

LP 40 : Confinement d'une particule et quantification de l'énergie

Armél JOUAN, Géraud DUPUY

Ebauche de plan - Niveau : L3

Introduction : Expérience de Franck et Hertz. Contextualisation historique autour de la question centrale du début du XXème siècle: la quantification de l'énergie. Faire l'expérience en live. A cette époque, le modèle de Bohr existe mais n'est qu'un postulat, essayons de comprendre plus précisément.

Prérequis

- Eq de Schrödinger indép du temps en représentation X
- Interprétation probabiliste de la fonction d'onde
- Modèle de Bohr
- Longueurs d'onde de De Broglie
- Notion de semi-conducteurs

1 Effet du confinement d'une particule

1.1 Cadre d'étude

- Définition confinement
- Eq de Schrödinger dans la boîte avec un potentiel de confinement
- Ordre de grandeur de la longueur de De Broglie d'un électron libre (vitesse de 10^5 m/s, longueur de De Broglie de 7 nm). Conclure que le confinement par des objets macroscopiques ne fait pas apparaître de quantification.

1.2 Modèle du puit carré infini [1] chap 4

- Modélisation très idéale
- Potentiel nul entre 0 et a , infini en dehors
- Poser l'équation de Schrödinger au centre
- Poser l'énergie
- Résoudre en sinus et cosinus
- Appliquer condition aux limites sur ψ
- Obtenir la quantification de l'énergie
- qq commentaires: Energie du fondamental non nulle, condition de normalisation qui permet d'obtenir la fonction d'onde explicite
- <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/qboite.html>

2 Le confinement en pratique

2.1 Modèle du puit carré fini [1] chap 4

- On refait le modèle, mais l'idée n'est pas ici de se recolter un calcul chiant, on va donc vite sur slide
- On prend une énergie inférieure à V_0
- Montrer la résolution, les CL, les résultats
- Montrer que dans le cas d'un état lié, on a quantification, alors que pour un état de diffusion, on a un continuum d'énergie.
- Nb d'états liés fixé par V_0 . En dessous d'un certain seuil, on a un seul état lié possible (solution paire) qui existe toujours
- Continuum d'énergie dans les autres zones

2.2 Réalisation d'un puits quantique: Boite quantique

- Rappeler la structure de bande d'un semi conducteur
- Montrer que si on cloisonne un semi conducteur entre deux autres, on a possibilité que le gap du premier soit plus bas que celui des deux autres

- Ca crée un puit fini dans la bande de conduction du sandwiché (Exemple du puit AlGaAs - GaAs - AlGaAs)
- On peut ainsi créer des "boîtes quantiques"
- Applications aux sources de photon unique

2.3 Application au détecteur infrarouge

- On prend une série de puits
- On les place dans un champ électrique. Ca "penche" le système
- Dans chaque puits, on a un unique état lié
- Un rayonnement IR fait passer d'un état lié à un état de diffusion et crée du courant : on détecte le rayonnement !

2.4 Retour sur l'expérience de Frank et Hertz

- Modélisation du potentiel atomique par un demi puits infini
- On a confinement des électrons, donc quantification
- On remarque que le fondamental et le premier niveau excité sont séparés de 4.9 eV
- On interprète ainsi les creux dans le courant tout les 4.9 V en XY

Conclusion

Ouvrir possiblement sur une autre application. Ou sur ce que la quantification du champ implique sur le rayonnement du corps noir. Ou sur l'effet Tunnel

Bibliographie

- [1] Basdevant, Dalibard, Mécanique quantique (pour la résolution des deux puits p.83)
- [2] Aslangul, Mécanique quantique (pour l'expérience de Frank et Hertz p.167, pour la longueur d'onde de De Broglie p.273, pour les potentiels carrés et CL p.532)
- [3] Le Bellac, Mécanique quantique

- [4] **Cohen**, Mécanique quantique
- [5] Thèse sur les quantum dots en tant que source de photon unique: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00110837/document>
- [6] **Interaction lumière matière de Grynberg, Aspect et Fabre** : complément 2E pour le détecteur IR

Animations, ressources

- (1) Animation Python "Etats propres d'un puits infini" sur :
<https://www.sci-phy.org/agreg>
- (2) Animation Université Le Mans "Boîte de potentiel à une dimension" :
<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/qboite.html>
- (3) Expérience de Franck et Hertz (sur la base de données de matériel du DER) :
<https://ensps.lab.educ.space/labs/2/items/431>