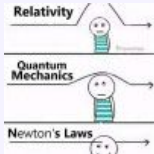
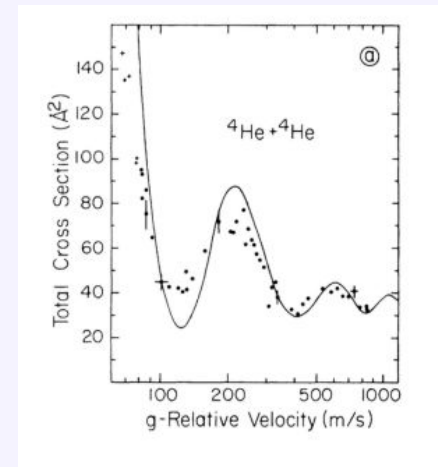
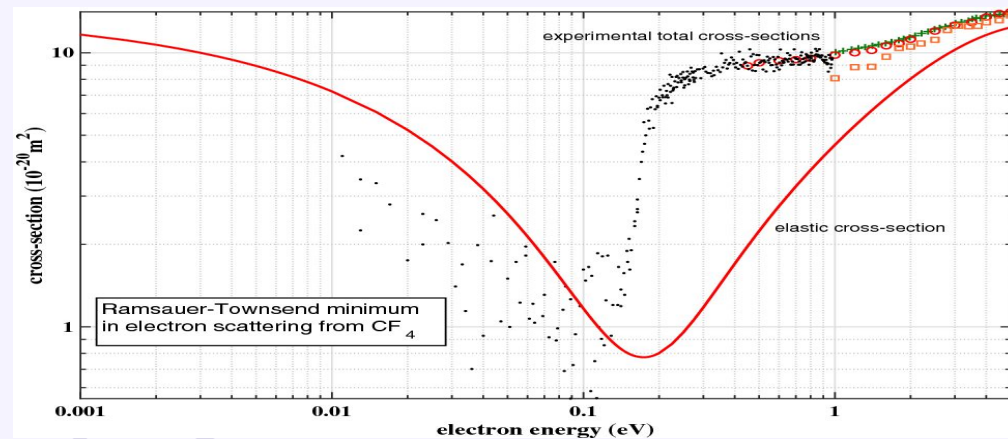


Effet Ramsauer–Townsend



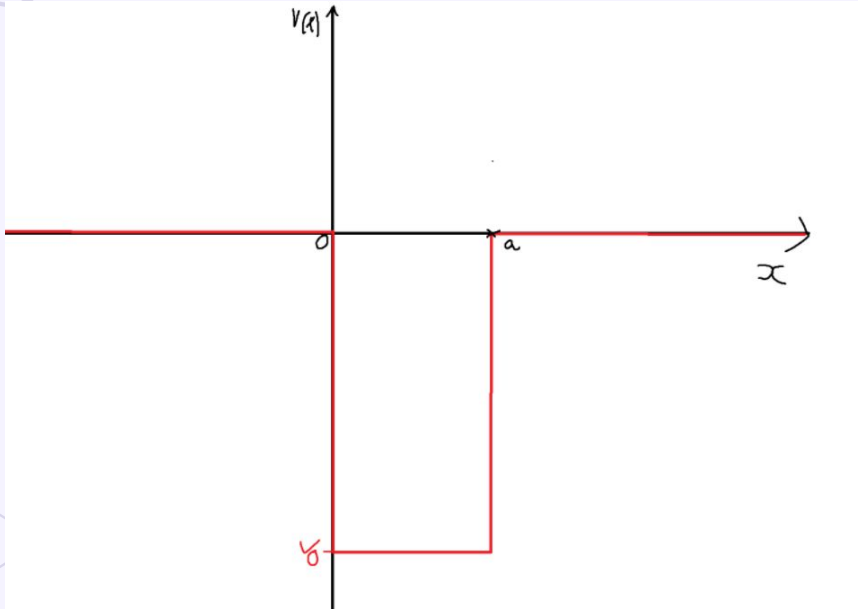
• Définition : Effet de Ramsauer-Townsend

“ L'effet Ramsauer-Townsend, aussi appelé effet Ramsauer ou effet Townsend, est un phénomène physique qui provoque la diffusion des électrons de faibles énergies par les atomes d'un gaz noble. Il est nommé en l'honneur de Carl Ramsauer (1879-1955) et John Townsend (1868-1957), qui ont indépendamment étudié les collisions entre les atomes et les électrons de faibles énergies au début des années 1920. Cet effet s'explique à l'aide de la mécanique quantique “ (wikipedia)



Modélisation du problème

Puit de potentiel



Eq. de Schrödinger a 1D

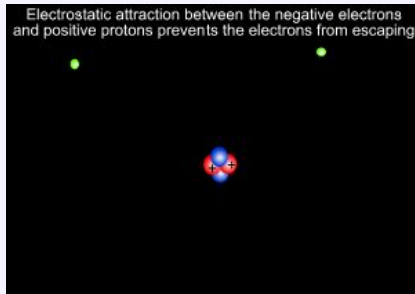
$$\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + v(x)\psi(x) = E\psi(x)$$

Modélisation du problème

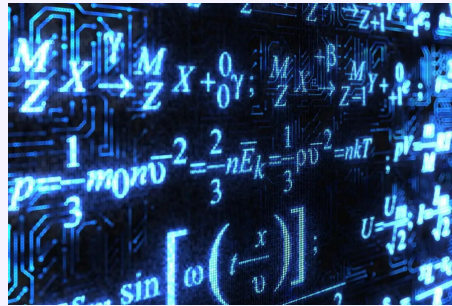
Pourquoi celle-ci?

1.

Attraction



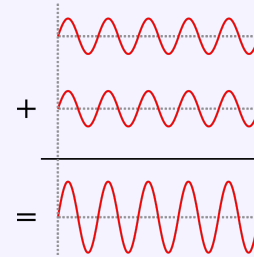
2. Simple



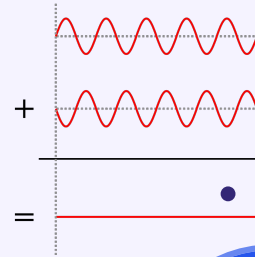
3.

