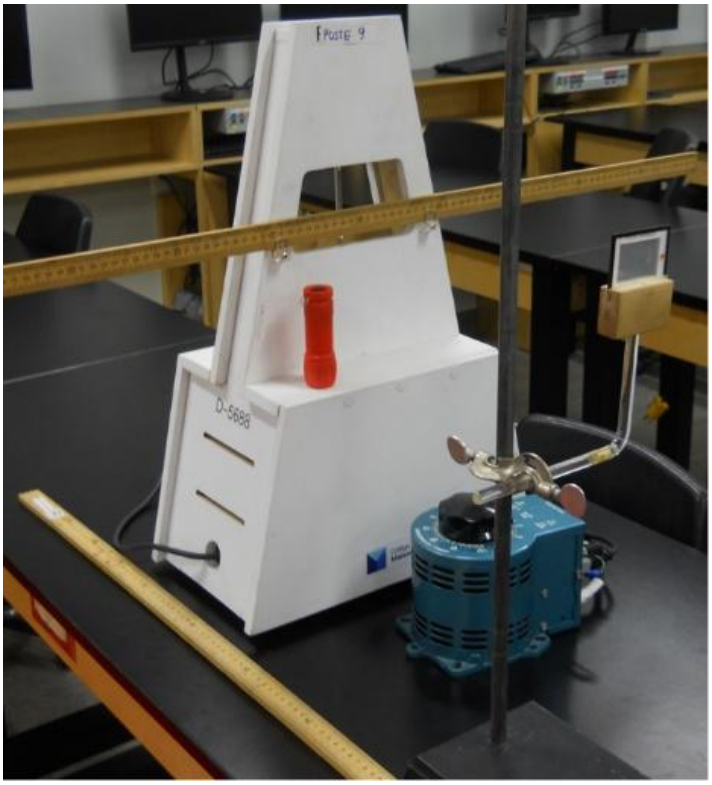
Spectre de l'hydrogène



LE BUT **2**

LE CADRE THÉORIQUE **2**

LE PHOTON 2
LA SÉRIE DE BALMER 2

PRÉLABORATOIRE – SPECTRE DE L'HYDROGÈNE **3**

LA FORMULE DE L'INTERFÉRENCE 3
LA LONGUEUR THÉORIE DE LA SÉRIE DE BALMER 5

MONTAGE **7**

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE **7**

LE PORT DE LUNETTE DE SÉCURITÉ OBLIGATOIRE 7
AJUSTEMENT DU RHÉOSTAT INTERDIT 7
ÉTAPE QUALITATIVE ET EFFET DE PARALLAXE 7
LES MESURES 8

ANALYSE **9**

REMISE **9**

ANNEXE : FEUILLE DES DONNÉES ET VALIDATION DES CALCULS **11**

LES DONNÉES 11
LES CALCULS POUR LA RAIE ROUGE 11
TABLEAU DES CALCULS 12

Le but

Le but de cette expérience est de valider l'équation des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène de Bohr

$$E_n = \frac{E_0}{n^2}$$

par la mesure des fréquences f des raies de lumières émises par un gaz d'hydrogène. De cette formule, nous définissons E_n comme le niveau d'énergie de l'atome d'hydrogène, n comme étant le nombre quantique du niveau d'énergie et E_0 comme étant l'énergie du niveau fondamental de l'atome d'hydrogène tel que $E_0 = -13,6 \text{ eV}$.

