

INTERFÉRENCE DE LA LUMIÈRE

1 Remarque importante concernant la sécurité

N'utilisez *jamais* le collimateur et le télescope pour déplacer le spectromètre, ceci désalignerait l'appareil! Sécurité

De plus, n'ajustez pas le spectromètre avant d'avoir lu tout le protocole de l'expérience.

2 Introduction

Cette expérience¹ démontre la nature ondulatoire de la lumière en présentant l'interférence des ondes lumineuses de plusieurs sources semblables. La première partie de cette expérience est une version de l'expérience des deux fentes de Young effectuée en 1801. Elle a été utilisée pour établir la théorie ondulatoire de la lumière. La deuxième partie illustre comment un réseau à diffraction peut être utilisé pour analyser un spectre de lumière. Partie I
Partie II

3 Théorie

3.1 Partie I. Interférence de Young produite par deux fentes

L'interférence de Young peut être produite en illuminant deux fentes S_1 et S_2 avec une lumière cohérente, tel qu'illustré à la Figure 1 (a). Ces fentes sont suffisamment minces pour se comporter comme des sources ponctuelles qui produisent des ondes sphériques. La superposition de ces ondes produit des régions d'intensité lumineuse maximale (interférence constructive) et des régions d'intensité minimale (interférence destructive). Si un écran est placé à une certaine distance L de la fente double, un patron d'interférence y est observé, comme illustré à la Figure 1(b). Ce patron consiste en une alternance de franges sombres et brillantes.

¹Adapté de "Experiment 9 - Interference of Light, Physics Laboratory Manual- Phys 124/126, Department of Physics, University of Alberta.

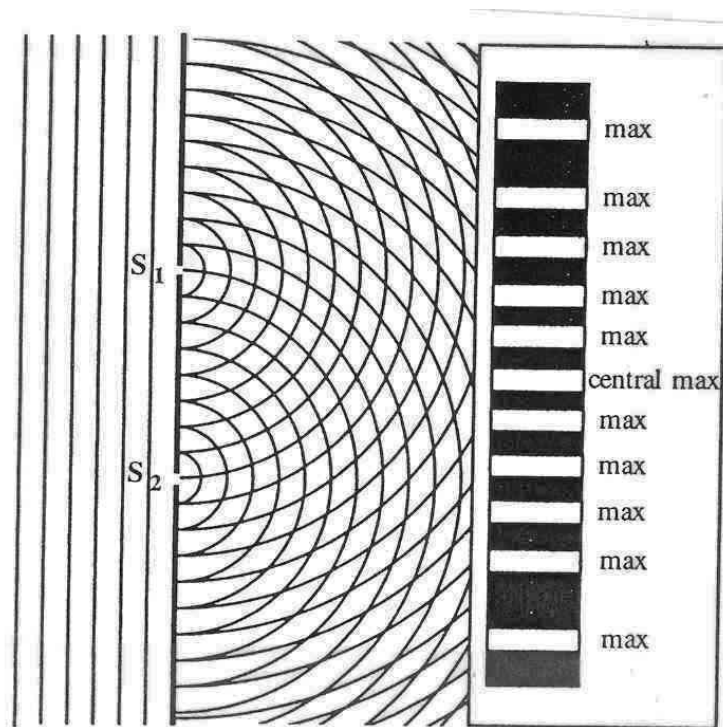


Figure 1: (a) Interférence des ondes (b) Franges sur l'écran

La position des franges brillantes et sombres peut être calculée en utilisant la différence de marche $\Delta r \equiv r_2 - r_1$ des rayons de chacune des deux fentes par rapport à l'écran. En vous référant à la géométrie de la Figure 2, la différence de marche Δr entre les rayons r_2 et r_1 est

$$\Delta r = r_2 - r_1 \simeq d \sin \theta, \quad \text{avec } d \ll L, \quad (1)$$

où d est la distance entre le centre de chaque fente, θ est l'angle des rayons par rapport à l'axe central (maximum central) et L est la distance entre la fente double et l'écran.