Interférence

Interférences
constructives

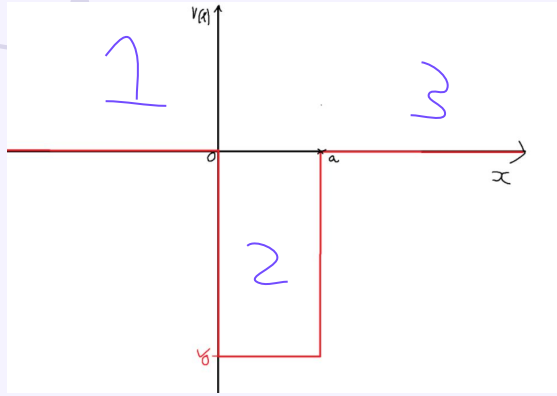


Interférences
destructives



Résolution analytique

Puit de potentiel



$$V(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 & \text{ou } x > a \\ -V_0 & \text{si } 0 < x < a \end{cases}$$

On pose l'équation de Schrödinger

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

$$\left\{ \begin{array}{lll} \text{Région} & 1 & \text{si } x < 0 \\ \text{Région} & 2 & \text{si } 0 < x < a \\ \text{Région} & 3 & \text{si } a > x \end{array} \right.$$

Résolution analytique

Région I

$$\begin{aligned} \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi_1(x)}{dx^2} &= E\psi_1(x) \\ \Leftrightarrow \frac{d^2\psi_1(x)}{dx^2} &= \frac{2mE\psi_1(x)}{-\hbar^2} \\ \Leftrightarrow \frac{d^2\psi_1(x)}{dx^2} + \frac{2mE\psi_1(x)}{\hbar^2} &= 0 \\ \Leftrightarrow \frac{d^2\psi_1(x)}{dx^2} + K_1^2\psi_1(x) &= 0 \end{aligned}$$

$$\text{Avec } K_1^2 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$

Equation différentiel

$$\psi_1(x) = Ae^{iK_1x} + Be^{-iK_1x}$$

$$\text{Avec } A, B \in \mathbb{C}$$

Résolution analytique

Région 3

Equation différentiel

$$\psi_3(x) = Ce^{iK_2x} + Ge^{-iK_1x}$$

$G = 0$ Car le terme réfléchi est absent

$$\Leftrightarrow \psi_3(x) = Ce^{iK_1x}$$

Avec $C \in \mathbb{C}$

Résolution analytique

Région 2

$$\begin{aligned} & \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi_2(x)}{dx^2} - V_0\psi_2(x) = E\psi_2(x) \\ \Leftrightarrow & \frac{-\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi_2(x)}{dx^2} - (V_0 + E)\psi_2(x) = 0 \\ \Leftrightarrow & \frac{d^2\psi_2(x)}{dx^2} + \frac{\hbar^2(V_0 + E)}{2m}\psi_2(x) = 0 \\ \Leftrightarrow & \frac{d^2\psi_2}{dx^2} + K_2^2\psi_2(x) = 0 \end{aligned}$$

$$\text{Avec } K_2 = \sqrt{\frac{2m(V_0 + E)}{\hbar^2}}$$

Equation différentiel

$$\Rightarrow \psi_2 = De^{iK_2x} + Fe^{-iK_2x}$$

$$\text{Avec } D, F \in \mathbb{C}$$

Résolution analytique

Conditions de raccordement

$$\begin{cases} \psi_1(0) = \psi_2(0) \\ \psi'_1(0) = \psi'_2(0) \\ \psi_2(a) = \psi_3(a) \\ \psi'_2(a) = \psi'_3(a) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A + B = D + F \\ iK_1(A - B) = iK_2(D - F) \\ Ce^{iK_1a} = De^{iK_2a} + Fe^{-iK_2a} \\ iK_1Ce^{iK_1a} = iK_2(De^{iK_2a} - Fe^{-iK_2a}) \end{cases}$$

Après la résolution du système on trouve que

$$A = B \left(\frac{K_2 + K_1}{K_1 - K_2} \right) - \frac{2FK_2}{K_1 - K_2}$$

$$D = \left(\frac{K_2 + K_1}{K_2 - K_1} \right) F - \frac{2K_1}{K_2 - K_1} B$$

Résolution analytique

Coefficient de transmission

$$T = \frac{|D|^2}{|A|^2}$$

$$\Leftrightarrow T = \frac{4K_1^2 K_2^2}{4K_1^2 K_2 + (K_1^2 + K_2^2)^2 \sin^2(K_2 a)}$$

$$\Leftrightarrow T = \frac{4E(V_0 - E)}{4E(V_0 - E) + V_0^2 \sin^2(K_2 a)}$$

$$\Leftrightarrow T = \frac{1}{1 + \frac{V_0^2}{4E(V_0 - E)} \sin^2(K_2 a)}$$

Pour avoir $T = 1$ il faut

$$\sin(K_2 a) = 0$$

$$\Rightarrow K_{n2} a = n\pi \quad (n \in \mathbb{Z}) \Rightarrow K_{n2} = \frac{n\pi}{a}$$

Résolution analytique

Quantification de E

On reprend la valeur de K_2 trouvé pour la région 2

$$K_2 = \sqrt{\frac{2m(V_0 + E)}{\hbar^2}}$$

Et on injecte sa quantification trouvé avec le coef de transmission

$$\begin{aligned}\frac{n\pi}{a} &= \sqrt{\frac{2m(V_0 + E_n)}{\hbar^2}} \\ \Leftrightarrow \frac{(n\pi)^2}{a^2} &= \frac{2m(V_0 + E_n)}{\hbar^2} \\ \Leftrightarrow \frac{(n\pi\hbar)^2}{(2m)a^2} &= (V_0 + E_n) \\ \Leftrightarrow \frac{(n\pi\hbar)^2}{(2m)a^2} - V_0 &= E_n \\ \Leftrightarrow E_n &= \frac{(n\pi\hbar)^2}{(2m)a^2} - V_0 \\ \Leftrightarrow E_n &= \frac{\hbar^2}{2m} \frac{(n\pi)^2}{a^2} - V_0\end{aligned}$$

