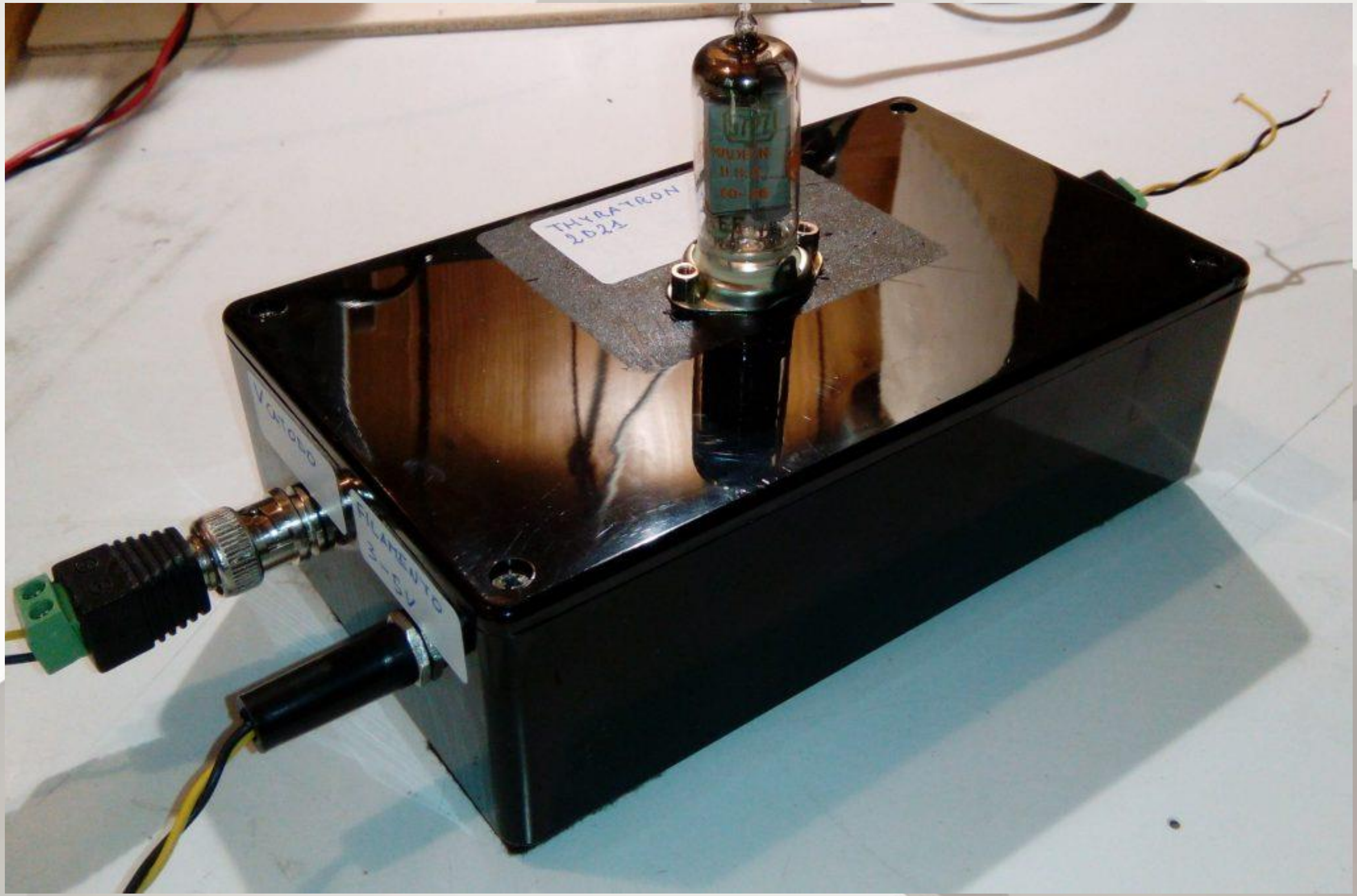
Effet Ramsauer-Townsend



Pré-Ing 2

Groupe : MI1-F

- Enzo FULGORI
- Rayane MEHANNI
- Hugo NKUNDIYEZE

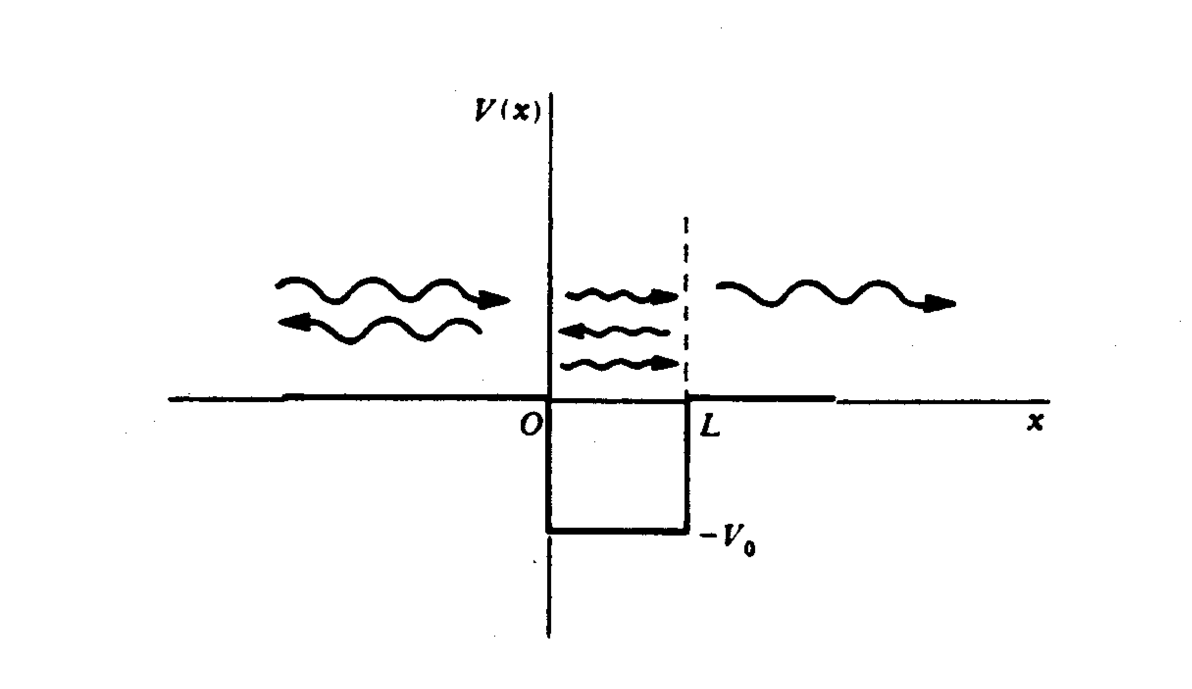
Enseignante : Mme. Dupont

Matière : Physique Moderne

Sommaire

Effet Ramsauer-Townsend

- Carl Ramsauer (1879-1955)
- John Townsend (1868-1957)