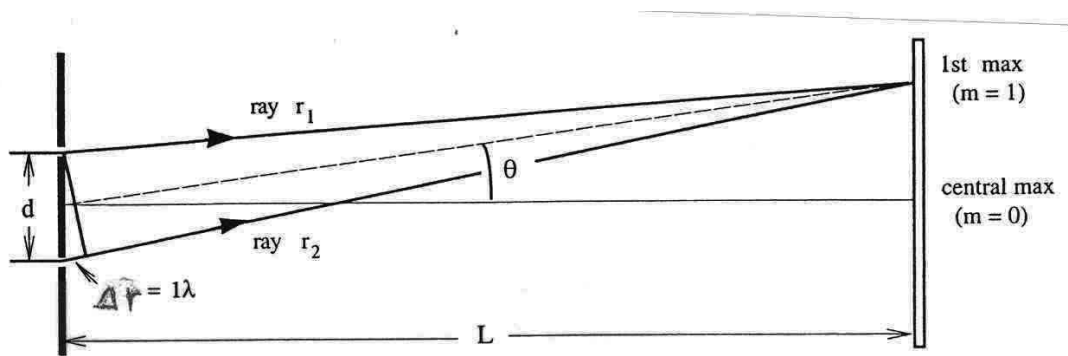


Figure 2: Différence de marche entre deux rayons.

Une frange brillante se produit sur l'écran si les ondes qui arrivent à cet endroit sont parfaitement en phase et produisent en ce point une interférence constructive. Une telle condition est satisfaite lorsque la différence de marche Δr constitue un nombre entier de la longueur d'onde ($0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda$, etc.) donnée par:

$$\text{[franges brillantes]} \quad \Delta r = m\lambda = d \sin \theta, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

où m est l'ordre de la frange et λ est la longueur d'onde de la lumière. Le maximum de l'ordre 0 ($m = 0$) ou maxima central est la frange brillante centrale où $\Delta r = 0$, et en conséquence $\theta = 0$. Les deux maxima du premier ordre ($m = 1$) sont situés aux franges brillantes de chaque côté du maximum central, et ainsi de suite pour les ordres plus élevés ($m = 2, 3$, etc.).

À certains endroits sur l'écran, les ondes s'annulent complètement et donnent l'obscurité à ces points. Les franges sombres se produisent lorsque la différence de marche Δr est de $\lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2$, etc. et est donnée par

$$\text{[franges sombres]} \quad \Delta r = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = d \sin \theta, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

3.2 Partie II. Réseau de diffraction

Un réseau de diffraction consiste en un grand nombre de fentes parallèles également espacées. Lorsque la lumière monochromatique plane à incidence normale arrive sur le réseau de diffraction, chaque fente agit comme une source d'ondes diffractées qui interfèrent mutuellement. Une frange centrale brillante et des franges de plus grands ordres peuvent être observées lorsque la lumière diffractée arrive sur un écran éloigné comme à la Figure 3.

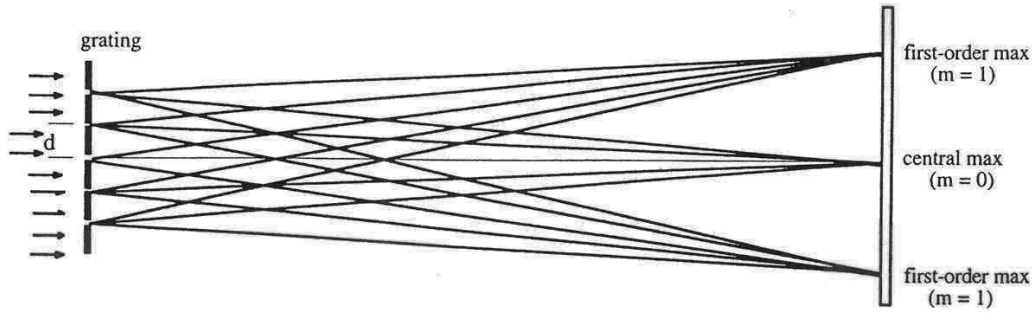


Figure 3: Les maxima central et du premier ordre (franges brillantes) formés en utilisant un réseau de diffraction