Le cadre théorique

Le photon

À partir de l'énergie d'un photon

$$E_\gamma = hf$$

où E_γ est l'énergie du photon, f est la fréquence du photon et h correspondant à la constante de Planck tel que $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, nous pouvons établir que l'énergie du photon provient de la désexcitation d'un atome d'hydrogène (transition d'un niveau n supérieur à inférieur) est telle que

$$E_\gamma = E_i - E_j$$

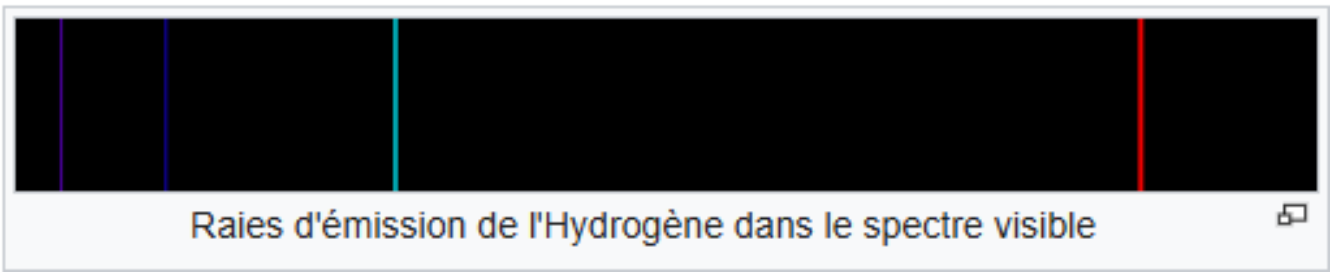
où le numéro quantique i (état initial) est supérieur au numéro quantique j (état final) ce qui provoque une perte d'énergie pour l'atome d'hydrogène. Dans ce calcul, l'énergie du photon sera toujours positive ($E_\gamma > 0$) et sera responsable de libérer l'énergie de l'atome d'hydrogène.

Pour mesurer la fréquence du photon émise par un gaz d'hydrogène, il existe plusieurs techniques admissibles. Dans ce laboratoire, nous exploiterons la théorie de l'interférence de la lumière sur un réseau dans le but de mesurer la position des raies de couleurs émises par le gaz d'hydrogène pour ainsi en déterminer la fréquence.

La série de Balmer

La série de Balmer est la collection de raies spectrales émises par l'atome d'hydrogène lorsque celui-ci se désexcite vers l'état de niveau d'énergie $n = 2$. Dans le cadre de ce laboratoire, vous devrez observer trois raies dans le spectre du visible (la raie violette à 410 nm ne sera peut-être pas visible avec certain montage) :

Le série de Balmer			
Transition	$n = 5 \rightarrow 2$	$n = 4 \rightarrow 2$	$n = 3 \rightarrow 2$
Nom des raies à observer	$H\gamma$ (λ_B) (bleu)	$H\beta$ (λ_V) (vert-bleu)	$H\alpha$ (λ_R) (rouge)



Raies d'émission de l'Hydrogène dans le spectre visible

Référence : https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_de_Balmer

Nom de famille : _____ Prénom : _____

Nom de famille : _____ Prénom : _____ Groupe : _____

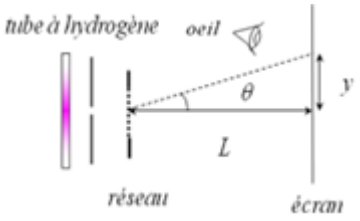
Prélaboratoire – Spectre de l'hydrogène

La formule de l'interférence

Lors de votre étude de l'interférence sur un réseau, vous avez appris qu'il existe un lien entre la géométrie d'un réseau (nombre de fentes par cm), la longueur d'onde λ de la lumière et l'angle θ où la lumière sera projetée en interférence constructive sur un écran situé très loin du réseau (voir schéma ci-contre). C'est en regardant l'écran et en utilisant la relation

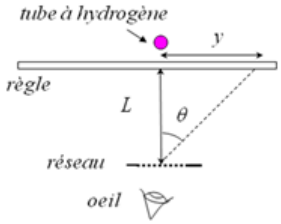
$$\tan(\theta) = y / L$$

que l'on pouvait établir un lien entre la position y du maximum sur l'écran et la distance réseau-écran L.



