EXPERIENCE SPECTRE DE RAIES DE L'HYDROGÈNE ET CONSTANTE DE RYDBERG

BUT

Observer les quatre raies spectrales visibles de l'hydrogène, déterminer leur longueur d'onde à l'aide d'un spectromètre et évaluer la valeur de la constante de Rydberg.

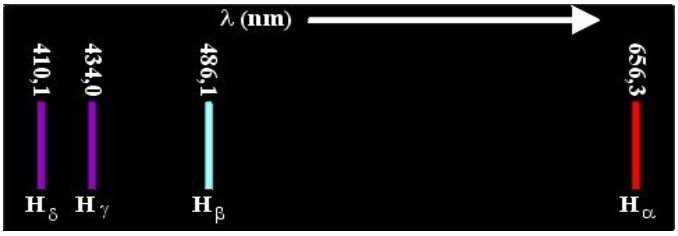
MATÉRIEL

- Tube à gaz à hydrogène
- Réseau de 300 lignes/mm
- Spectromètre

THÉORIE

Les électrons sous agitation thermique dans une source de lumière incandescente émettent une radiation électromagnétique (lumière) composée de différentes longueurs d'onde, produisant ainsi un spectre continu. En analysant la lumière émise par un gaz excité, un liquide vaporisé ou un solide, des lignes spectrales, comme celles de l'hydrogène (voir figure 1), sont observées.

Figure 1 : Spectre visible de l'hydrogène.



La physique moderne explique ces spectres en termes de photons de lumière de longueurs d'onde discrètes émis lors de transitions entre deux niveaux d'énergie. Chaque substance possède un ensemble de raies spectrales de longueurs d'onde bien déterminées.

La couleur de la lumière émise par un gaz inséré dans un tube à décharge est souvent une indication de la raie spectrale la plus intense dans la région visible. Par exemple, la lumière émanant d'un tube à gaz à hydrogène est rosée, résultat de la raie spectrale très intense de longueur d'onde λ = 656,3 nm (rouge).

L'espacement entre les raies dans le spectre de l'hydrogène diminue de façon régulière. En effet, en 1885, J.J. Balmer (1825- 1898) montra que les quatre raies visibles dans le spectre de l'hydrogène (dont les longueurs d'onde sont, expérimentalement, de 656 nm, 486 nm, 434 nm et 410 nm) obéissaient à la formule empirique suivante :

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \qquad \text{avec } n = 3, 4, 5, 6$$

où R_∞ est la constante de Rydberg, valant $1{,}097 \times 10^7$ m^{-1}.

Le spectre de l'hydrogène possède une caractéristique théorique intéressante : n'ayant qu'un seul proton et qu'un seul électron, l'atome d'hydrogène est l'atome le plus simple. Neils Bohr (1885-1962) a développé une théorie atomique pour l'hydrogène invoquant que les raies spectrales résultaient d'une transition de l'électron d'un niveau d'énergie supérieur vers un niveau d'énergie inférieur. La longueur d'onde des raies spectrales pouvait être donnée par la relation théorique :

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

où $\Delta E = 13{,}6 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_h^2} \right)$ est la différence d'énergie entre le niveau initial n_h et le niveau final n_b. Pour des lignes spectrales dans le domaine visible, l'état final est $n_b = 2$, et

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{hc}{13{,}6 \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)}, \text{ avec } n = 3, 4, 5, 6$$

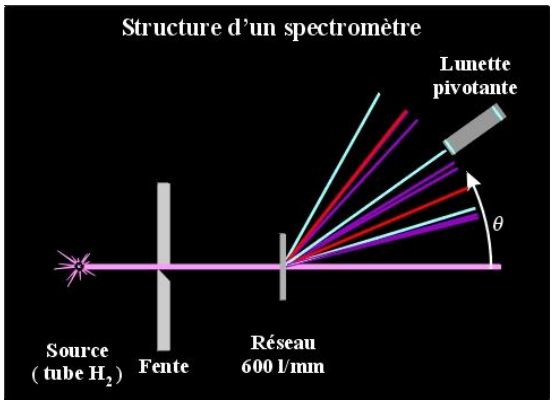
ou encore :

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{13{,}6}{hc} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_h^2} \right), \qquad \text{avec } n = 3, 4, 5, 6$$

Longueurs d'onde des raies de l'hydrogène

Couleur	λ (nm)
Rouge H_α	656,3
Turquoise H_β	486,1
Violet H_γ	434,0
Violet H_δ	410,1

Le réseau au centre du montage permet de séparer les différentes longueurs d'onde aux différents ordres d'interférence, de part et d'autre du rayon central. En évaluant l'ordre d'interférence et l'angle de déviation d'une raie d'émission donnée, on pourra calculer sa longueur d'onde exacte à l'aide des propriétés du réseau car $d \sin\theta = m\lambda$.



