au cour de l'expérience ; on vérifie périodiquement le courant du faisceau d'électrons. Il ne devrait jamais dépasser 0.2 mA et la cible ne devrait jamais devenir rouge et chaude.
- Le tube à diffraction risque d'être détruit suite à des tensions trop élevées ou à des courants trop forts :

Il faut Respecter les paramètres de service spécifiés dans les caractéristiques techniques.

II-2-5 Montage de l'appareil

L'expérience est réalisée selon le montage du schéma de la figure (II.2) ;

- les filaments F_1 , F_2 sont branchés à la sortie arrière de l'alimentation de la haute tension.
- la cathode C et l'électrode X du support sont branchées au pôle négative de haute –tension.
- l'anode A (la cible) est lié au pôle positif à la terre de l'alimentation haute tension.

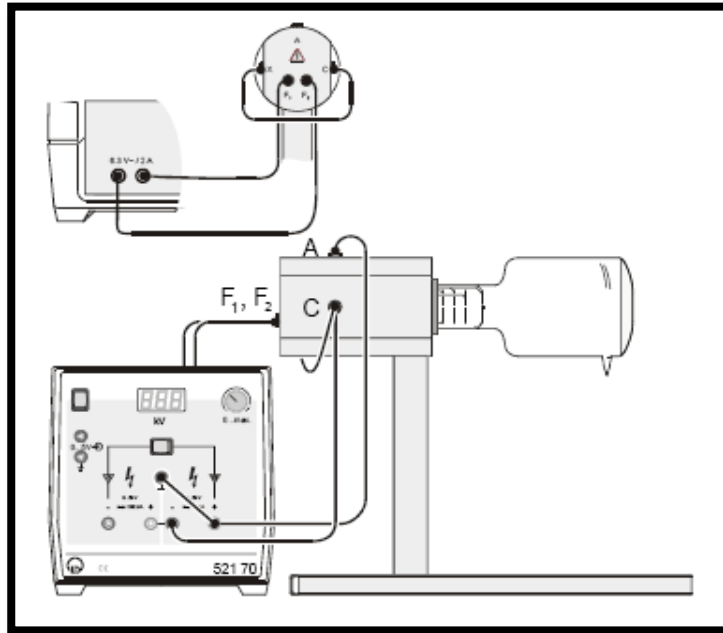


Figure II.2 : Montage pour l'expérience de la diffraction des électrons

II-3 Résultat et discussion

L'expérience au complet ne prend que quelques minutes d'observation. La tension U doit être à zéro au cours de l'opération.

On fait monter graduellement U (le voltage d'accélération). Un point lumineux apparaît sur l'écran dû au faisceau d'électrons transmis directement. Des anneaux de diffraction (fig. II.3) devraient être visibles pour $U \geq 3\text{KV}$.

On mesure à l'aide du pied à coulisse ; les diamètres des anneaux D_1 et D_2 qui sont rapportés sur le tableau ci-dessous.

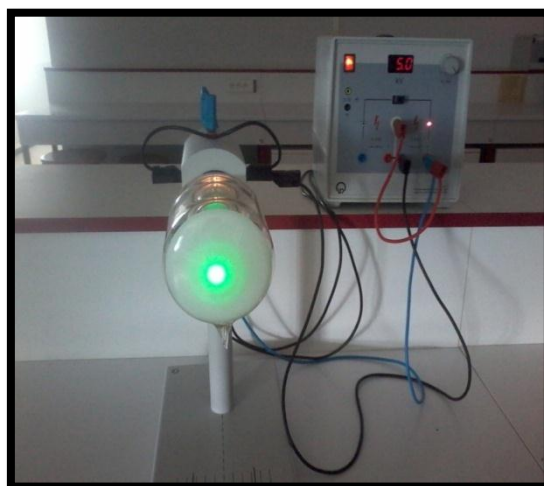


Figure. II.3 : anneaux de diffraction obtenus

Pour remplir le tableau ci-dessous et calculer les longueurs d'ondes on va se servir des données suivantes :

Calcul des longueurs d'onde électronique λ pour chaque anneau :

A partir la loi de Broglie $\lambda = \frac{h}{p} = \lambda_{théo} = h/\sqrt{2meu}$

Et en utilisant la condition de diffraction (loi de Bragg $2d\sin\theta = n\lambda$) on peut calculer la longueur de d'onde:

$$\lambda_1(\text{\AA}) = d_1 * \frac{D_1}{2L} \text{ et } \lambda_2 (\text{\AA}) = d_2 * \frac{D_2}{2L} ;$$