Montage en projection du patron d'interférence

Dans le cadre de cette expérience, vous devrez observer un tube à hydrogène très mince au travers d'un réseau (voir schéma ci-contre). Cela aura pour effet d'observer la provenance de la lumière par différent angle θ qui dépendra de la longueur d'onde λ de la lumière ainsi que des caractéristiques du montage. Ces raies seront localisables à une position y à l'aide d'une règle située à une distance L du réseau.



Montage en regardant dans le réseau

1) À partir de l'équation $\delta = m\lambda$, démontrer que **l'équation des fréquences des raies du premier ordre** (les raies les plus près du centre) est égale à l'expression :

$$f = Nc\frac{\sqrt{y^2 + L^2}}{y}$$

où f est la fréquence d'une raie (Hz), N est le nombre de fentes par mètre du réseau, y est la position de la raie (m), L est la distance réseau-règle (m) et c est la vitesse de la lumière ($c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m/s}$).

2) À partir de la propagation linéaire des erreurs

$$\delta f\left(y,N,L\right)=\left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|\delta y$$

où l'on néglige l'incertitude sur les paramètres N et L (non significatif comparativement à l'incertitude sur y), démontrez qu'à partir de **l'équation des fréquences des raies du premier ordre**, nous obtenons

$$\delta f = Nc\frac{L^2}{y^2\sqrt{y^2+L^2}}\delta y \quad .$$

Rédigez votre démonstration de : δf

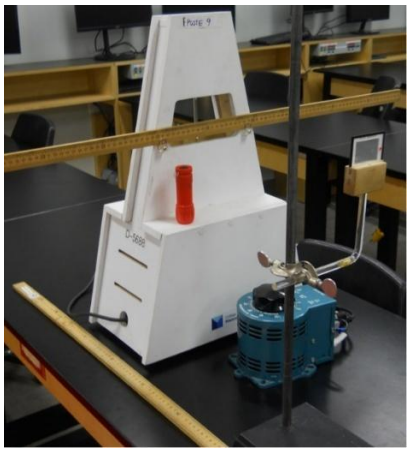
La longueur théorie de la série de Balmer

À partir de l'équation de l'énergie de l'atome d'hydrogène et des transitions associées à la série de Balmer, calculez les trois premières fréquences (correspondant à la raie rouge, à la raie verte-bleue et à la raie bleue) f_{R}, f_{V} et f_{B} .

Montage

Pour réaliser cette expérience, vous disposerez du matériel suivant :

- Une source de tension de type rhéostat à voltage variable (0-120 V)
- Un transformateur de 5000 V.
- Un porte-tube à hydrogène (structure blanche sur l'image ci-contre)
- Un tube à hydrogène
- Deux règles graduées d'un mètre.
- Un porte-réseau
- Un réseau à 6000 fentes par centimètre.
- Une petite lampe de table.
- Lunette de sécurité.



Matériel du montage.

Démarche expérimentale

Le port de lunette de sécurité obligatoire

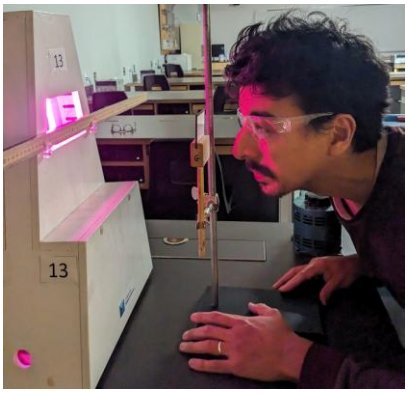
Puisque le tube à hydrogène est une source de lumière d'ultraviolet et qu'une surexposition de cette variété de lumière est nocive pour les yeux, il sera obligatoire de porter des lunettes de sécurité (verre et/ou plastique) durant toute l'expérience.

