Interféromètre

Département de Physique, Université de Fribourg

Romain De Groote, Albin Ukaj

17 octobre 2025

1 Introduction

En physique quantique, les particules élémentaires, telles que les photons et les électrons, présentent des propriétés à la fois d'ondes et de particules. Cette dualité onde-particule est le cœur de la mécanique quantique. Un moyen efficace d'illustrer cette dualité est l'utilisation d'un interféromètre qui permet d'observer les interférences des ondes associées au particules, comme dans l'expérience des *double-slit* de Young-Feynman [1]. Bien que ces derniers n'avaient pas utilisé un interféromètre de Michelson, le principe physique derrière reste le même.

2 But de l'expérience

L'objectif principal de cette expérience est de comprendre et d'observer les phénomènes d'interférences au travers des interférences lumineuses en utilisant un interféromètre de Michelson. Plus précisément, le but est de déterminer la longueur d'onde λ d'un laser vert et d'estimer l'incertitude de cette mesure. Ensuite, l'indice de réfraction de l'air n_{air} sera déterminé. Mais encore, l'effet de la variation de pression du milieu dans lequel se déplace la lumière sur l'indice de réfraction n sera étudié et sera faite vérification afin de voir si cette relation est linéaire. Enfin, l'indice de réfraction de l'air sera déterminé dans les conditions ambiantes du laboratoire.

3 Contexte théorique

Un interféromètre de Michelson est un appareil de mesure qui permet de mettre en valeur l'interférence des faisceau lumineux [2]. Le principe est basé sur la division d'un faisceau lumineux en deux faisceaux parcourent des chemins optiques différents. La différence de chemin optique Δ entre les deux faisceaux est donnée par :

$$\Delta = 2(d_2 - d_1)\text{m} \tag{3.1}$$

où d_1 et d_2 sont les distances parcourues par les deux faisceaux avant de se recombiner.

Pour un schéma complet de l'interféromètre, voir la figure 4.1.

3.1 Détermination de la longueur d'onde

Afin de déterminer la longueur d'onde λ de la lumière émise par le laser, le miroir M_1 est déplacé à l'aide d'une vis micrométrique. Il est alors possible d'observer un déplacement horizontal des franges d'interférence sur l'écran. Un déplacement ΔL_1 du miroir M_1 modifie le déphasage. La longueur d'onde λ_0 de la lumière

$$\lambda_0 = 2n_{\text{air}}\Delta L_1 \approx 2\Delta L_1 \mu\text{m} \tag{3.2}$$

où $n_{\text{air}} \approx 1$ est l'indice de réfraction de l'air [3]. Ainsi, en mesurant le déplacement ΔL_1 du miroir M_1 et en comptant le nombre N de franges qui passent par un point fixe de l'écran, il est possible de

1. Voir [Poz19]
2. Voir 4.1
3. Approximation possible car $n_{\text{air}} = 1.000272$, voir [WF16]

déterminer λ_0 de la lumière émise par le laser, or comme le déplacemement d'une frange est de l'ordre du quart de micromètre, un déplacement de 100 franges sera effectu. Le déplacement total est noté ΔL_1^{100} :

$$\lambda_0 \pm \delta\lambda_0 = \frac{2\Delta L_1^{100}}{100} \pm \lambda_0 \frac{\delta \Delta L_1}{\Delta L_1} \tag{3.3}$$

Afin d'affiner les résultats, cette mesure sera répétée plusieurs fois.

3.2 Détermination de l'indice de réfraction de l'air

Afin de déterminer l'indice de réfraction n_{air} de l'air, une cellule en verre est placée dans un des bras de l'interféromètre reliée à une pompe à vide. Ce changement de milieu engendre un déplacement des franges d'interféromètre, indiquant qu'un changement de phase a eu lieu. Cela révèle que la pression du milieu influe l'indice de réfraction n du milieu. Grâce à de pression $\Delta p^{1,\text{frange}}$ qui déplace le système de franges d'une période, l'indice de réfraction n_{air} est alors déterminé d'après la relation :