MANIPULATIONS

0. MISES EN GARDE!

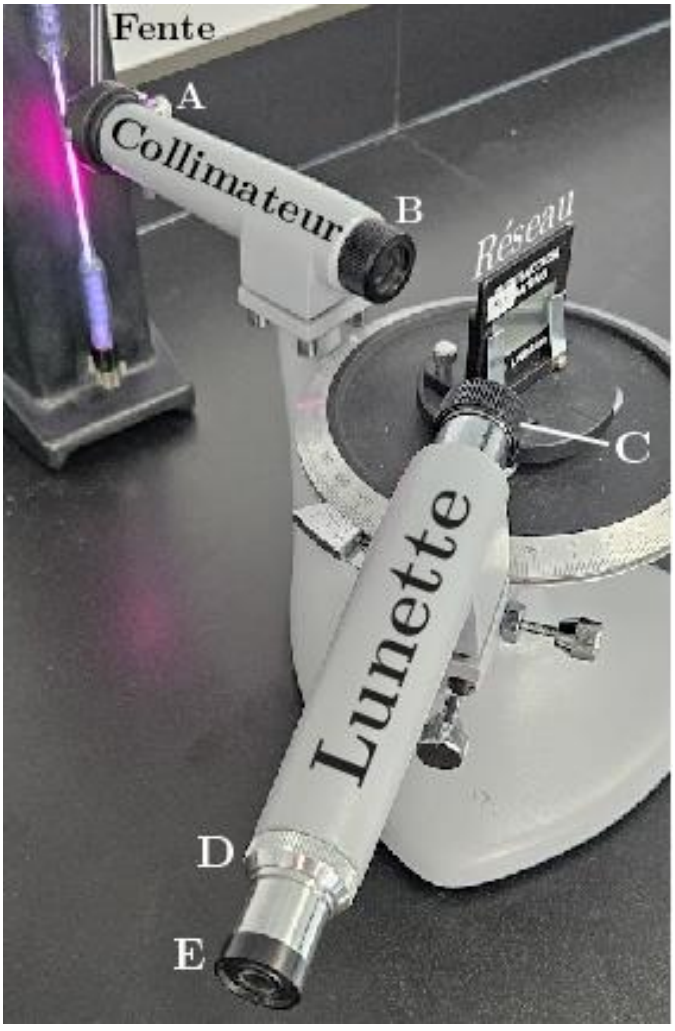
-Soyez très minutieux et n'appliquez aucune force intense sur une partie du montage. Si vous manipulez le réseau, ne touchez qu'au cadre et si vous le déposez, assurez-vous que rien ne touche à la fenêtre du réseau.

-La lampe à hydrogène est une fiole de verre laissant entrer les électrodes. Elle a une durée d'opération limitée, car des gaz de l'air finissent par s'infiltrer et ajouter des raies spectrales indésirées. C'est pourquoi on l'utilise avec un interrupteur momentané : ne l'activez que durant votre observation.

1. Faites la mise au point de l'appareil :

Retirez le réseau et déposez-le à un endroit sûr.

En soulevant le spectromètre, retournez-le pour placer vers vous la fente au bout du collimateur. Manipulez la vis A de manière à modifier la largeur de la fente. Il est difficile de mesurer sa largeur pour la choisir, mais ajustez-la de la façon suivante : fermez la fente complètement à l'aide de la vis, et vous sentirez la tension de la vis changer lorsqu'elle sera fermée (car un ressort se tend pour la fermer, et la vis de contrôle repousse le ressort). Ouvrez à nouveau la fente : dès que vous sentez à nouveau la tension du ressort, ne tournez la vis que d'un demi-tour. Cette largeur devrait être correcte pour les mesures.



-Retournez le montage (soulever) et placez-le de manière à ce que le bout de la lunette (lorsque droite) dépasse de quelques centimètres le bord de la table. Placez le panneau de carton de manière à ce qu'il laisse passer l'extrémité du collimateur, et placez la lampe à hydrogène pour que le tube de verre soit approximativement vis-à-vis la fente.