Les franges brillantes sont formées lorsque la différence de marche Δr de *toutes les fentes* se superposent de manière constructive. Dans ce cas, la différence de marche Δr est la même que celle de l'interférence de deux fentes. Les franges brillantes sont observées aux positions données par

$$[\text{maxima}] \quad m\lambda = d \sin \theta, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

où λ est la longueur d'onde, m est l'ordre de diffraction, d est la distance entre les fentes (aussi nommé *pas du réseau*) et θ est l'angle par rapport au maximum central ($m = 0$). Si la source de la lumière incidente est constituée de plusieurs fréquences, alors chaque longueur d'onde produira un maximum brillant (raie ou ligne du spectre) à différent angle, et ce à chacun des ordres $m \neq 0$. Le schéma d'un spectre visible inconnu est illustré à la Figure 4.

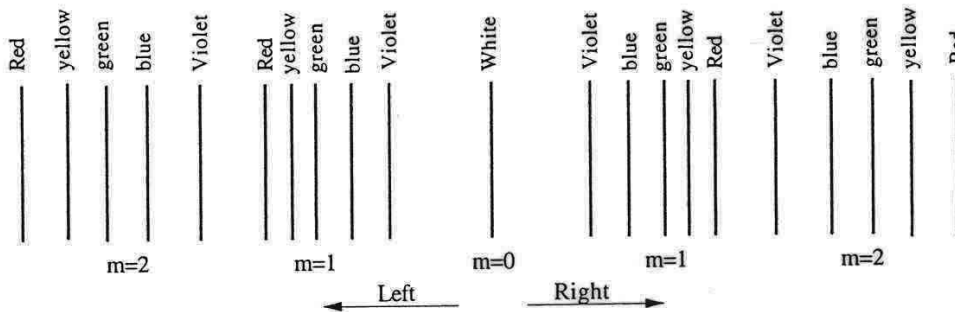


Figure 4: Représentation de trois ordres successifs d'un spectre inconnu

3.3 Spectromètre

Les franges produites par un réseau de diffraction sont généralement observées à l'aide d'un spectromètre, tel qu'illustré à la Figure 5. Le collimateur sert à produire une lumière plane

dont les rayons parallèles sont dirigés vers le réseau. Le télescope fait la mise au point des ondes émergentes de la lumière sur le plan focal de l'oculaire du télescope. La frange observée est alors centrée dans l'oculaire. Pour ce faire, deux lignes droites et minces en forme de croix gravées dans l'oculaire sont utilisées. La position de la frange centrée est mesurée en utilisant une échelle angulaire située sur le contour de la table du spectromètre.

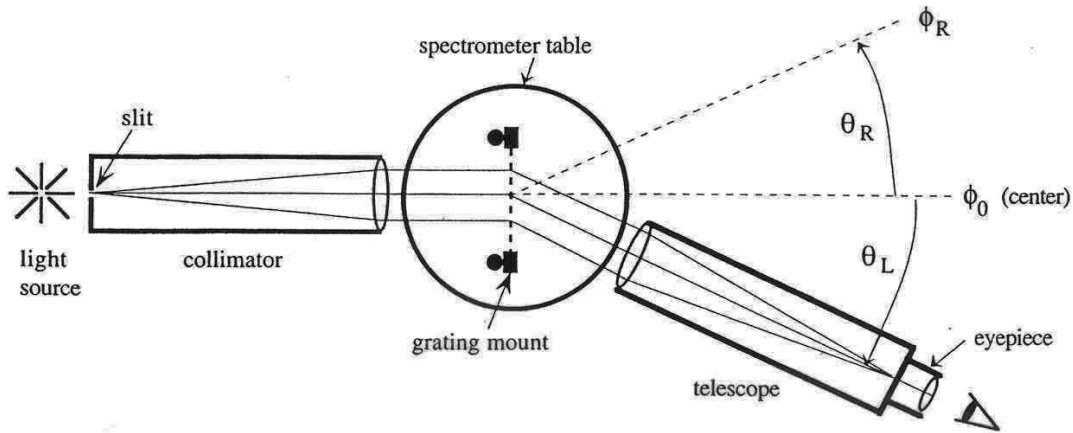


Figure 5: Mesure des angles à l'aide d'un spectromètre

4 Manipulations

4.1 Partie I. Interférence de Young

Attention! Ne regardez jamais directement le faisceau de la lumière du laser, ceci pourrait endommager votre vue. Sécurité

Il y a seulement un montage dans le laboratoire. Alors chaque groupe d'étudiants fera ses observations à tour de rôle.

