

# Projet numérique en physique moderne

## 1 Effet Ramsauer–Townsend

### 1.1 Notion de section efficace

Lorsque deux objets sont lancés l'un contre l'autre, ceux-ci interagissent essentiellement lors du choc. Par exemple, si une boule de billard est lancée contre une boule de Bowling, la trajectoire de la boule de billard sera déviée lors du choc et l'interaction gravitationnelle aura un effet mineur sur ce mouvement. À notre échelle, il y a donc un choc lorsque les surfaces des deux objets se rencontrent. À l'échelle microscopique, une particule peut être déviée par une autre particule se trouvant sur sa trajectoire, mais également en passant à proximité du fait d'interactions entre celles-ci : on dit alors que la première particule a été *diffusée* par la seconde. Dans cette situation, l'interaction gravitationnelle reste négligeable, mais les interactions électromagnétiques ne le sont plus. En effet, un électron envoyé en direction d'un atome donné peut interagir avec le nuage d'électrons de cet atome, voire avec son noyau. À cette échelle, on ne peut pas raisonner en termes de taille de la particule non seulement parce que cette notion n'a pas réellement de sens en physique moderne, mais aussi parce qu'elle ne serait pas suffisante pour décrire la diffusion d'une particule par une autre. La grandeur caractérisant la possible interaction de deux particules est la *section efficace de diffusion* notée  $\sigma$ . En première approximation, on peut interpréter cette grandeur en imaginant une surface virtuelle d'aire  $\sigma$  autour de la particule ciblée. Alors, une particule incidente traversant cette surface sera déviée de manière significative.

### 1.2 Diffusion d'électron dans un gaz noble

En 1921, Carl RAMSAUER et John S. TOWNSEND observèrent que la section efficace de diffusion d'un électron par un atome d'un gaz noble s'annulait pour certaines valeurs de l'énergie de l'électron. Autrement dit, pour certaines valeurs de l'énergie, la probabilité que l'électron soit dévié était nulle.

L'objectif final du projet est de parvenir à expliquer cet effet à l'aide d'un modèle à une dimension d'espace. Le potentiel au voisinage de la particule cible sera modélisé par un puits de potentiel de profondeur finie  $-V_0$ .

### 1.3 Expériences plus récentes

Des expériences similaires [G76] ont été reprises dans les années 1970 en mesurant la section efficace de diffusion d'un atome d'hélium 4 avec un autre. La figure ci-dessous présente un des résultats où l'on observe bien que la section efficace passe par un premier minimum lorsque la vitesse relative des deux atomes augmente. Pour des vitesses relatives supérieures à  $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , les variations de section efficace ne sont pas une manifestation de l'effet Ramsauer–Townsend.

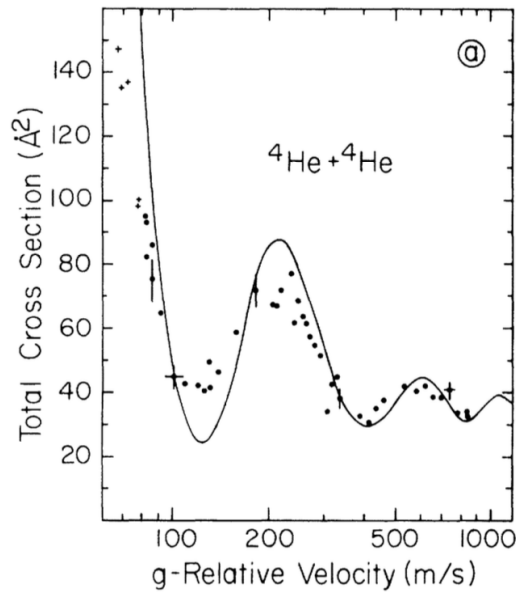


FIGURE 1 – Observation de l’effet Ramsauer–Townsend lors de la collision d’atomes d’hélium 4. Figure issue de [G76].

## 2 Travail à effectuer

### 2.1 Grandes lignes

Le projet est relativement transverse et dans les grandes lignes consiste à

- coder en python algorithme de résolution d’équation différentielle afin d’observer la propagation d’un paquet d’ondes ;
- coder un algorithme permettant de trouver les états stationnaires
- résoudre analytiquement le problème tel qu’il a été modélisé en cherchant les solutions de l’équation de Schrödinger indépendante du temps ;
- comparer les prédictions avec les mesures expérimentales ;
- étudier analytiquement le cas où la particule diffusée n’est pas décrite par une onde stationnaire, mais par un paquet d’ondes ;
- reprendre le travail précédent à l’aide d’un modèle de potentiel plus réaliste.

Les quatre premières étapes peuvent être traitées dans un ordre différent. La dernière étape ne doit être abordée que si le reste du travail a été fait. Des pistes pour la résolution numérique se trouvent par exemple dans [Gri13].

### 3 Organisation

Le travail est à effectuer par groupe de trois élèves qui n'ont pas validé le projet en 2023-24 (redoublant ou non). Les élèves ayant validé le projet durant l'année 2023-2024, peuvent s'ajouter à un groupe de trois élèves puisque ce projet est en complément du cours d'Introduction à la physique moderne. Le travail dans sa globalité peut être réparti entre les différents membres du groupe, mais l'ensemble du groupe doit pouvoir expliquer l'ensemble du travail.

Les groupes sont à former sur Moodle au plus tard le vendredi 11 avril à midi.

Les modalités d'évaluation seront communiquées prochainement.

### Références

- [G76] Robert S. GRACE et al. "Ramsauer-Townsend effect in the total cross section of  $^4\text{He} + ^4\text{He}$  and  $^3\text{He} + ^3\text{He}$ ". In : *Phys. Rev. A* 14 (3 sept. 1976), p. 1006-1008. DOI : [10.1103/PhysRevA.14.1006](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.14.1006). URL : <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevA.14.1006>.
- [Gri13] Jean-Paul GRIVET. *Méthodes numériques appliquées pour les sciences et l'ingénieur*. EDP Sciences, 2013.