

LP n°41 **Titre :** Effet Tunnel

Présentée par : Hugo Schatt

Rapport écrit par : Juliette Mansard

Correcteur : Jean Hare

Date : 11/02/2019

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Badesvant			
Dunot PC			
Berkeley (radioactivité alpha)			

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Prérequis : Physique ondulatoire / Notions de mécanique quantique (Schrödinger) / Radioactivité

Introduction (1')

Réflexion sur un conducteur parfait → onde évanescente

Analogie possible pour une particule quantique ?

1. Traversée d'une barrière

1.1. Position du problème (10')

Barrière de potentiel

Résolution de l'équation de Schrödinger indépendante du temps pour chacune des zones

Onde incidente / onde réfléchie

Utilisation des conditions aux limites pour réduire le nombre de constantes d'intégration

1.2. Transmission (8'30)

Définition du courant de probabilité, coefficient de réflexion R et de transmission T.

Discussion du coefficient de transmission. Cas où $a > 2\delta$. OG pour un électron dans un potentiel de 4eV et de largeur 0,3 nm. Dépendance de T en a, et en m.

2. Exemples

2.1. Un exemple naturel (15')

Historique de la découverte de la radioactivité alpha.

Relation empirique entre le temps de demi-vie et racine carrée de l'énergie.

Forme du potentiel. Forme de l'onde évanescente ($e^{-\gamma(r)}$). Résolution de l'équation de Schrödinger → T proportionnel à l'inverse de la racine carrée de l'énergie.

Modèle simple entre T et le temps de demi-vie. Validation de l'ordre grandeur du temps de demi-vie sur le radium, l'uranium, polonium. 10^{20} d'écart entre les différents temps de demi-vie.

2.2. Application : le microscope (4')

Principe de la microscopie tunnel.

Topographie / Spectrographie

Conclusion

Mémoire flash utilise l'effet tunnel

Questions posées par l'enseignant

- Combien ici de conditions aux limites pour la résolution de l'équation de Schrödinger ? Est-ce l'indétermination qu'on attend sur une fonction d'onde ?
- Comment faire le calcul de T ?
- On trouve T très faible pour les nucléons, pourquoi a-t-on de la radioactivité alpha alors ?
- Réflexion sur un conducteur non parfait $R+T=1$?
- C'est quoi le courant de probabilité porté par une onde évanescente ?
- D'autres situations naturelles où l'effet tunnel se manifestent ? (Conduction dans les métaux) Artificielles ?
- Pourquoi on applique une différence de potentielle dans la microscopie tunnel ? (pour décaler le niveau de Fermi)
- Quelle est la résolution longitudinale ? Transversale ? OG des courants qui passent dans la pointe ? Qu'est ce qui limite la précision d'un ampèremètre ? (Bruit intrinsèque)

Commentaires donnés par l'enseignant

- L'analogie avec la réflexion sur un conducteur fausse (dissipation d'énergie dans ce cas) → la bonne analogie : réflexion totale interne frustrée
- On peut certes éluder le calcul du coefficient de transmission (bien que ce calcul contienne de la physique, comme expliqué dans le poly). Mais il faut alors développer proprement un autre calcul, comme celui du courant (ci-dessus), ou celui de la théorie de Gamow (ci-dessous)
- Il faut être en mesure d'expliquer pourquoi ici l'onde évanescente transporte un courant de probabilité, alors que ce n'est pas le cas de la simple marche de potentiel
- Justifier soigneusement l'intégrale semi-classique qui apparaît dans la théorie de Gamow, si comme ici, on traite ce modèle, et faire le calcul jusqu'au bout, en indiquant le contenu physique des différents termes (approche semi-classique à la WKB ou modèle de barrière épaisse infinitésimale)
- Si on parle du microscope (STM), il faut expliquer le rôle de la ddpv appliqué et donner une idée de la caractéristique. Evoquer les deux modes d'utilisation, parler de la DOS, discuter la résolution du microscope axiale et transverse de celui-ci, et évoquer (sans développer) les autres microscopes à champ proche) en expliquant que cette technique permet de « battre » la limite de la diffraction
- Parler même sommairement d'autres applications naturelles ou artificielles de l'effet tunnel

Partie réservée au correcteur

Avis sur le plan présenté

Le plan adopté est très classique, un peu trop à mon goût. La théorie de Gamow qui est traitée est plutôt confuse. Le microscope est un peu bachelé, il manque à peu près toutes les informations physiques et techniques d'utilisation.

C'est une bonne idée de traiter une application naturelle et une application artificielle, mais il faut le faire soigneusement. Le choix est vaste, pour tenir dans les temps on peut en choisir une qui qualitative et une autre qui appelle une description plus approfondie.

Concepts clés de la leçon

Condition aux limites : raccordement et limite $x \rightarrow \pm \infty$

Transmission = rapport des courants

Courant transporté par une onde évanescente

Au moins une application est attendue

Le calcul de T est optionnel, mais si on le fait, il faut prendre le temps et faire apparaître le déphasage entre les deux ondes évanescentes, directe et réfléchies.

Concepts secondaires mais intéressants

Quelques mots sur le cas où $E > V_0$

Nature de l'onde à gauche de la barrière

Différents exemples

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Pas vraiment d'expériences disponibles

Idée de manip de chimie ? Acheter une diode QCL ?

Pas au programme de l'agrégation docteur

Points délicats dans la leçon

Faire une place équilibrée entre le modèle minimal et les applications

Bibliographie conseillée

Le « Berkeley » est en effet le seul livre où le modèle de Gamow est traité simplement, et qui donne la figure complète.

(Si on fait l'impasse sur le calcul et sur la structure de l'onde dans la barrière, le Cohen contient aussi pas mal de physique, mais manque d'applications)