Le montage expérimentale contient un laser, une fente double et un écran, illustrés à la Figure 2. Le laser émet une lumière monochromatique. La longueur d'onde λ est spécifiée sur l'appareil ($\lambda_{\text{HeNe}} = 632.8 \text{ nm}$). Ajustez l'écran à une distance connue de la fente double L . Examinez et dessinez le patron produit sur l'écran. Identifiez la frange brillante centrale (maximum central) où $m = 0$ et les franges des ordres $m = 1, 2, 3$, etc. Puisque l'angle est petit dans ce montage, nous pouvons utiliser l'approximation suivante:

$$\frac{y}{L} = \tan \theta \cong \sin \theta \quad (5)$$

où y est la distance entre le maximum brillant central ($m = 0$) et le m ième maximum (voir

la Figure 6). En substituant dans l'équation (2), on obtient

$$m\lambda = d \left(\frac{y_m}{L} \right). \quad (6)$$

qui implique que, pour des petits angles, les franges sont uniformément espacées.

Mesurez la séparation y_m entre le plus grand nombre de maxima que vous pouvez compter et voir clairement de chaque côté du centre $m = 0$. En utilisant l'équation (6), déterminez la séparation des deux fentes $d \pm \Delta d$. (Note: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).



Figure 6: Interférence d'une fente double

4.2 Partie II. Réseau de diffraction

***** Allumez la lampe d'hélium ou de mercure. *****

ATTENTION! Ne soulevez *jamais* le spectromètre en le tenant par le collimateur et le télescope, ceci désalignerait l'appareil! Sécurité

Ajustement du spectromètre Une mise au point du spectromètre devrait être faite pour la lumière plane. Après cet ajustement, *aucun changement* ne devrait être nécessaire. Au besoin, demandez de l'aide de votre instructeur.

Il est important d'ajuster votre spectromètre pour que de la lumière plane soit obtenue. Si vous portez normalement des lunettes à prescription, portez-les lorsque vous faites ce réglage.

1. Familiarisez-vous avec le fonctionnement du spectromètre (voir Figure 7). Identifiez

- le *télescope*, sa vis de mise au point, son anneau d'ajustement des deux lignes internes en forme de croix, la vis micrométrique pour son déplacement et la vis de blocage du télescope,
- le *collimateur*, sa vis de mise au point et la vis d'ajustement de l'ouverture de la fente,
- le *support* du réseau de diffraction sur le plateau rotatif,
- la *table rotative*, l'échelle principale des angles de la table et son vernier, la vis micrométrique pour son déplacement et la vis de blocage de la table. Apprenez

à lire les angles, au 0.1° près, lorsque la ligne du vernier coïncide avec la ligne de l'échelle principale.

- Assurez-vous que le télescope soit à sa position la plus courte. Afin de faire la mise au point pour la lumière plane, regardez un objet éloigné à travers la fenêtre du laboratoire et obtenez une image claire en ajustant la longueur du télescope. De plus, assurez-vous qu'il n'y ait pas de mouvement relatif entre l'image de l'objet et celle de la croix lorsque vous déplacez votre tête de gauche à droite. Ce mouvement relatif est dû à la parallaxe. Remarque: Une fois que le télescope a été réglé pour la lumière plane, il ne devrait pas être ajusté de nouveau durant l'expérience.
- Placez la lampe à l'hélium près de la fente du collimateur. Faites la mise au point du collimateur (et non celle du télescope!) afin de voir une image claire de la fente dans le télescope.
- La précision est limitée par la résolution du spectromètre (0.1°) et la largeur de la fente du collimateur. Une fente étroite est nécessaire pour des mesures précises; par contre, elle peut donner une image trop pâle. Si ceci se produit, la fente peut premièrement être élargie un peu, et puis rétrécit (à environ $\frac{1}{2}$ mm) avant la lecture finale de l'angle.