- Diffusion des électrons de faible énergie par les atomes d'un gaz noble
- Faible/Absence coefficient de réflexion
- Effet expliqué à l'aide de la mécanique quantique



Carl Ramsauer

John Sealy Townsend

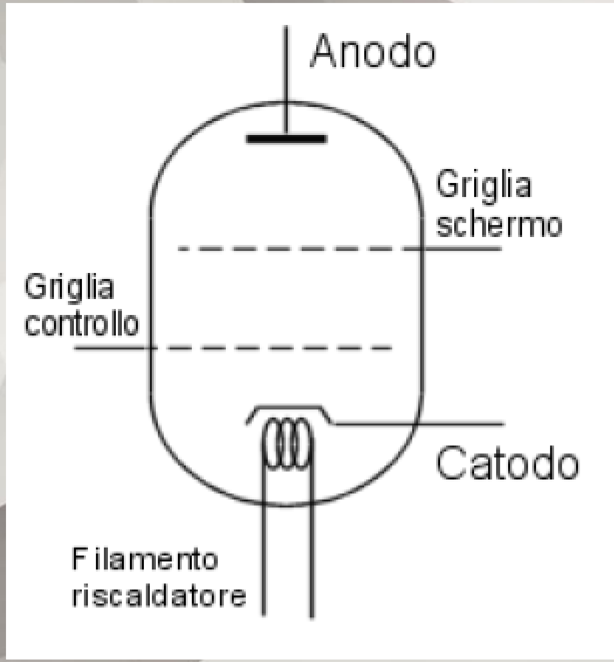
Configuration expérimentale

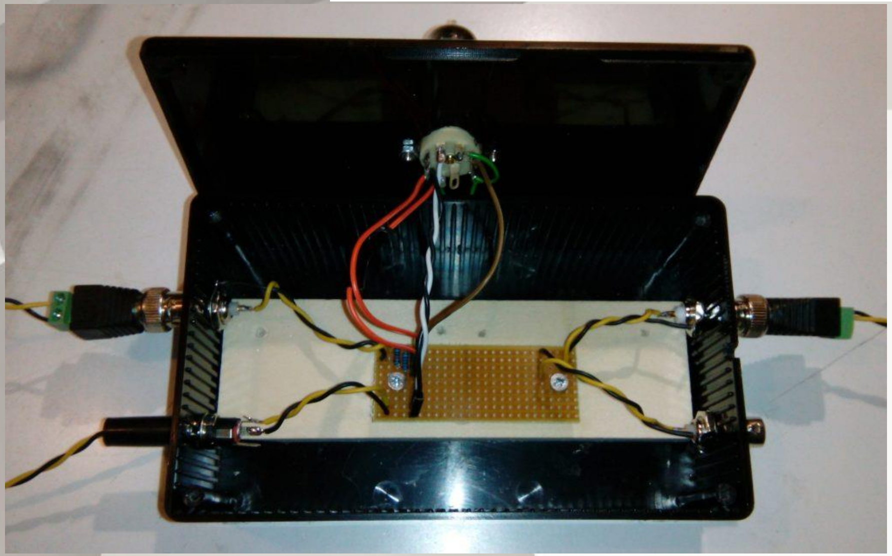
- Emission d'un électron en chauffant un métal à une température suffisamment élevée