$$n_{\text{air}}(p_0, T_0) = 1 + \frac{\lambda_0}{2L_c}\frac{T}{T_0}\frac{p_0}{\Delta p^{1,\text{frange}}} \tag{3.4}$$

où $L_c = 0.03\,\text{m}$ est la longueur de la cellule, p_0 en bar est la pression atmosphérique dans le laboratoire, $T_0 = 293.15\,\text{K}$ est la température de référence, T en kelvin. Il devient donc évident que

$$n_{\text{air}} - 1 \propto p_0 \tag{3.5}$$

Enfin, il reste à déterminer l'indice de réfraction de l'air $n_{\text{air}}(p_0, T_0) - 1$. Pour ce faire, il suffit de commencer par calculer $\Delta p^{1,\text{frange}}$ grâce à la relation :

$$\Delta p^{1,\text{frange}} = \frac{p_{\text{finale}} - p_{\text{initiale}}}{N_f} \tag{3.6}$$

où p_{finale} est la pression finale dans la cellule, p_{initiale} la pression initiale dans la cellule et N_f le nombre de franges qui ont bougé entre les deux mesures. Cette valeur est utilisée pour déterminer $n_{\text{air}}(p_0, T_0)$ grâce à la relation 3.4.

3.3 Relation entre l'indice de réfraction et la pression

Afin d'étudier la relation de proportionnalité entre $n_{\text{air}} - 1$ et $p_{initial}$, de l'air est introduit petit à petit dans la cellule, la pression p_{final} dans la cellule et le nombre de franges N qui ont bougé depuis le vide sont relevés à chaque fois. Il faut ensuite déterminer la variation de pression $\Delta p_{final}(N_f) = p_{final} - p_{initial}$. L'expérience est répétée pour différents déphasages N_f. Il est alors possible de tracer le graphe de $\Delta p(N_f)$ en fonction de N_f et vérifier si $n_{\text{air}} - 1$ est bel et bien proportionnel à la pression.

4 Déroulement de l'expérience

Le déroulement de l'expérience commence par la mise en place du matériel. Un interféromètre de Michelson [4] est installé sur une table optique. Un laser vert est utilisé comme source de lumière.