Avec

$$h = 6.625 \cdot 10^{-34} J.S \quad e = 1.602 \cdot 10^{-19} C \quad m = 9.109 \cdot 10^{-31} Kg$$

$$L = 13,5 \text{ cm} = 13,5 * 10^8 \text{\AA} \quad d_1 = 2.13 \text{\AA} \quad \text{et} \quad d_2 = 1.23 \text{\AA}$$

U(KV)*10³	1/√u(V) * 10⁻²	D₁(cm)	λ₁(A⁰)	λ₁theo(A⁰)	D₂(cm)	λ₂ (A⁰)	λ₂theo (A⁰)
3	1.82	3.35	0.26	0.22	5.45	0.24	0.24
3.5	1.6	2.6	0.20	0.20	4.7	0.21	0.21
4	1.5	2.2	0.17	0.19	4.2	0.19	0.19
4.5	1.4	2.1	0.16	0.18	4	0.18	0.18
5	1.4	2	0.15	0.17	3.75	0.17	0.17

A partir de ce cette expérience et la loi de Broglie on conclut que :

- $\lambda_{1 \text{ exp}}$ peut-être égal $\lambda_{1 \text{ théo}}$ de même anneau (onde 1).

- $\lambda_{2 \text{ exp}}$ peut être égal $\lambda_{2 \text{ théo}}$ de deuxième anneau (onde 2).

- λ_1 et λ_2 de deux longueur d'onde très petit donc la différence entre elle est négligeable pas.

L'électron en mouvement associe une onde de longueurs d'onde λ ; chaque onde possède des caractéristiques spécifiques : La longueur d'onde qui est inversement proportionnelle avec la tension.

Les anneaux de diffraction obtenus correspondent à deux distances inter plans dans le graphite. Les deux ensembles de plans que nous observons sont orientés verticalement dans (structure du réseau et de la cellule unité du graphite).

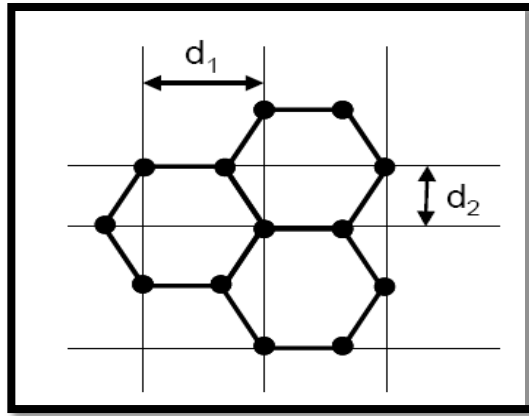


Figure .II.4 : Distance entre plan interarticulaire du graphite.

Conclusion
Générale

Conclusion général

En 1923, dans la ligne des résultats de Compton, qui venait de montrer que les photons d'Einstein, d'énergie $E=h\nu$, possédaient également une impulsion $P=\hbar k$, de Broglie propose d'associer systématiquement ondes et corpuscules. Il pose la relation fondamentale de proportionnalité entre l'impulsion et le vecteur d'onde de toute particule matérielle $k=\frac{p}{\hbar}$.

Schrödinger après des essais infructueux sur une équation relativiste, donc raisonnable (appelée maintenant équation de Klein-Gordon), obtient dans une limite non-relativiste sa célèbre équation. Il établit cette même année l'équivalence de la mécanique ondulatoire et de la mécanique des matrices en développant les équations de la mécanique ondulatoire sur la base propre de l'énergie.

La confirmation expérimentale. En 1927, Davisson et Germer, mettant le point final à une longue étude commencée par Davisson en 1919, établissent l'existence de la diffraction des électrons dans un cristal. Ils vérifient ainsi le comportement ondulatoire de l'électron. Thomson, obtient la même année ce résultat par une technique expérimentale différente.

Dans notre travail, nous avons réalisés la diffraction des électrons sur le graphite, en vue de vérifier la dualité onde-corpuscule. Pour cela nous avons calculés la longueur d'onde de Broglie (longueur d'onde des électrons) et la comparer avec la longueur de l'onde diffractée par le graphite en utilisant la loi de Bragg. Les résultats sont similaires et les électrons se comportent comme des ondes.

Liste de figures

Figure .I. 1: Expérience de Davisson et Germer en 1927

Figure : I.2 L'interférence de l'atome d'une cristalline démonstration la loi de Bragg

Figure II.1: description du tube pour la diffraction des électrons.

Figure II.2 : Montage pour l'expérience de la diffraction des électrons.