- Chambre remplie d'un gaz noble

- Capteur pour mesurer la quantité d'électrons transmis et réfléchis

- L’expérience a eu lieu après la Première Guerre mondiale





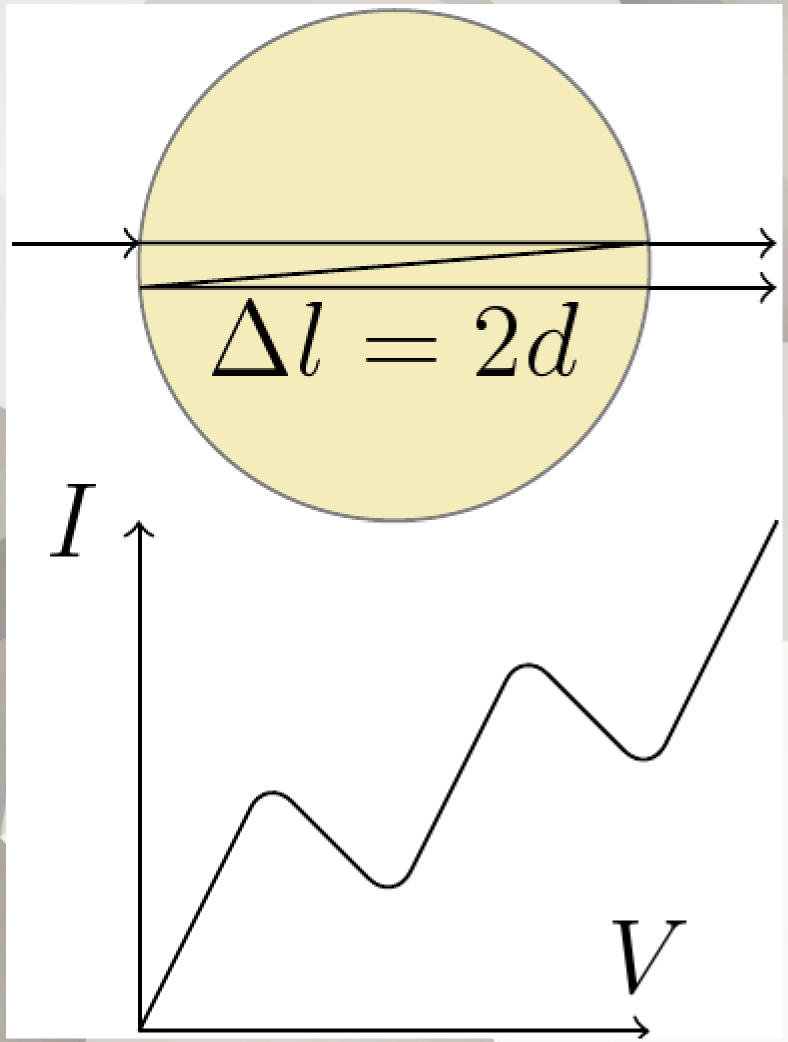
Pourquoi une analyse quantique ?

- Importance de la force électrostatique en déviant les ondes de leurs trajectoires initiales

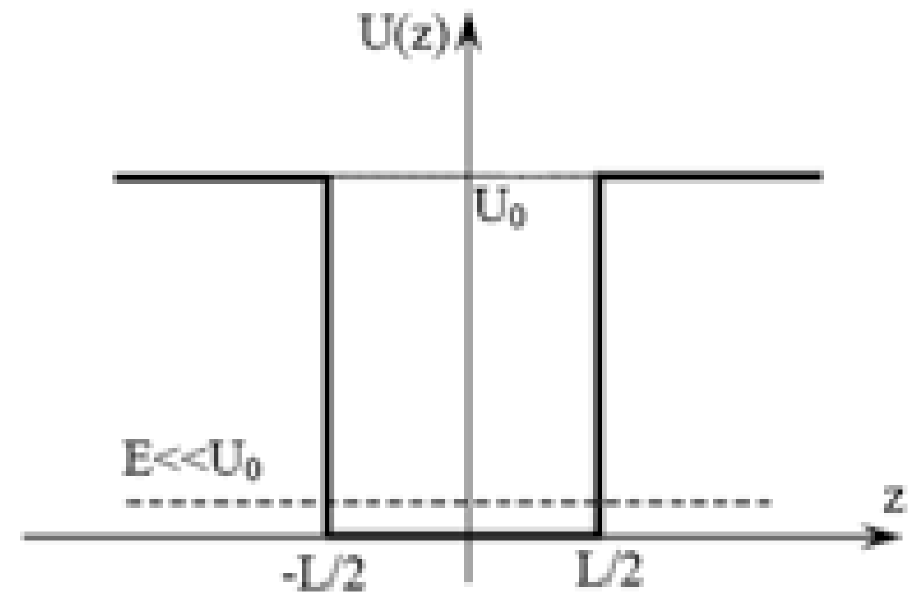
- La masse des particules est très faible