4. Pour un schéma précis, voir figure 4.1

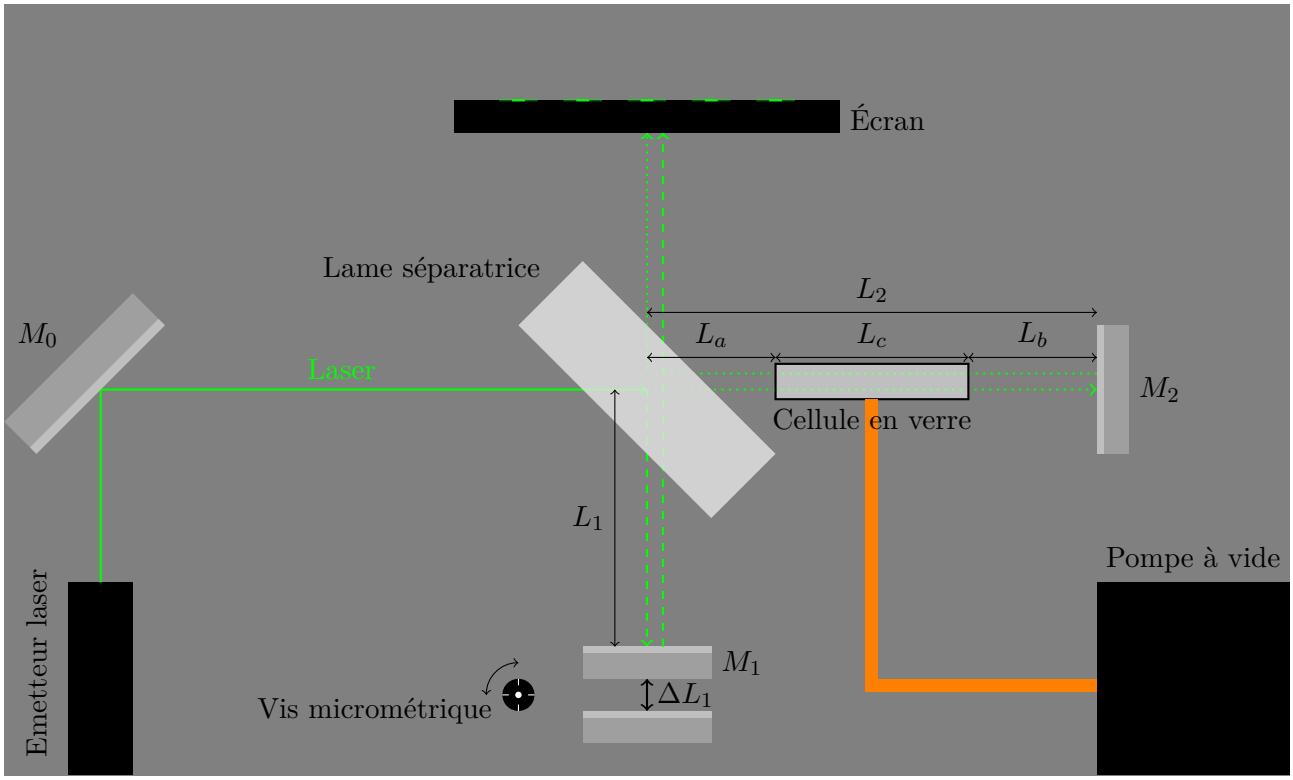


FIGURE 4.1 – Schéma d'un interféromètre de Michelson.

L'interferomètre de Michelson est composé d'une source laser, d'une lame séparatrice, de trois miroirs M_0, M_1, M_2, d'une cellule en verre reliée à une pompe à vide et d'un écran pour observer les interférences. Le miroir M_0 est optionnel et ne sert qu'à réfléchir le faisceau laser vers la lame séparatrice. L'émetteur laser envoie un faisceau lumineux vers la lame séparatrice qui divise le faisceau en deux parties. Chaque faisceau est réfléchi par un miroir (M_1 ou M_2) et recombiné à la lame séparatrice avant d'atteindre l'écran où les interférences sont observées. La cellule en verre est placée dans le bras du miroir M_2 et reliée à une pompe à vide pour permettre la variation de la pression de l'air dans la cellule. Le miroir M_1 est monté sur une vis micrométrique permettant de le déplacer avec précision, ce qui modifie la différence de chemin optique entre les deux bras de l'interféromètre.

4.1 Mesure de la longueur d'onde

Afin de déterminer la longueur d'onde λ_0 du laser, le miroir M_1 est déplacé à l'aide de la vis micrométrique, de ce fait un déplacement ΔL_1 du miroir vient changer le déphasage horizontal. Comme il est difficile de mesurer un déplacement d'une frange, un déplacement de 100 franges est effectué et le déplacement total ΔL_1^{100} est pris en note. Le nombre N de franges passant par un point fixe de l'écran lors du déplacement est également noté. Pour une plus grande précision, cette mesure est répétée 5 fois pour obtenir une moyenne et réduire les erreurs expérimentales.

4.2 Détermination de l'indice de réfraction de l'air

Afin de déterminer l'indice de réfraction n_{air} de l'air, la pression dans la cellule en verre disposé le long du bras du miroir 2 est variée grâce à la pompe à vide. Ces changements de pression engendrent un déplacemement horizontal des franges d'interférences. L'interféromètre est initialement réglé afin d'avoir un système de 4 à 5 franges visibles sur l'écran. Il est alors possible de déterminer $n_{\text{air}(p_0,T_0)}$ avec $p_0 \approx 10^5$ Pa et $T_0 \approx 20°\text{C}$ [5]

4.3 Relation entre l'indice de réfraction et la pression

Afin de mettre en évidence la dépendance linéaire entre $n_{\text{air}} - 1$ et p, un vide initial est fait dans la cellule en verre, la pression initiale p_{initiale} est prise en note. Une faible quantité d'air est ensuite introduite dans la cellule afin que la dernière frange se retrouve centré sur le trait. La nouvelle pression p_{final} est prise en note, puis l'expérience est recommencée 4 fois, pour des déplacement de $N_f = 5, 10, 15, 20$ et 25. Il est important de noter que pour chaque mesure, il faut retourner à la pression p_{initiale} avant de faire rentrer de l'air. Il suffit ensuite de représenter graphiquement $\langle \Delta p(N_f) \rangle$ en fonction de N_f et vérifier si la relation est bien linéaire.