Figure II.3: des anneaux obtenus.

Figure .II.4: Distance entre plan interarticulaire du graphite.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Jane-Marc Lévy-Leblond Françoise Balibar. Quantique. Dunod, Paris 2006 pour La nouvelle présentation , ISBN : 978-2-10-05860-0 , PP . 71.
- [2] Pierre Henri Communay, Physique Quantique, Groupe de recherche et d'édition 31600 SAUBENS FRANCE : octobre-2001. ISBN .2-84139-035-7, pp.22-23.
- [3] Pierre Labastie, Mécanique Quantique (L3 physique fondamentale 1^{er} semestre), 2010-2011, PP .4 .
- [4] Christain-Ngo, Hélène-Ngo, physique quantique1, Dunod, Paris, 2000 pour la nouvelle présentation corrigée, ISBN : 2-10-005362-0, PP .15-16.
- [5]. Claude- Aslangul, Mécanique Quantique, Edition de Boeck et Larcier Paris : Septembre 2007 ISBN.978-2-8041-55094, pp.111.
- [6] Claude Cohen-Tannoudji-Bernard Diu, Franch Laloi, Mécanique Quantique, Edition Hermann éditeurs des sciences et des ARTS, en France Octobre 2008 ISBN : 27056-60747.1998 PP. 18.
- [3] Pierre-Labastie. L3 Physique fondamentale, 1^{er} semestre. 2010-2011. pp. 4.
- [2] Pierre Henri Communay. Physique Quantique. Groupe de Recherche et d'édition 31600 SAUBENS FRANCE : octobre-2001. ISBN:2-84139-035-7. pp.210-211.
- [3] Pierre-Labastie, Mécanique Quantique, L3 Physique fondamentale, 1^{er} semestre» 2010-2011 pp.4-5.
- [3] Pierre-Labastie, Mécanique Quantique-L3 Physique fondamentale, 1^{er} semestre, .2010-2011. pp.5-6.
- [7]. Remi GEIGER, docteur de l'Université Paris Sud, vient de terminer sa thèse au Laboratoire Charles Fabry (UMR 8501, CNRS, Université Paris Sud, Institut d'optique), à Palaiseau, où Vincent MÉNORET est doctorant de la même université
- [5] Claude- Aslangul, Mécanique Quantique», Edition de Boeck et Larcier Paris : Septembre 2007 ISBN.978-2-8041-55094, PP.295-296.
- [8] René-Gruinebretiére. Diffraction des rayons x sur échantillon poly cristallin. : Septembre-2006. PP. 51-52.
- [9] Jeans-Pierre-Eberhart, Analyse structure et chimie des matériaux, Bordas, Paris 1989 pour la 1^{er} édition . ISBN : 2-10-003367-0. PP. 140-141.
- [10] Leybold, Tube pour la diffraction des électrons [en ligne], disponible sur [http : // www. system didactique .fr/ détail / ?produit = 555626](http://www.systemdidactique.fr/détail/?produit=555626).
- [11] Ministère de l'éducation nationale (DGESCO – IGEN) Page 11 sur 25 Physique-chimie – Classe terminale scientifique – Dualité onde-particule http://eduscol.education.fr/ressources_physique-chimie_TS.

Résumé

La mécanique quantique postule que tous les corps possèdent à la fois des propriétés de particule et d'onde Dualité onde-corpuscule. Toutes les particules présentent un caractère ondulatoire. Le caractère ondulatoire des particules est d'autant plus prononcé que la longueur d'onde associée à la particule est grande, c'est-à-dire que la quantité de mouvement de la particule est faible $\lambda=h/p$. Ceci explique pourquoi il est impossible de mettre en évidence le caractère ondulatoire d'un corps macroscopique ?

Pour la vérification de cette hypothèse nous avons réalisés la diffraction des électrons sur un graphite en calculant la longueur d'onde de Broglie

Mots Clés : loi de Broglie, dualité onde-corpuscule, diffraction des électrons.

Abstract:

The quantum mechanics postulates in the case that all bodies have both, the properties of particle and wave-particle duality. All particles have a wave nature character. The wave character of the particles is even more pronounced than the wavelength associated with the particle is large. In the other hand, that is main's that the amount of movement of the particle is low $\lambda = h / p$. This explains the question: why it is of impossible to demonstrate the wave character of a macroscopic body?

In order to verify this hypothesis we have made diffraction of electron on the graphite by calculating the wavelength of Broglie.

Keywords: Broglie Law, Wave-particle duality, Electron diffraction