- La taille des particules est sur une très petite échelle

- La réflexion de la particule projetée dans un gaz noble est quasiment nulle pour certaines énergies précises



Etude analytique



$$\phi = \begin{cases} \phi_I(z) & z \in \left]-\infty, -\frac{L}{2}\right] \\ \phi_{II}(z) & z \in \left[-\frac{L}{2}, \frac{L}{2}\right] \\ \phi_{III}(z) & z \in \left[\frac{L}{2}, \infty\right[\end{cases}$$

<u>Le puits de potentiel</u>

- Modèle à une dimension d’espace

- Puits de potentiel de profondeur finie
  - V_0 ($V_0 > 0$)

- Expression du potentiel en fonction de la position :

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

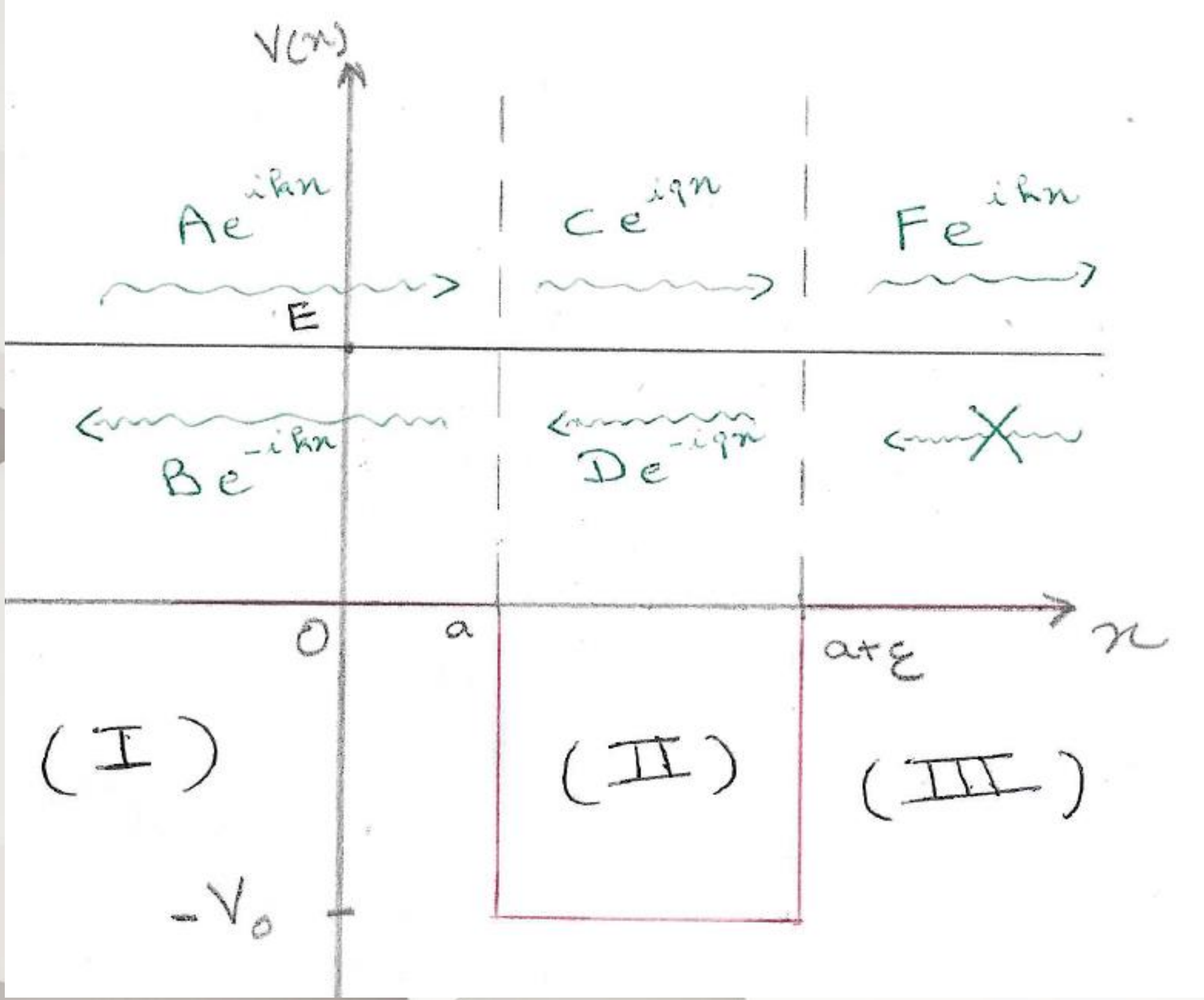


Schéma du puits de potentiel fini

Les régions de l’espace

- Distinction de 3 régions de l’espace :