Ajustement du rhéostat interdit

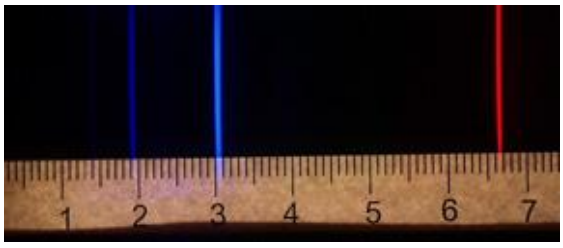
Afin de préserver le bon fonctionnement du tube à hydrogène, celui-ci doit être mis sous tension avec la plus petite tension possible tout en étant suffisamment lumineux pour réaliser les observations. Pour cette raison, le réglage du rhéostat sera réalisé par les techniciens et il sera strictement interdit d'en faire l'ajustement sous peine d'expulsion du laboratoire.

Étape qualitative et effet de parallaxe

Avant d'entreprendre vos mesures, vous allez débuter par une observation qualitative du phénomène : Placez votre œil devant le réseau tel qu'illustré sur l'image ci-contre. Vous devriez voir trois raies de couleur plutôt lumineuse (rouge, vert-bleu et bleu) et une raie de faible luminosité (mauve) que vous n'aurez pas à traiter dans ce laboratoire.



Regarder dans le réseau en vue de profil.



Remarquez que si vous déplacez votre œil de place devant le réseau, ces raies se déplace également. Ceci est un effet de parallaxe qui sera une source d'incertitude (δy) pour mesurer la position y de vos raies.

Les mesures

Afin de réaliser vos mesures de L et y pour vos trois raies, vous devrez réaliser la séquence de tâche suivante et notez vos résultats sur la feuille **Annexe : Feuille des données et validation des calculs** :

1) Disposez le réseau entre 50 cm et 60 cm de la règle.

2) Ajustez le réseau afin que le plan du réseau soit parallèle à la règle.

3) Mesurez avec précision la distance L entre le réseau et la règle en prenant soin de ne pas déplacer le réseau. Dans le contexte de cette expérience, l'incertitude de L ne sera pas traitée, car elle sera jugée non-significative comparativement aux autres incertitudes.

4) Pour mesurer la position de votre raie rouge (R) :

   a) Déplacez l'angle de vue de votre œil devant le réseau afin de provoquer des effets de parallaxe sur le positionnement de la raie.

   b) Identifiez la position de la raie rouge du côté gauche $y_{\mathrm{R(Gmax)}}$ la plus éloignée de l'axe centrale et la position de la raie rouge du côté gauche $y_{\mathrm{R(Gmin)}}$ la moins éloignée de l'axe centrale. Le meilleur estimé de la valeur y_{R} correspondra à la moyenne de ces deux valeurs extrêmes. L'incertitude associée à δy_{R} correspondra à l'écart entre ces deux valeurs extrêmes divisé par deux tel que

$$\delta y_{\mathrm{R}} = \left| \frac{y_{\mathrm{R(Gmax)}} - y_{\mathrm{R(Gmin)}}}{2} \right| \quad .$$

   c) Répétez cette procédure pour la raie rouge du côté droite $y_{\mathrm{D(Gmax)}}$ la plus éloignée de l'axe centrale et $y_{\mathrm{D(Gmin)}}$ la moins éloignée de l'axe centrale.

5) Pour mesurer la position de votre raie vert-bleu (V) et bleu (B), répétez l'étape précédente.

Analyse

Dans le but de vérifier s'il y a concordance entre les fréquences $f_{(\text{th})}$ des raies obtenues théoriquement grâce au modèle de Bohr et obtenues expérimentalement par l'analyse d'un processus d'interférence sur réseau, vous devrez réaliser plusieurs calculs à partir des données que vous avez obtenues précédemment et les inscrire dans la section **Tableau des calculs** situé dans **Annexe : Feuille des données et validations des calculs**. Vous n'aurez qu'à justifier vos calculs que pour la raie rouge en complétant la section **Les calculs pour la raie rouge**.

1) Pour obtenir vos positions gauche $y_{(\text{G})}$ et droite $y_{(\text{D})}$ pour vos trois raies, effectuez un calcul de moyenne avec la position minimale et maximale pour vos côtés gauche et droit de vos trois raies. Utilisez la moitié de l'écart pour déterminer l'incertitude de vos positions.