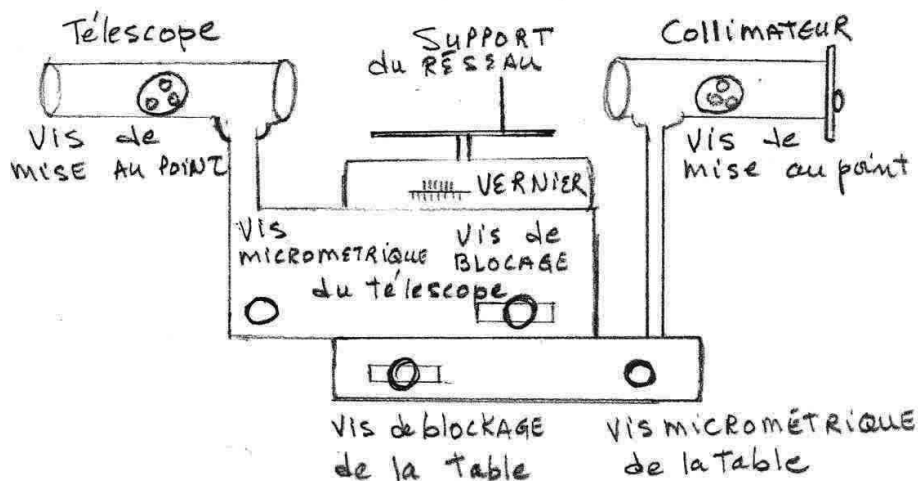


Figure 7: Vue latérale d'un spectromètre

Si ce n'est pas déjà fait, placez la lampe d'hélium ou de mercure à l'entrée de la fente du collimateur. Alignez la lampe, le collimateur et le télescope de façon à former une *ligne droite* lorsque vous regardez une image de la fente dans le télescope. Installez délicatement

le réseau de diffraction sur son support de manière à ce qu'il soit perpendiculaire à la ligne droite formée avec le montage lampe-collimateur-télescope. Ensuite, serrez la vis de blocage de la table afin que la table du spectromètre ne puisse plus être bougée. Par contre, la vis de blocage du télescope doit être dévissée pour permettre de bouger horizontalement (de gauche à droite ou de droite à gauche) le télescope.

Pour voir le spectre de diffraction du premier ordre, tournez le télescope vers la droite (ou vers la gauche) jusqu'à ce que les lignes ou raies du premier ordre soient visibles. Selon le réseau de diffraction, la rotation sera de 15 à 20 degrés à partir de la ligne centrale ($m = 0$). Si les lignes spectrales sont trop pâles, ajustez premièrement la position de la lampe et ensuite élargissez un peu la fente en utilisant la vis située à l'extrémité du collimateur.

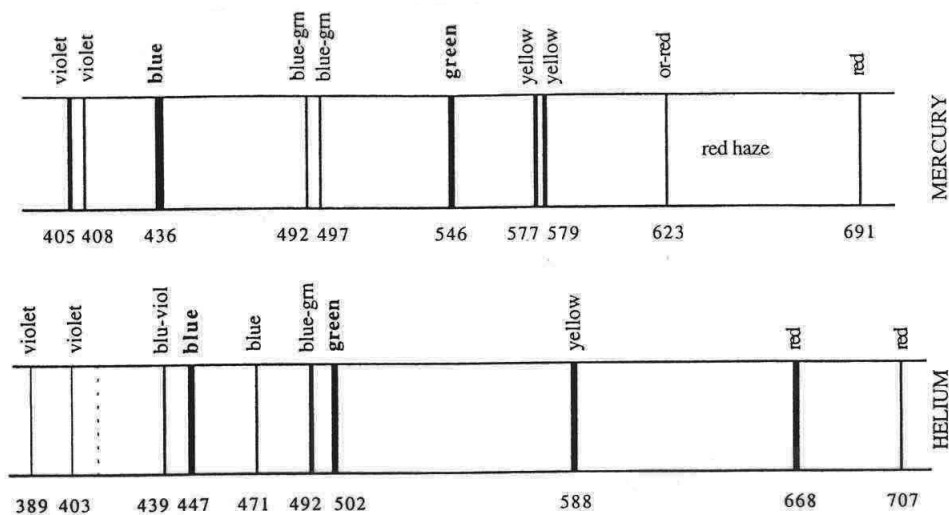


Figure 8: Spectres de l'hélium et du mercure qui montrent les principales lignes, l'intensité relative et les longueurs d'onde en nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)