- **Région I ($x < a$) :** La région dans laquelle se trouve la particule avant de franchir le puits de potentiel. Le potentiel dans cette région est nul

- **Région II ($a < x < a + \varepsilon$) :** La région du puits de potentiel. Le potentiel dans cette région vaut - V_0 ($V_0 > 0$)

- **Région III ($x > a + \varepsilon$) :** La région dans laquelle se trouve la particule après avoir franchi le puits de potentiel. Le potentiel dans cette région est nul

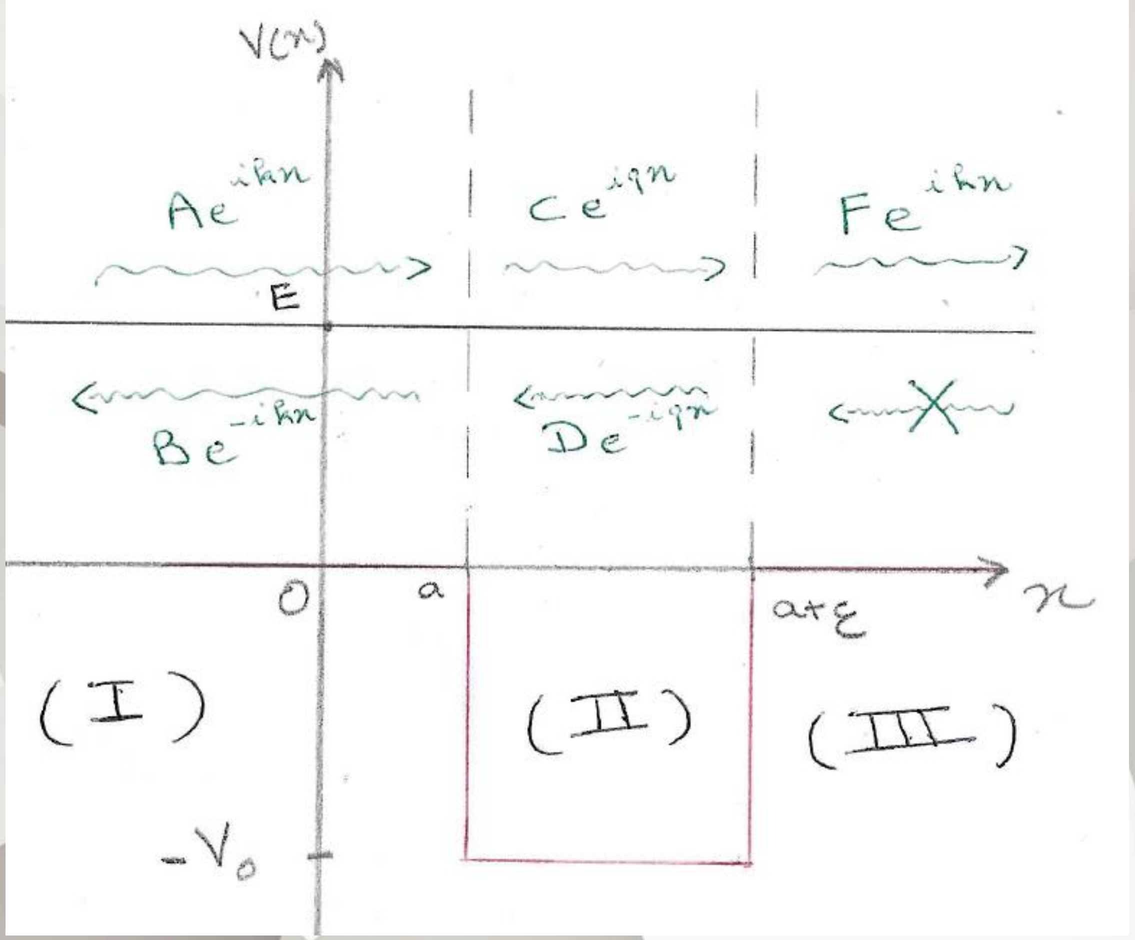


Schéma du puits de potentiel fini

Les états stationnaires

- **Equations de Schrödinger**

Dépendante du temps

$$\mathrm{i}\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)\,\Psi(x,t).$$