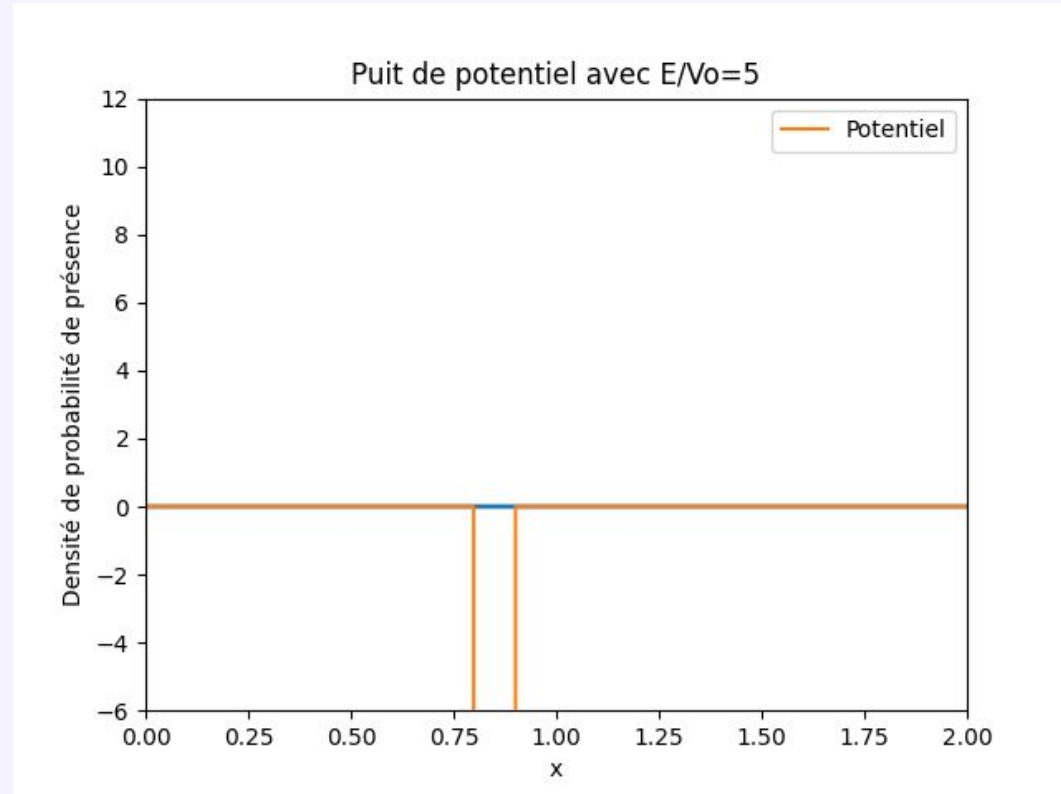


Résultats numériques – Animation

Approximation et valeur numérique utilisé

- Valeur \hbar & m sont = 1
- $e=5$ ← Valeur qui va être modifiée
- $V_0=-4000$
- $a=0.1$

✓ Il y a effet Ramsauer car la transmission ~ 1



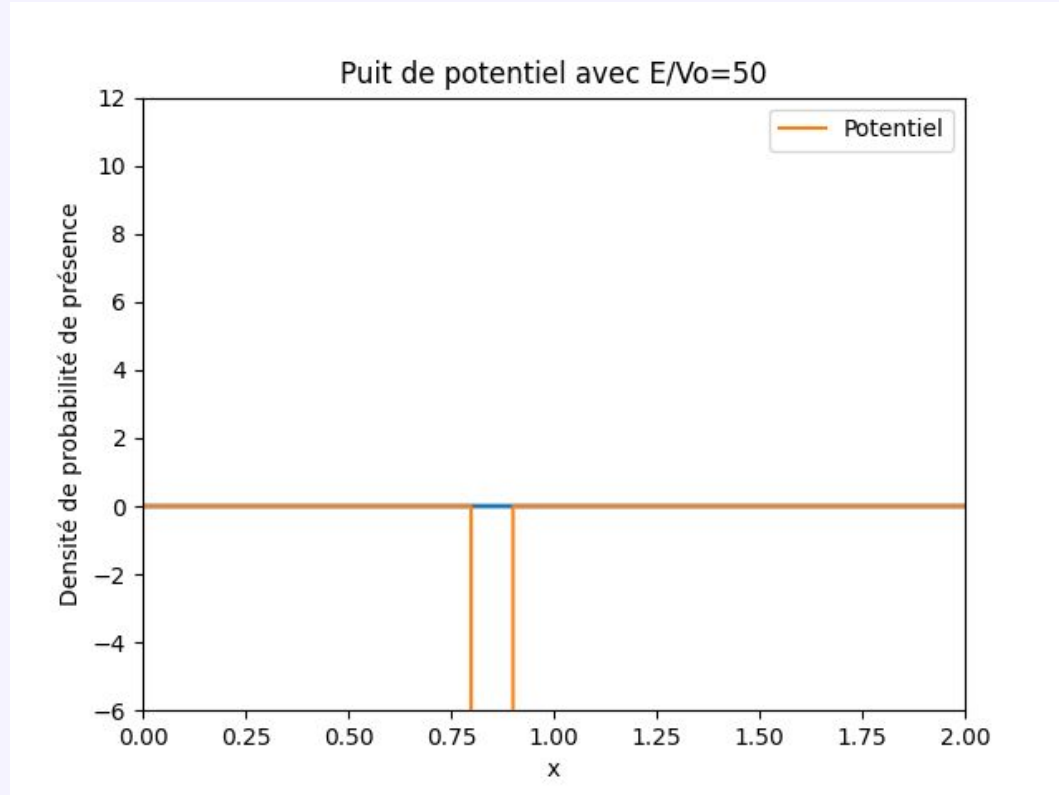


Résultats numériques – Animation

Approximation et valeur numérique utilisé

- Valeur \hbar & m sont = 1
- $e=50$ ←
- $V_0=-4000$
- $a=0.1$


✓ Il y a effet Ramsauer car la transmission = 1.



