

#### Question 4 : comparatif des prédictions avec les mesures expérimentales

Dans cette dernière étape, notre objectif est de comparer les résultats obtenus avec notre modèle quantique à ceux observés expérimentalement par Ramsauer et Townsend en 1921, puis reproduits dans les années 1970 (cf. figure 1 du sujet). Ce phénomène porte leur nom : effet Ramsauer–Townsend.

##### L'expérience de Ramsauer :

Ramsauer a observé un phénomène étonnant : lorsqu'on envoie un électron sur un atome de gaz noble (comme le xénon ou l'hélium), la probabilité qu'il soit diffusé n'est pas toujours élevée. Au contraire, pour certaines valeurs bien précises de l'énergie de l'électron, il traverse l'atome sans être dévié, comme si celui-ci n'existait pas. Autrement dit, la section efficace de diffusion devient quasi nulle à certaines énergies. Ce phénomène est étrange du point de vue classique, mais parfaitement expliqué par la mécanique quantique.

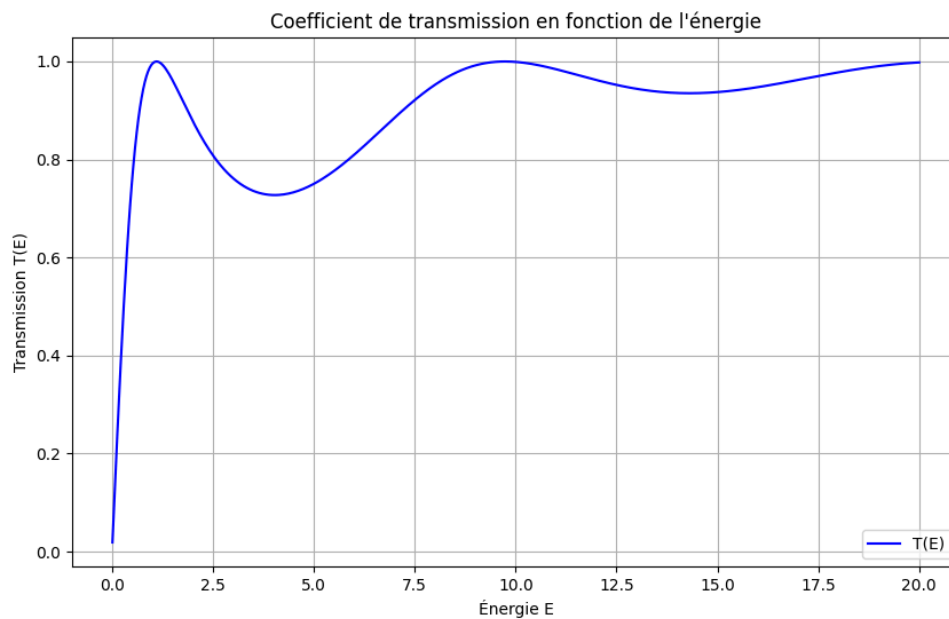
##### Ce que nous avons fait dans le projet :

Dans le cadre du projet, nous avons modélisé l'atome comme un puits de potentiel rectangulaire et étudié la manière dont une particule (un électron) réagit face à ce puits. Nous avons résolu le problème de manière analytique, en appliquant les conditions de continuité aux fonctions d'onde aux bords du puits, puis en calculant le coefficient de transmission  $T(E)$ , c'est-à-dire la probabilité qu'un électron de masse  $m$  et d'énergie  $E$  traverse le puits.

##### Le rôle du graphique de $T(E)$ :

Nous avons ensuite tracé la fonction  $T(E) = |A_3|^2$  en fonction de l'énergie  $E$ . Ce graphique est capital : il nous permet de voir directement les énergies pour lesquelles la transmission est quasi parfaite, c'est-à-dire où l'électron traverse sans être réfléchi.