Indépendante du temps

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\phi(x)}{dx^2} + V(x)\,\phi(x) = E\,\phi(x).$$

Solutions dans les 3 régions de l'espace

$$\begin{aligned}
&(\mathrm{I}) && \phi_I(x) = A\,e^{\mathrm{i}kx} + B\,e^{-\mathrm{i}kx},\\
&(\mathrm{II}) && \phi_{II}(x) = C\,e^{\mathrm{i}qx} + D\,e^{-\mathrm{i}qx},\\
&(\mathrm{III}) && \phi_{III}(x) = F\,e^{\mathrm{i}kx},
\end{aligned}$$

Avec :

$$k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}$$

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

Expressions de T et R

- Conditions de continuité de la fonction d'onde et de sa dérivée :

$$\begin{cases} \phi_1(a^-) = \phi_2(a^+) \\ \phi_2(a+\epsilon^-) = \phi_3(a+\epsilon^+) \\ \phi_1'(a^-) = \phi_2'(a^+) \\ \phi_2'(a+\epsilon^-) = \phi_3'(a+\epsilon^+) \end{cases}$$

$$\Longleftrightarrow \begin{cases} Au + Bu^{-1} = Cv + Dv^{-1} \\ Cvv' + Dv^{-1}v'^{-1} = Fuu' \\ Au - Bu^{-1} = \frac{q}{k}(Cv - Dv^{-1}) \\ Cvv' - Dv^{-1}v'^{-1} = \frac{k}{q}Fuu' \end{cases}$$

- Avec :

$$\begin{cases} u = e^{ika} \\ u' = e^{ik\epsilon} \\ v = e^{iqa} \\ v' = e^{iq\epsilon} \end{cases}$$

- Coefficient de transmission :

$$T = \left|\frac{F}{A}\right|^2 = \left(1 + \frac{1}{4}\frac{(k^2-q^2)^2}{k^2q^2}\sin^2(q\epsilon)\right)^{-1}$$

Et en remplaçant k et q par leurs expressions on trouve :

$$T = \left(1 + \frac{1}{4}\frac{V_0^2}{E(E+V_0)}\sin^2(q\epsilon)\right)^{-1}$$

- Coefficient de réflexion :

$$R = \left|\frac{B}{A}\right|^2 = 1 - T$$

Analyse de T et R

- Dans le cas où $T \approx 1 \Rightarrow R \approx 0$:

$$T = 1 \iff \sin^2(q\epsilon) = 0 \iff q\epsilon = n\pi$$

$$\iff \frac{\sqrt{2m(E+V_0)}}{\hbar^2} = \frac{n\pi}{\epsilon}$$

$$\iff 2m(E+V_0) = \frac{n^2\pi^2\hbar^4}{\epsilon^2}$$

$$\iff E_n = \frac{n^2\pi^2\hbar^4}{2m\epsilon^2} - V_0$$

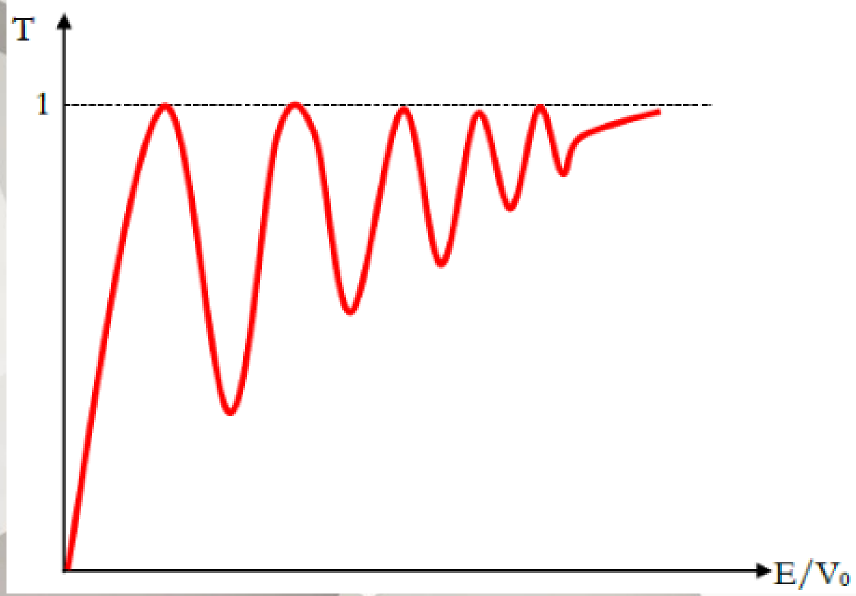
- Quantification de E_n :

$$E_n = \frac{n^2\pi^2\hbar^4}{2m\epsilon^2} - V_0$$

- Quantification de e_n :

$$e_n = \frac{E_n}{V_0} = \frac{n^2\pi^2\hbar^4}{2m\epsilon^2 V_0} - 1$$

- à certaines énergies E_n on peut observer un pic du coefficient de transmission d'une particule tel que $T \approx 1$ *et* $R \approx 0$. Ce phénomène est appelé résonance