1. Positionnez le télescope de façon à voir le maximum central ($m = 0$) au centre du télescope. Tournez l'oculaire du télescope jusqu'à ce qu'une des lignes minces de la croix soit parallèle à la fente. Centrez cette ligne sur le maximum central. Notez la position de la raie de diffraction de l'ordre zéro ϕ_0 ($m = 0$).
2. Identifiez le plus grand nombre possible des lignes spectrales du premier ordre (voir Figure 7). Centrez la ligne de la croix du télescope sur la première raie visible et notez sa position ϕ , puis calculez l'angle de diffraction θ . Compilez les données et les résultats dans un tableau semblable au tableau 1 illustré ci-dessous. *Attention: l'angle mesuré de la table ϕ n'est pas le même que l'angle de diffraction θ .*

Remarques:

- Lorsque vous calculez des fonctions trigonométriques à l'aide de *Excel*, les angles doivent être exprimés en radians. Pour convertir un angle des degrés en radians, utilisez la fonction *Excel* =RADIANS (*angle en degrés*).
3. Tournez le télescope jusqu'au deuxième ordre du spectre. Choisissez une des raies brillantes de ce spectre. Notez sa couleur et sa position ϕ . Déterminez le rapport entre le sinus de l'angle de diffraction du premier ordre et celui du deuxième ordre. Est-ce que rapport est égal, à erreur près, au rapport théorique selon l'équation (2)?
 4. Tracez le graphique de $\sin \theta$ en fonction de $m\lambda$. Selon l'équation (4), identifiez les quantités qui correspondent à la pente et celles à l'ordonnée à l'origine de ce graphique. Comparez votre valeur des lignes par mm expérimentale à celle citée par le fabricant. Est-ce que ces valeurs sont égales, à erreur près?

Tableau 1: Angles de diffraction en utilisant une lampe -----
 $\phi_0 = \text{-----} \pm 0.1^\circ$ Réseau = -----lignes/mm

Longueur d'onde λ (m)	Angle de diffraction		$\sin \theta$ (rad)	$\Delta(\sin \theta)$ (rad)
	θ° ± 0.2 (degrés)	θ_{rad} $\pm ?$ (radians)		

5 Questions et analyse des résultats

(Insérez vos réponses dans la section *Analyse des résultats* de votre rapport.)

1. Dans une expérience avec une fente double, un laser de longueur d'onde de 632.8 nm produit des franges sur un écran placé à 1.000 ± 0.002 m de la fente double. Un total de neuf franges brillantes ont été observées dans une disposition symétrique autour du maximum central. La distance mesurée entre les deux franges les plus éloignées est de $\Delta y = 2.5 \pm 0.1$ cm. Calculez la valeur de la séparation $d \pm \Delta d$ entre les deux fentes. Montrez toutes les étapes intermédiaires de vos calculs. Remarque: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$. Partie I
2. Calculez le pourcentage d'écart entre $\sin \theta$ et $\tan \theta$ pour une frange brillante à 2.0 cm du maximum central, si la position de l'écran est à 1.00 m de la fente double. Pouvez-vous en conclure que l'angle est assez petit pour utiliser l'approximation des petits angles? Partie I
3. Incluez vos calculs pour obtenir d_{exp} . Partie I
4. Donnez l'expression algébrique de l'erreur Δd_{exp} . Partie I
5. Comparez votre valeur expérimentale d_{exp} et la valeur théorique d_{th} inscrite sur la roulette. Sont-elles égales, à erreur près? Partie I
6. Incluez les calculs vous permettant de trouver le pas du réseau, ou le nombre de lignes par mètre. Partie II
7. Comparez votre réponse précédente au nombre théorique de 600 lignes/mètre. Partie II
8. Incluez votre graphique y compris l'équation de la droite. Identifiez et calculez la pente (et l'erreur) et l'ordonnée à l'origine (et l'erreur). Partie II