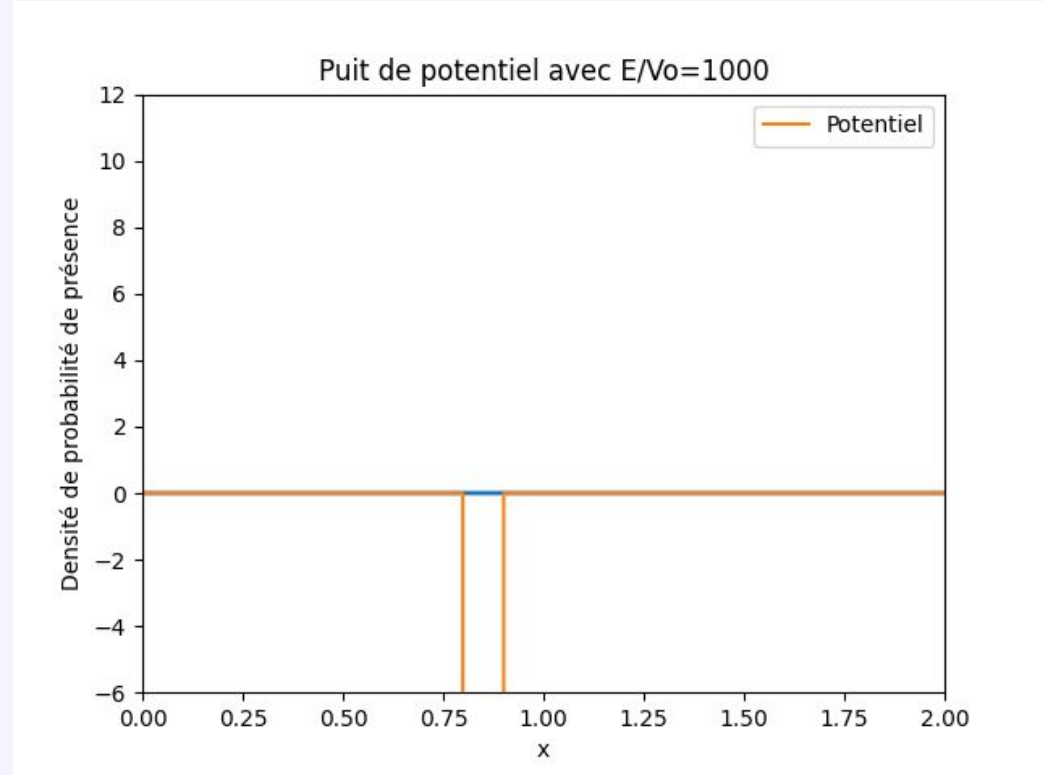


Résultats numériques – Animation

Approximation et valeur numérique utilisé

- Valeur \hbar & m sont = 1
- $e=1000$ 
- $V_0=-4000$
- $a=0.1$


✗ Il n'y a pas effet Ramsauer car la transmission $\neq 1$.