Courbe illustrant le coefficient de transmission T en fonction du rapport : $e = E/V0$

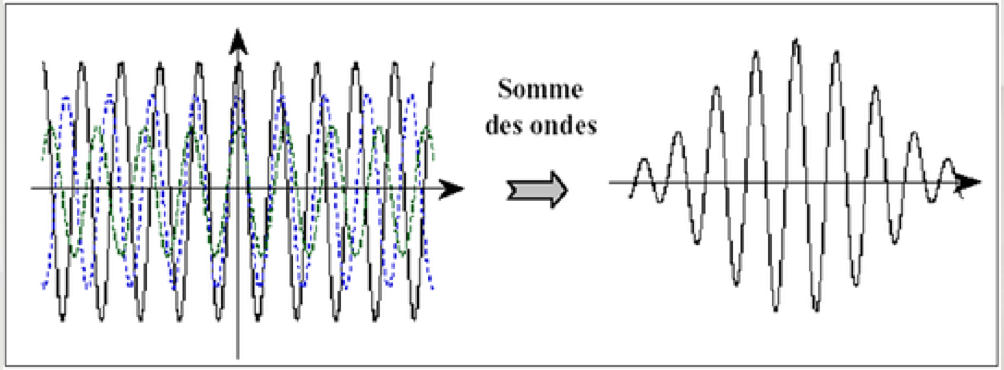
Paquet d’ondes

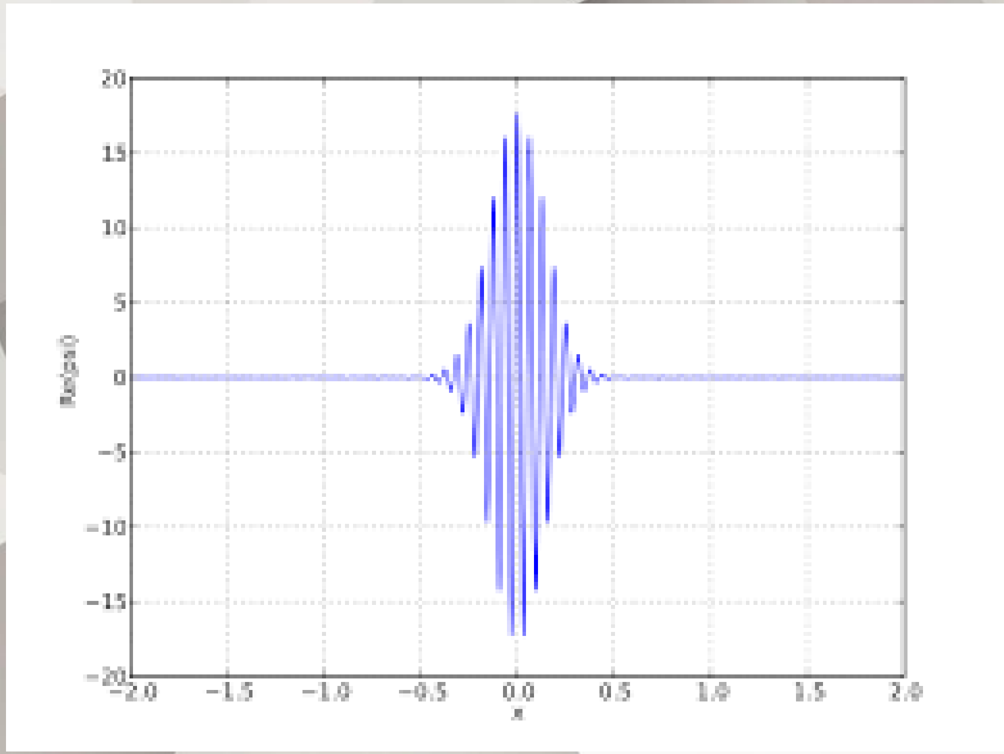
- Propagation d’un paquet d’ondes gaussien qui est une superposition d’ondes de différentes impulsions k centrée autour d’une énergie E_0

- Le coefficient de transmission du paquet d’ondes devient une moyenne pondérée des transmissions de chaque onde

