

Table des matières

1	Effet tunnel. Application à la radioactivité alpha.	2
I	Etats liés vs états de diffusion	4
I.1	Fonction d'onde et équation de Schrodinger	4
I.2	Courant de probabilité	4
II	Effet tunnel : transmission	5
II.1	Le puit carré modèle intégrable de la barrière de potentiel . . .	5
II.2	Coefficients de réflexion et transmission	5
II.3	Approximation de la barrière épaisse	5
III	Application à la radioactivité alpha	6
III.1	Désintégration alpha	6
III.2	Modèle de Gamow	6
III.3	Loi de Geiger-Nutall	6

Leçon 1

Effet tunnel. Application à la radioactivité alpha.

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Editeur (année)	ISBN
Tout-en-un PC/PC*	M.-N. Sanz	Dunod	
Leçons de Physique	Patrick Charmont	Dunod (2000)	
https://cahier-de-prepa.fr/pc*-poincare/download?id=1007			
https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/quantum-tunneling/latest/quantum-tunneling.html?simulation=quantum-tunneling	colorado.edu	Université du Colorado	
Les nouvelles microscopies	L. Aigouy 2	Belin	

Commentaires des années précédentes :

- **2017** : Encore une fois, il ne s'agit pas de se limiter à des calculs. L'exposé doit présenter l'analyse d'applications pertinentes,
- **2015** : Trop de candidats pensent que l'effet tunnel est spécifique à la physique quantique,
- **2013-2011** : Dans le traitement de l'effet tunnel, les candidats perdent souvent trop de temps dans les calculs. Le jury invite les candidats à réfléchir à une présentation à la fois complète et concise sans oublier les commentaires physiques relatifs à la dérivation de la probabilité de transmission. Certains candidats choisissent d'aborder le cas de la désintégration alpha mais ne détaillent malheureusement pas le lien entre la probabilité de traversée d'une barrière et la durée de demi-vie de l'élément considéré. La justification des conditions aux limites est essentielle ! Le microscope à effet tunnel peut être un bon exemple d'application s'il est analysé avec soin (hauteur de la barrière, origine de la résolution transverse, ...).

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon :

Prérequis :

- Postulats de la mécanique quantique
- Particule dans un puit de potentiel harmonique

Introduction

Les lois de la mécanique quantique sont très différentes de la physique classique. Par exemple, du point de vue classique : si une particule voit un puit de potentiel, elle rebondit si elle n'a pas assez d'énergie. En revanche, la dualité onde-particule de la matière (introduite par de Broglie) va montrer quelques effets intéressants : l'aspect ondulatoire de la matière va permettre la transmission de la particule même si celle-ci possède une énergie inférieure au potentiel : c'est l'effet tunnel.

Décrire le modèle en disant ce qu'on

I Etats liés vs états de diffusion

I.1 Fonction d'onde et équation de Schrodinger

Probabilité : $|\psi(x, t)|^2 dx$ = probabilité de trouver la particule entre x et $x+dx$.
Interprétation possible que si $\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x, t)|^2 dx = 1$.

Equation de Schrodinger : $i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x)\psi(x, t)$

Equation linéaire, on peut choisir $\psi = \chi(x) \exp(-\frac{iE}{\hbar}t)$ avec le signe - dans l'exponentiel pour faire correspondre l'énergie de la particule.

Energie = valeur propre de H , c'est ce qu'on cherche à résoudre tout le temps en mécanique quantique.

- Si V confinement $V \sim x^2$, alors E est quantifié. on a des **états liés**
- Si V non confinement, E est continue et on a des **états de diffusion (ou libres)**

Etats de diffusion : ce sont les états qui vont nous intéresser pour l'effet tunnel.
Comment les interpréter ?

I.2 Courant de probabilité

Introduire le courant de probabilité et la densité de proba :

- $\rho(x, t) = |\psi(x, t)|^2$ densité de proba
- $\mathbf{j}(x, t) = \frac{\hbar}{2m} \left(\psi^* \frac{\partial \psi}{\partial x} - \left(\frac{\partial \psi^*}{\partial x} \right) \psi \right)$, courant de probabilité

Dans le cas d'une onde plane (non intégrable) :

- onde progressive : $\chi(x) = A \exp(ikx)$ et $\mathbf{j}(x, t) = \frac{\hbar k}{m} |A|^2 \mathbf{e}_x$ courant de proba dans le sens $+\mathbf{e}_x$
- onde régressive : $\chi(x) = A \exp(-ikx)$ et $\mathbf{j}(x, t) = -\frac{\hbar k}{m} |A|^2 \mathbf{e}_x$ courant de proba dans le sens $-\mathbf{e}_x$

Schrödinger : $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0$ loi de conservation (démo p34 poly Jean Hare).

II Effet tunnel : transmission

II.1 Le puit carré modèle intégrable de la barrière de potentiel

Schéma du problème.

- $E > V_0$: état de diffusion, pas forcément super intéressant
- $E < V_0$: état de diffusion possible avec une certaine probabilité : c'est l'effet tunnel !

Calcul des fonctions d'ondes dans les zones 1, 2 et 3. Dire que B_3 s'annule car pas d'onde provenant de $+\infty$.

Donner les conditions aux limites $x = 0$ et $x = a$. On obtient 4 équations avec 5 inconnues.

II.2 Coefficients de réflexion et transmission

Cf Dunod p1252.



Ne pas faire la résolution complète, ça prend beaucoup trop de temps et ce n'est pas intéressant

On trouve R et T , on vérifie qu'on a bien $R+T=1$ (conservation de l'énergie).

Manip qualitative : [montrer logiciel colorado qu'il y a transmission.](#)

II.3 Approximation de la barrière épaisse

Trouver δ , l'interpréter. Garder l'analogie avec réflexion totale frustrée (voir Aigouy p140) pour les questions.

III Application à la radioactivité alpha

III.1 Désintégration alpha

Découverte de la radioactivité. Montrer carte de la stabilité des noyaux. Radioactivité α = noyaux lourds.

III.2 Modèle de Gamow

Expérience : Code python simulant Gamow (cf Alexandre).

III.3 Loi de Geiger-Nutall

Manip quanti/quali : faire regression $\log(T_{1/2}) = \frac{A}{\sqrt{E}} + B$ en utilisant un tableau de données préconstruit.

Conclusion