4.4 Détermination de $n_{\text{air}}(p_0, T_0) - 1$

Enfin, pour déterminer l'indice de réfraction de l'air $n_{\text{air}}(p_0, T_0) - 1$, un vide initial est fait dans la cellule en verre, il suffit ensuite de défiler un grand nombre entier de franges N_f jusqu'à ce que la cellule soit presque à la pression atmosphérique. La pression finale est notée et $\Delta p^{1,\text{frange}}$ est calculée grâce à la relation 3.6. Comme la longueur de la cellule de verre est connue et qu'elle vaut L_c, il ne reste plus qu'à mesurer la température T de l'air ambiant. En répétant l'expérience 6 fois, un résultat plus précis est obtenu, il est ensuite utilisé pour déterminer $n_{\text{air}}(p_0, T_0)$ grâce à la relation 3.4.

5 Résultats

5.1 Mesure de la longueur d'onde

En prennant la moyenne des λ_0 obtenue, on trouve :

$$\overline{\lambda_0} \pm \overline{\delta\lambda_0} = (540.40 \pm 19.81) \cdot 10^{-3} \mu\text{m} \tag{5.1}$$

5.2 Détermination de $n_{\text{air}}(p_0, T_0) - 1$

On détermine la moyenne de $\Delta p^{1,\text{frange}}$, on trouve :

$$\overline{\Delta p^{1,\text{frange}}} = (32.8558 \pm 0.2121)\,\text{mbar} \tag{5.2}$$

5. Comme le résultat ne dépend pas du nombre de franges projetées mais uniquement du déphasasge, il sera possible de changer ce nombre ultérieurement.

On détermine ensuite $n_{\text{air}}(p_0, T_0)$, on trouve :

$$(n_{\text{air}} - 1) \pm \delta(n_{\text{air}} - 1) = (0.000\,55 \pm 0.000\,18) \tag{5.3}$$

6 Discussion

On constate que la longueur d'onde qu'on a mesuré de 540.4 nm est cohérente avec le spectre de la lumière verte qui se trouve entre 500 et 565 nm [6]. Concernant la relation affine entre n_{air} et p_0, on constate graphiquement que cela semble être le cas [7]. Enfin, concernant l'indice de réfraction $n_{\text{air}} - 1$, on constate que notre valeur de 0.00055 ± 0.00018 est donc cohérente avec la valeur de 0.000272 trouvée dans la littérature [8].

7 Conclusion

En conclusion, on peut dire que l'expérience a été concluente. On a pu mesurer assez précisement la longueur d'onde d'un laser vert. De plus, on a pu étudier et mettre en évidence différentes causes pouvant modifier un indice de réfraction comme la pression. On a également vu comment créer de l'interférance et utiliser un interféromètre. Les objectifs de l'expérience ont donc été atteints.

Références

[Poz19] Amir H. Tavabi ; Chris B. Boothroyd ; Emrah Yücelen ; Stefano Frabboni ; Gian Carlo Gazzadi ; Rafal E. Dunin-Borkowski ; Giulio Pozzi. The young-feynman controlled double-slit electron interference experiment, 2019. Accessed : 2025-10-08.

[WF16] Inc. Wikimedia Foundation. Liste d'indices de réfraction, 2016. Accessed : 2025-10-08.

[WF25] Inc. Wikimedia Foundation. Visible spectrum, 2025. Accessed : 2025-10-08.

8 Annexes

- Feuille de données
- Graphique 1 : $\Delta p(N_f)$ en fonction de N_f

6. Voir [WF25]
7. Voir le graphique en annexe
8. Voir [WF16]