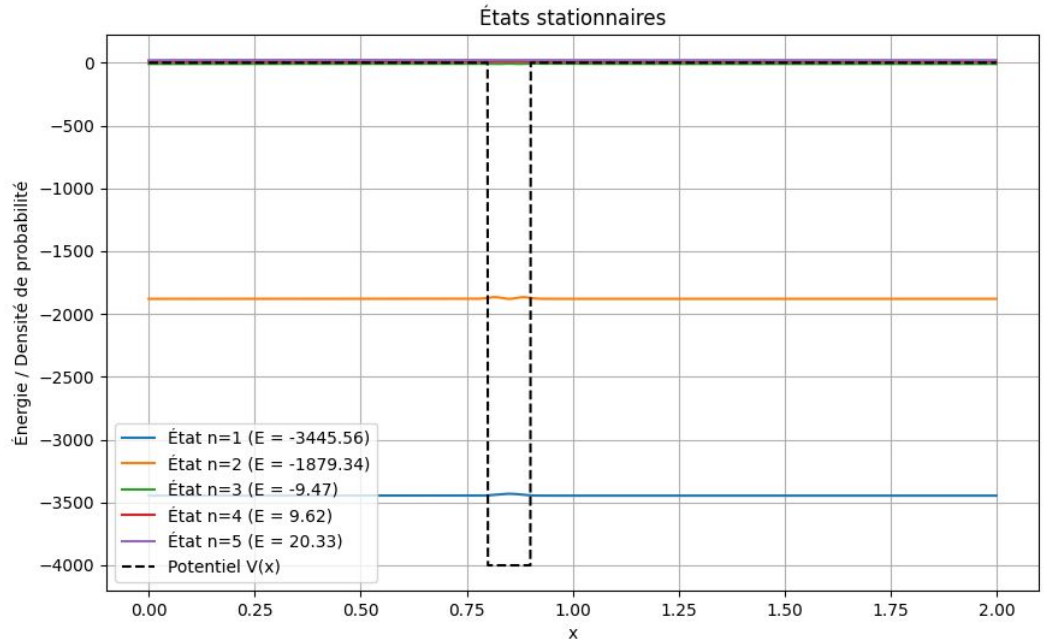


Résultats numériques

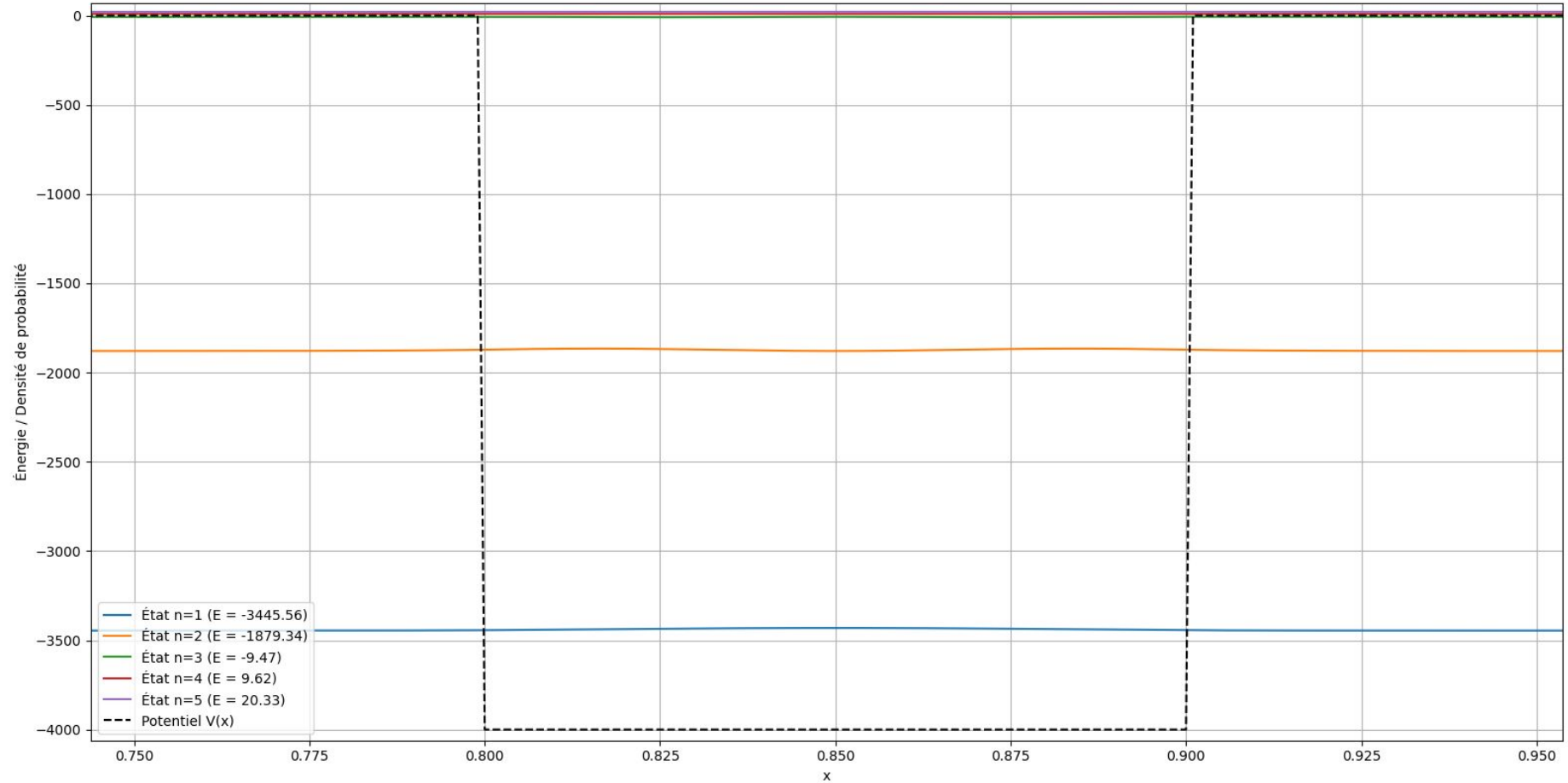
Etats Stationnaire

Approximation et valeur numérique utilisé

- Valeur \hbar & m sont = 1
- $e=5$
- $V_0=-4000$
- $a=0.1$  Valeur qui va être modifier