- Même en centrant le paquet d’ondes autour d’une énergie E_0 résonante, $T < 1$

- Un spectre plus large entraîne une diminution des pics de transmission





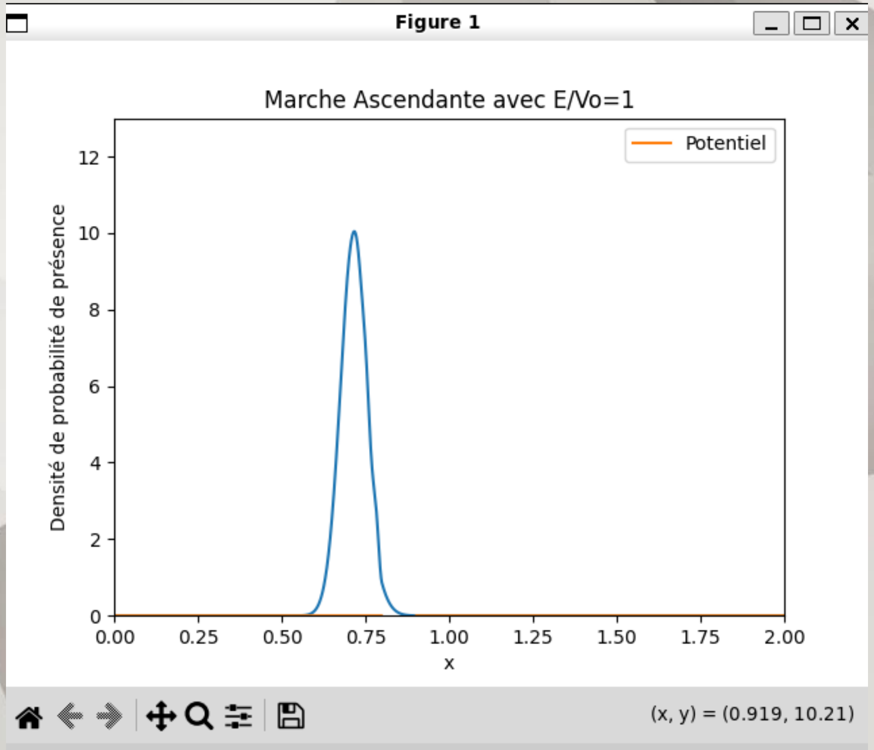
Etude numérique

- Le code en python fourni permet de visualiser la densité de probabilité de présence d'un paquet d'ondes en fonction de la position

- Coefficient de transmission T légèrement différent entre l'étude numérique et analytique

- Le coefficient de transmission du paquet d'ondes est une moyenne pondérée de toutes les transmissions

- Plus la largeur du puits et le potentiel V_0 augmentent, plus T augmente



- Un potentiel plus réaliste est le potentiel gaussien dont l'expression est :

$$V(x) = -V_0 \cdot e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$$

- Avec x_0 la position du centre du puits de potentiel et σ la largeur du puits.

Annexes

- Lien du répertoire GitHub contenant le code python de l'étude numérique : Lien

- Détails des calculs et démonstrations des expressions (T, R, E_n, e_n …) :

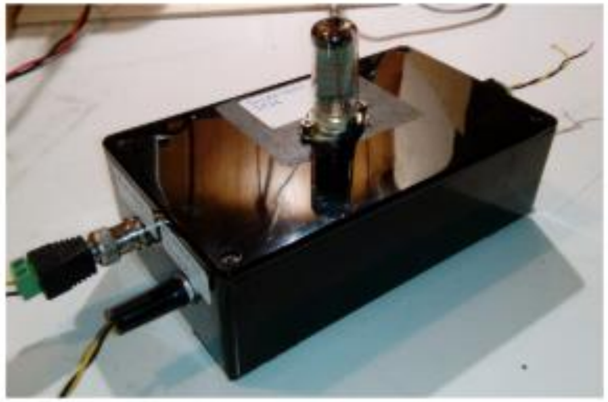
Document Adobe Acrobat

- Rapport du projet numérique :

Document Adobe Acrobat

Juin 2025

Effet Ramsauer-Townsend



Rapport Projet Numérique :

Matière : Physique moderne
Nom du professeur : Madame Emilie Dupont
Sujet : Effet Ramsauer-Townsend
Filière : Pré-Ing 2 \ groupe MI01

Réalisé par le Groupe MI01-1F :

- Enzo Fulgori
- Rayane Mehanni
- Hugo Nkundiyeze

Établissement : CY Tech, avenue du Parc, 95000, Cergy.
Année universitaire : 2024/2025

Bibliographie

- B. Zwiebach, (2016, Avril 26). Quantum Physics I, Lecture Note 17 https://ocw.mit.edu/courses/8-04-quantum-physics-i-spring-2016/79c490b96f77e1374c42d7119a940091_MIT8_04S16_LecNotes17.pdf

- PhysicsOpenLab , (2016, Août 16). Ramsauer-Townsend Effect https://physicsopenlab.org/2016/08/16/ramsauer-townsend-effect/

- Mohamed El Hafidi, (2024, Mars 17). Effet Tunnel et Ramsauer : Comparaison https://youtu.be/5H-SI65kOx0?si=XuRFf1RhFeeaBtzg

Merci pour votre attention