2) Pour obtenir la position y pour vos trois raies, effectuez le calcul de la distance à l'axe centrale

$$y = \frac{y_{(\text{D})} - y_{(\text{G})}}{2}$$

et utilisez la méthode des règles simples[1] pour déterminer l'incertitude de vos positions.

3) Pour obtenir la fréquence de vos trois raies, utilisez la formule que vous avez démontrée dans votre prélaboratoire. Utilisez l'équation obtenue par la propagation linéaire des incertitudes pour obtenir l'incertitude de vos fréquences.

4) Pour conclure, exploitez le critère de concordance pour vérifier s'il y a concordance entre vos trois fréquences théoriques $f_{(\text{th})}$ (consultez votre prélaboratoire) et vos trois fréquences expérimentales f.

Remise

Pour compléter la remise de ce laboratoire vous devrez :

1) Remettre votre prélaboratoire (si ce n'est pas déjà fait).
2) Remettre la section **Annexe : Feuille des données et validation des calculs**.

[1] Si vous n'avez appris cette technique, utilisez la méthode différentielle de propagation des incertitudes. La démonstration est très simple.

Nom de famille : _____ Prénom : _____

Nom de famille : _____ Prénom : _____ Groupe : _____

Annexe : Feuille des données et validation des calculs

Les données

Veuillez noter sur cette feuille les mesures que vous avez prises dans la section Démarche expérimentale :

$L =$ _____ (l'incertitude de L ne sera pas traité dans cette expérience)

Couleur de la raie	$y_{(\mathrm{Gmax})}$ (cm)	$y_{(\mathrm{Gmin})}$ (cm)	$y_{(\mathrm{Dmax})}$ (cm)	$y_{(\mathrm{Dmin})}$ (cm)
Rouge : R				
Vert-Bleu : V				
Bleu : B				

Les calculs pour la raie rouge

Montrez vos calculs en lien avec les positions $y_{\mathrm{R(G)}}$ et $y_{\mathrm{R(D)}}$ associés à la raie de couleur rouge. Exprimez votre réponse sous la forme $y_{\mathrm{R}(\ )} = \tilde{y}_{\mathrm{R}(\ )} \pm \delta y_{\mathrm{R}(\ )}$ en respectant les règles de chiffres significatifs.

Pour $y_{\mathrm{R(G)}}$:	Pour $y_{\mathrm{R(D)}}$:

Montrez vos calculs en lien avec la position y_{R} associés à la raie de couleur rouge. Exprimez votre réponse sous la forme $y_{\mathrm{R}} = \tilde{y}_{\mathrm{R}} \pm \delta y_{\mathrm{R}}$ en respectant les règles de chiffres significatifs.

Montrez vos calculs en lien avec la fréquence f_{R} de la raie de couleur rouge. Exprimez votre réponse sous la forme $f_{\mathrm{R}} = \tilde{f}_{\mathrm{R}} \pm \delta f_{\mathrm{R}}$ en respectant les règles de chiffres significatifs.

Appliquez le critère de concordance entre la fréquence f_{R} de la raie de couleur rouge obtenue expérimentalement et la fréquence $f_{\mathrm{R(th)}}$ obtenue théoriquement (voir prélaboratoire).

Tableau des calculs

Inscrivez dans le tableau ci-dessous l'ensemble des résultats que vous avez obtenus de vos calculs pour les trois raies (en recopiant pour la raie rouge les résultats présentés précédemment). Exprimez vos résultats avec les incertitudes tout en respectant les règles de chiffres significatifs :

Paramètres	Rouge (R)	Vert-Bleu (V)	Bleu (B)
$y_{(\mathrm{G})}$			
$y_{(\mathrm{D})}$			
y			
f			
$f_{(\mathrm{th})}$			
Validité du critère de concordance OUI / NON			