États stationnaires

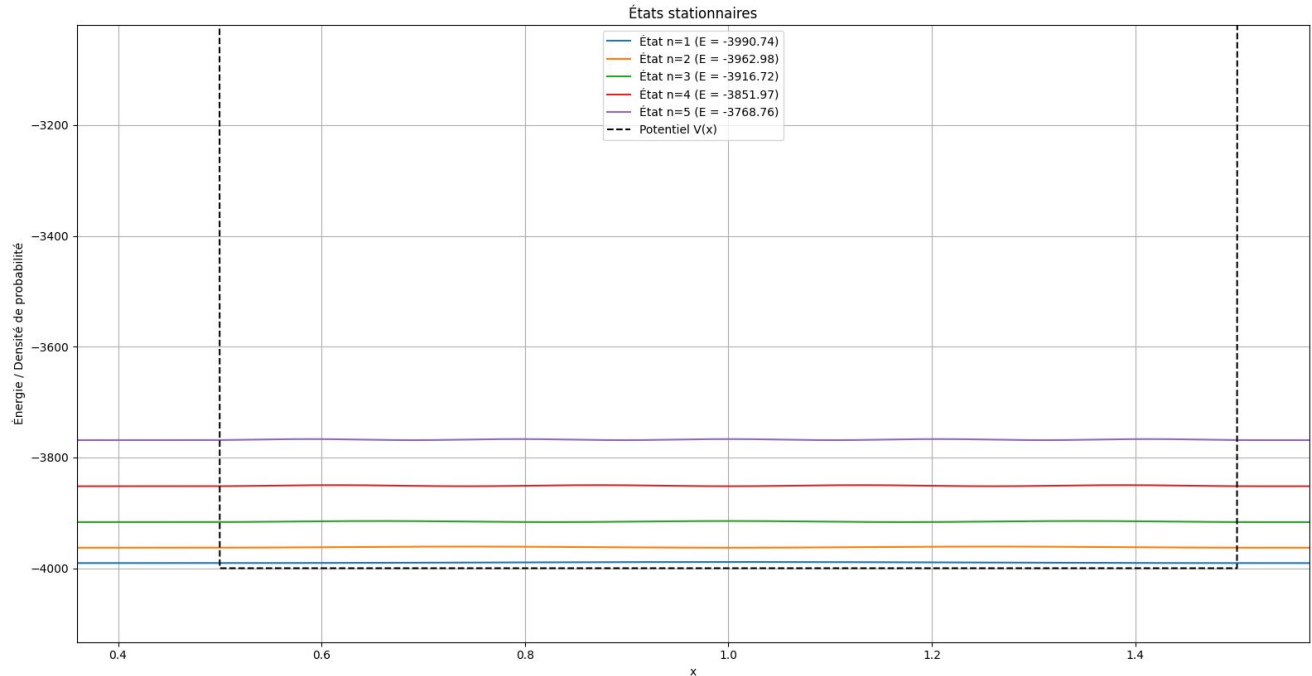


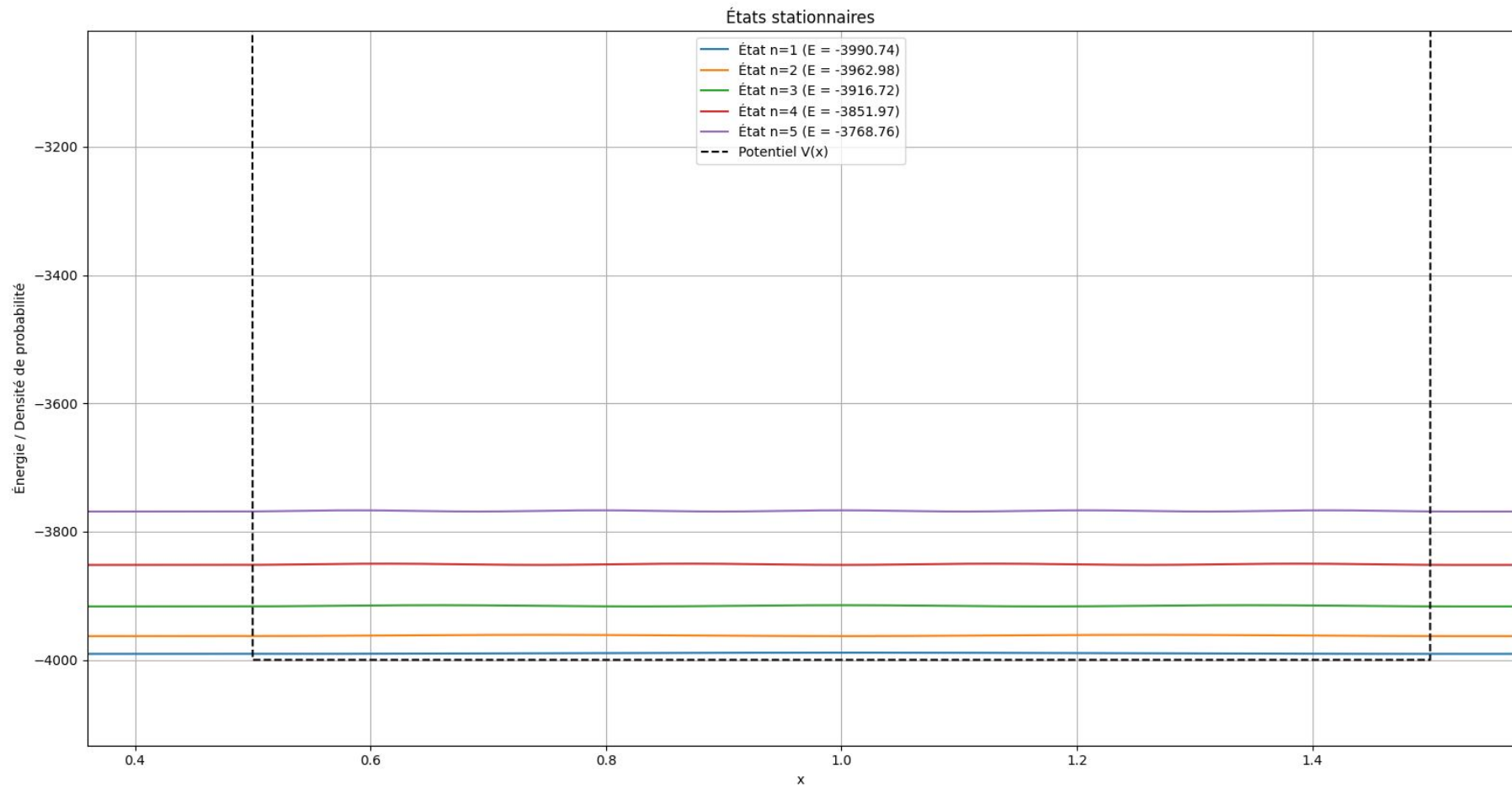
Résultats numériques

Etats Stationnaire

Approximation et valeur numérique utilisé

- Valeur \hbar & m sont = 1
- $e=5$
- $V_0=-4000$
- $a=1$ 



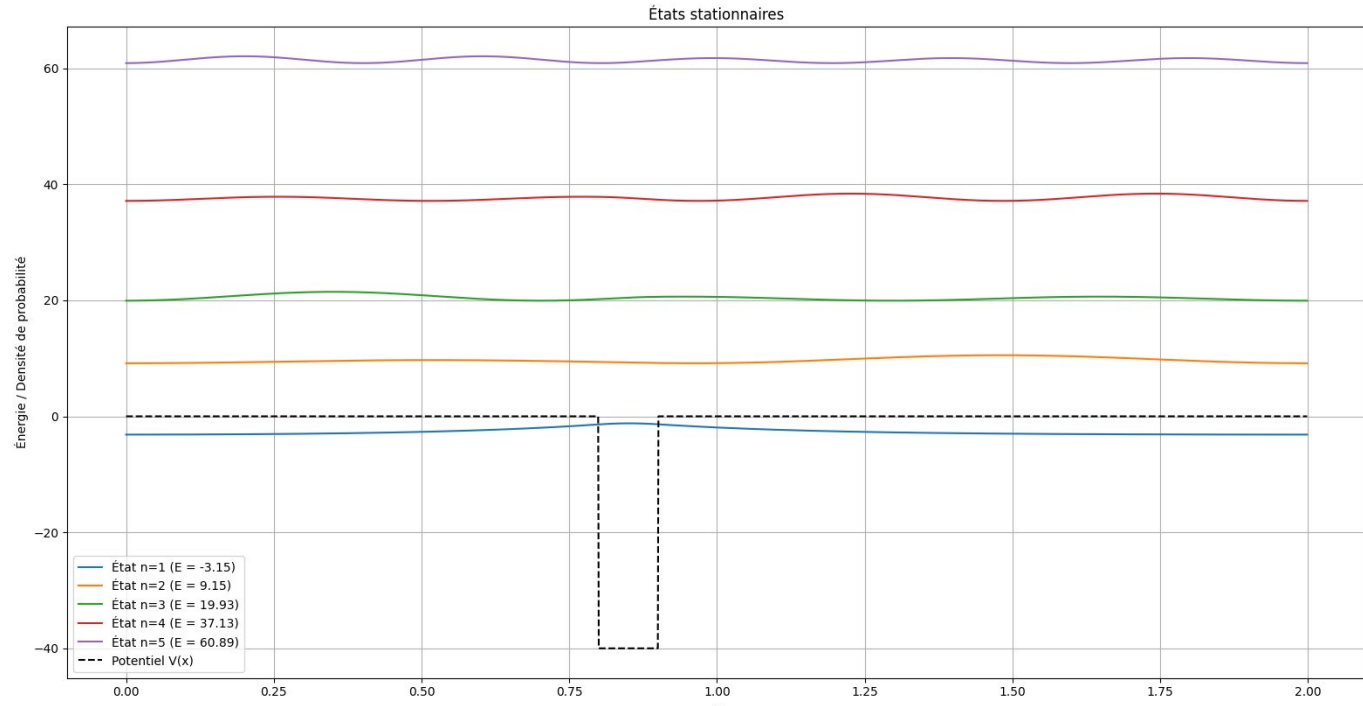


Résultats numériques

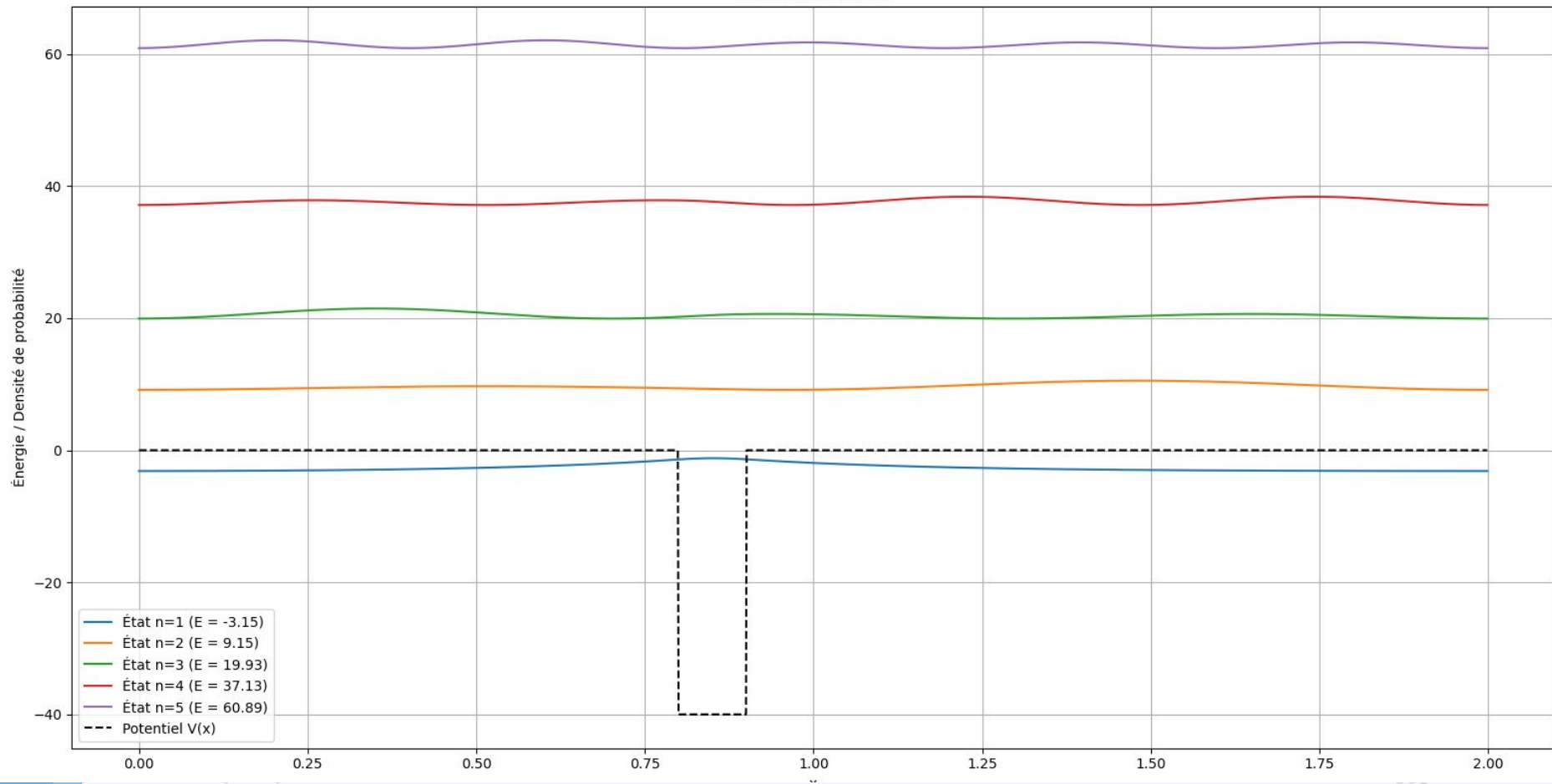