##### Graphique :



Voici ce que l'on observe sur notre graphique :

- Pour les très faibles énergies ( $E \rightarrow 0$ ), la transmission est faible ( $T(E) \rightarrow 0$ ) : le puits agit comme une barrière difficile à franchir. Ainsi, la particule ne passe presque pas à travers le puits (effet tunnel presque nul).
- Autour de  $E \approx 2$ ,  $T(E)$  atteint presque 1, ce qui signifie transmission parfaite. C'est exactement l'effet Ramsauer-Townsend : la particule traverse l'atome sans être diffusée.
- Ensuite,  $T(E)$  oscille avec des minimums et des maximums, ce qui reflète les interférences quantiques à l'intérieur du puits.
- Quand l'énergie est grande ( $E \gg V_0$ ),  $T(E) \rightarrow 1$  : la particule ne "voit" plus le puits.

Lien avec l'effet Ramsauer :

Les pics de transmission totale dans notre courbe signifient que la section efficace de diffusion (notée  $\sigma(E)$ ) devient nulle :

$$\sigma(E) \propto 1 - T(E)$$

Donc quand  $T(E) = 1$ ,  $\sigma(E) = 0$ , ce qui correspond exactement à ce qu'ont observé Ramsauer et Townsend dans leurs expériences. Autrement dit, il n'y a pas de diffusion, l'électron traverse l'atome sans être dévié. Quand  $T(E) = 0$ ,  $\sigma(E) = 1$ , il y'a diffusion totale.

Comparaison avec le graphique du projet (figure 1) :

Dans le sujet, la figure 1 montre l'évolution expérimentale de la section efficace en fonction de la vitesse des atomes (proportionnelle à l'énergie). On observe clairement un minimum net autour de 200 m/s, ce qui signifie qu'à cette vitesse, l'électron traverse l'atome avec une probabilité maximale de transmission. Notre modèle en 1D donne un résultat très similaire : un minimum de diffusion (ou un maximum de transmission) apparaît pour certaines énergies. Cela signifie que malgré la simplicité du modèle (1D, puits carré), il reproduit qualitativement l'effet Ramsauer, ce qui était justement le but du projet.

### Conclusion :

En étudiant analytiquement le problème de diffusion dans un puits de potentiel, puis en traçant la courbe  $T(E)$ , nous avons mis en évidence des pics de transmission quasi parfait. Ces pics correspondent à des annulations de la section efficace, ce qui explique le comportement expérimental observé par Ramsauer en 1921. Notre modèle simple permet donc de retrouver ce phénomène purement quantique, qui ne peut pas être expliqué par la physique classique.

### Question 5 : Etude du cas où la particule diffusée n'est pas décrite par une onde stationnaire, mais par un paquet d'ondes.

Dans les questions précédentes, on a étudié la diffusion d'une particule à travers un puits de potentiel en utilisant des ondes stationnaires. Cette méthode permet de faire des calculs précis et d'obtenir des résultats analytiques, mais elle ne reflète pas totalement la réalité physique.

En effet, une onde stationnaire, comme celle qu'on utilise avec les fonctions  $\phi$  qu'on a trouvés à la question 3, s'étend sur tout l'espace, ce qui signifie qu'elle n'est jamais vraiment localisée. Or, dans la réalité, une particule (comme un électron) est localisée dans une certaine zone de l'espace à un instant donné. Pour modéliser ça correctement, on utilise un paquet d'ondes : c'est une superposition d'ondes de différentes longueurs d'onde et énergies, ce qui permet de représenter une particule qui se déplace.

C'est ce qu'on a fait numériquement dans la première partie du projet, avec le code Python qui nous a été fourni (en grande partie). On a construit un paquet d'ondes initial, centré autour d'une position et d'une énergie, et on a simulé son évolution dans le temps lorsqu'il rencontre le puits. On a alors observé que le paquet était en partie réfléchi, en partie transmis, ce qui correspond exactement à la physique de la diffusion.

Cela montre que :

- La modélisation avec un paquet d'ondes est plus proche de la réalité,
- Elle permet d'illustrer et de vérifier les résultats trouvés avec les ondes stationnaires (notamment les valeurs de  $T(E)$ ).

En résumé, le passage du modèle analytique (ondes stationnaires) au modèle numérique (paquet d'ondes) permet de relier les calculs théoriques à une situation physique concrète.