Etats Stationnaire

Approximation et valeur numérique utilisé

- Valeur \hbar & m sont = 1
- $e=5$
- $V_0=-40$ ←
- $a=0.1$



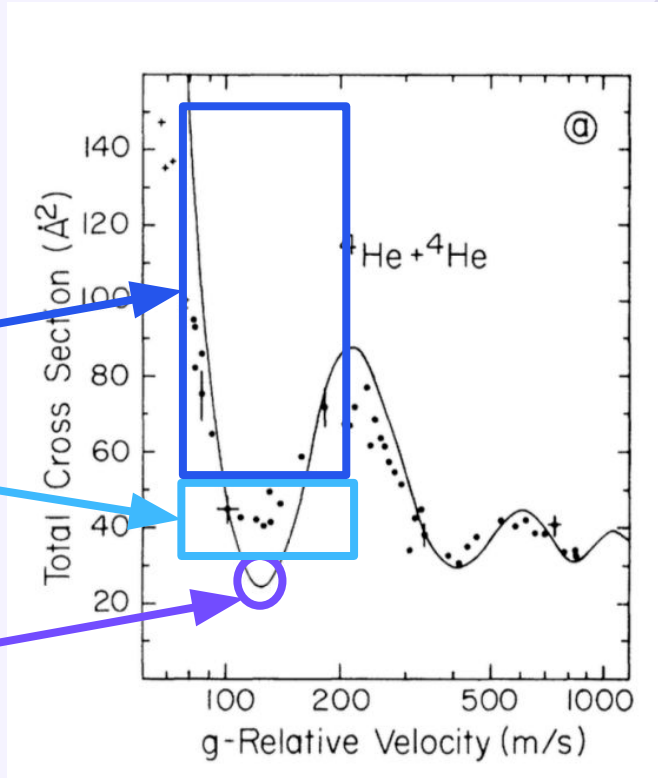
États stationnaires



Comparaison entre les prédictions et les mesures expérimentales

On peut remarquer que comme dans nos animation l'effet ramsauer semble marcher uniquement sur des point précis

- Troisième animation ($e=1000$)
 - Aucun effet ramsauer forte reflection complète
- Première animation ($e=5$)
 - Effet de ramsauer pas complet (une petite parti est réfléchi)
- Deuxième animation ($e=50$)
 - Effet de ramsauer complet aucune reflection





Limite de la modélisation

Dimension unique


La modélisation est unidimensionnel (1D), alors que dans la vie réel les électrons se déplacent en 3D dans un gaz

Un puit parfait

Le puit rectangulaire parfait est une approximation très idéal de l'interaction entre l'électron et l'atome cela n'est pas possible en vrai

Trop d'approximation

Les borne des région sont trop approximé et certain effet quantique sont négligés (spin, polarisation)



Etude qualitative par paquet d'onde

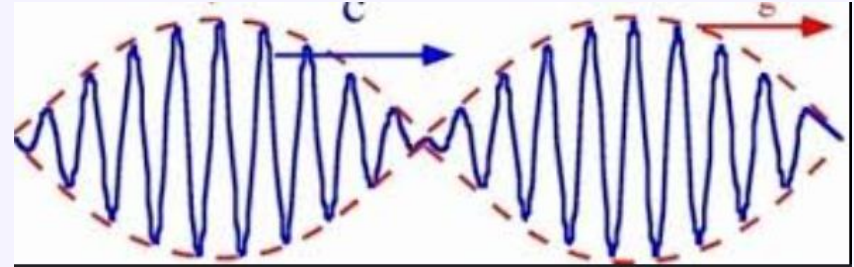
Avant l'entrée dans le puit

Paquet d'onde gaussien
partant de la gauche du puit

Centré en x_0
De largeur z
D'impulsion initial k_0

Et de vitesse de groupe v_g

$$v_g = \frac{\hbar k_0}{m}$$





Etude qualitative par paquet d'onde

Lors de l'interaction avec le puit


Cas 1: Energie moyenne

$$E = \frac{\hbar^2 k_0^2}{2m} > 0$$

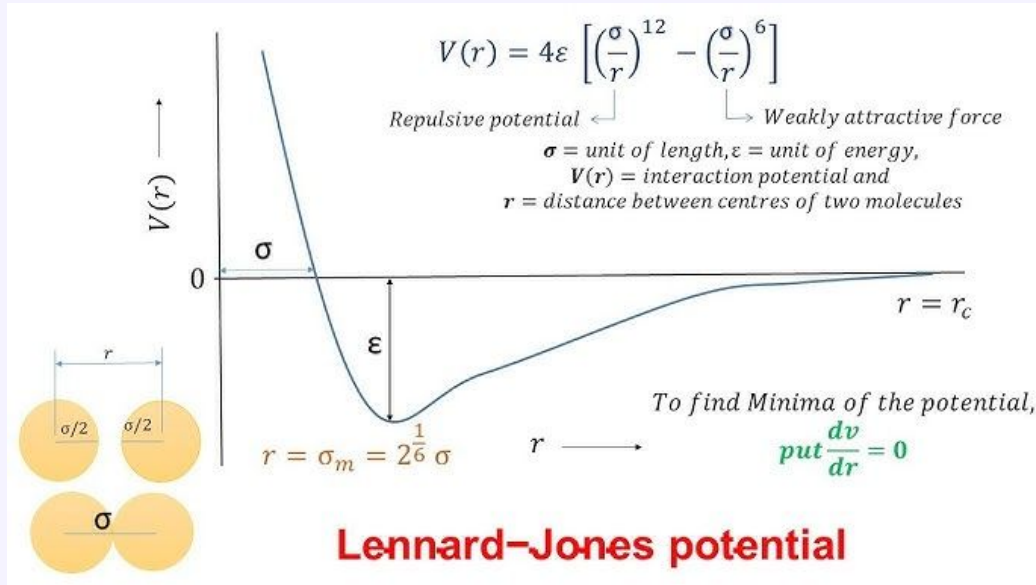
- Transmission partielle ou total
- => Effet ramsauer
- Dans le puit les composante de vitesse sont plus grande

Cas 2: Energie moyenne

$$E < 0$$

- Peu ou pas de transmission
- => Pas d'effet ramsauer
- Beaucoup d'onde réfléchi
- 

Vers un modèle plus réaliste



CONCLUSION



Bibliographie / Annexes

- **Physicsopenlab “Ramsauer-Townsend Effect”, 16 aout 2016,**
<https://physicsopenlab.org/2016/08/16/ramsauer-townsend-effect/>
- **B. Zwiebach “Resonant transmission and Ramsauer–Townsend” 26 avril 2016,**
<https://ocw.mit.edu/courses/pdf>
- **D. Kriesell “The Ramsauer-Townsend Effect”,**
https://quantum-abc.de/ramsauer_a.pdf
- **“Mécanique quantique”,**
<https://cpge-paradise.com/MP4Phys/TD/TD11%20meca%20q.pdf>
- **Simulations en d'états quantiques liés issus de l'Université du Colorado,**
<https://phet.colorado.edu/fr/simulations/bound-states>
- **Physique et simulations numériques de l'Université du Mans,**
<https://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/mndivers.html>
- **E-Learning Physique “Couche ‘anti-reflet’ quantique”, youtube.com, 27 avril 2017,**
<https://www.youtube.com/watch?v=tUv8GUOKNNk>
- **Jean-Paul Grivet. Méthodes numériques appliquées pour les sciences et l'ingénieur. EDP Sciences, 2013,**
<https://excerpts.numilog.com/books/9782759808298.pdf>
- **Robert S “Ramsauer-Townsend effect in the total cross section of $4\text{He} + 4\text{He}$ ”, 1 septembre 1976,**
<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.14.1006>
- **Enseignement Supérieur et Lycée “EXERCICE Puits de potentiel PARTIE 1”, 25 avril 2020,**
<https://www.youtube.com/watch?v=wbww3J1jN3>
- **Oxford Academic “Molecular interaction and the Lennard-Jones potential”, 27 mars 2013,**
<https://www.youtube.com/watch?v=Yqj5jHUE3wI>