-En regardant directement dans le collimateur sans le réseau (écartez la lunette), on veut aligner la lampe à hydrogène avec la fente et apercevoir une image claire de cette fente (trait étroit et brillant de couleur rose). En vous étirant les bras par l'extérieur du carton, déplacez la base de la lampe à hydrogène de manière à ce que la lumière aperçue dans le collimateur soit la plus brillante possible. La lumière émergeant du collimateur, est composée de rayons parfaitement parallèles (c'est le rôle du collimateur).

-En alignant ensuite la lunette avec le collimateur, avant même de mettre le réseau, vous devez y apercevoir à la fois distinctement l'image de la fente et le réticule (croix de visée), réticule dont le rôle est de vous aider à placer le centre de la lunette vis-à-vis une raie.

Faites ensuite la mise au point de la fente à l'aide de la bague C. La fente sera au point lorsque vous distinguerez nettement ses côtés; il s'agit des côtés des lames en métal qui forment la fente, à l'entrée du collimateur (vous pouvez alors apercevoir les fines imperfections de ces lames de métal!).

S'il fait clair dans le laboratoire, vous apercevez facilement le réticule. Dans la noirceur, vous ne le verrez que s'il est devant une raie brillante. Vous pourrez le rendre visible en éclairant un peu l'arrière de la lunette en alternance pour y faire entrer de la lumière.

Remettez le réseau en place au centre du plateau. Le support devrait déjà faire en sorte que le réseau soit perpendiculaire au faisceau.

Placez la lunette pour centrer le réticule sur la fente brillante. Le vernier devrait alors indiquer 0° exactement. Si ce n'est pas le cas, ne tentez pas de l'ajuster et appelez votre professeur.

2. Observez les raies d'émission en déplaçant la lunette du côté des angles croissants. Déplacez la lunette jusqu'à quelques dizaines de degrés s'il le faut jusqu'à ce que vous aperceviez quelques raies brillantes. Vous savez maintenant de quoi elles ont l'air et c'est ce que vous cherchez.

Alors que l'éclairage du laboratoire n'est pas éteint, vous pourriez n'apercevoir que les raies d'ordre 1, et même ne pas voir la raie violette H_δ. Ce n'est pas grave, notez celles que vous apercevez et préparez-vous à trouver les autres lorsque les lumières seront éteintes.

Revenez au centre et déplacez lentement la lunette jusqu'à ce que vous aperceviez une raie violette (avant les raies cyan et

rouge). Si vous voyez une seule raie violette, c'et la raie H_γ Si vous regardez un peu avant celle-ci (les deux sont visibles en même temps), une autre raie violette plus pâle est présente. S'il y a de la lumière, commencez par relever les positions angulaires de H_γ, H_β et H_α au premier ordre. Notez les positions angulaires précises de toutes les raies observables (notez les angles dans le tableau 1).

3. La noirceur étant faite, vous devriez apercevoir sans ambiguïté la raie H_δ d'ordre 1 (elle est visible en même temps que la raie H_γ, quoique beaucoup moins brillante.

-Localisez les 4 raies spectrales visibles au premier ordre. Inscrivez au tableau 1 la position angulaire des raies trouvées, en degrés-minutes, tel que relevé sur le vernier d'angle.

-Localisez ensuite les raies d'ordre 2 et d'ordre 3, si possible. Certaines pourraient être invisibles car trop sombres, mais tentez de prédire leur position pour savoir où les chercher, avant d'abandonner.

4. À l'aide de la connaissance du pas du réseau, de l'ordre m et de l'angle θ d'observation d'une raie donnée, déterminez la longueur d'onde λ en vous servant de l'équation $d\sin\theta = m\lambda$,

où : d est le pas du réseau,
θ est l'angle d'observation par rapport au centre,
m = 0, 1, 2, 3... (ordre d'observation d'une raie),
λ est la longueur d'onde de la raie étudiée.

Inscrivez toutes les longueurs d'onde trouvées au tableau 2 et calculez ensuite la moyenne de longueur d'onde pour chaque raie pour le calcul suivant de $1/\lambda$.

Remarque : Dans Excel, pour utiliser la fonction sinus, vous devez d'abord convertir les angles en radians, à même la fonction sinus, car Excel calcule le sinus des angles qu'on lui donne en radians. Par exemple, pour calculer le sinus d'un angle en degrés inscrit dans la cellule A1, on écrit « =SIN(RADIANS(A1)) ».

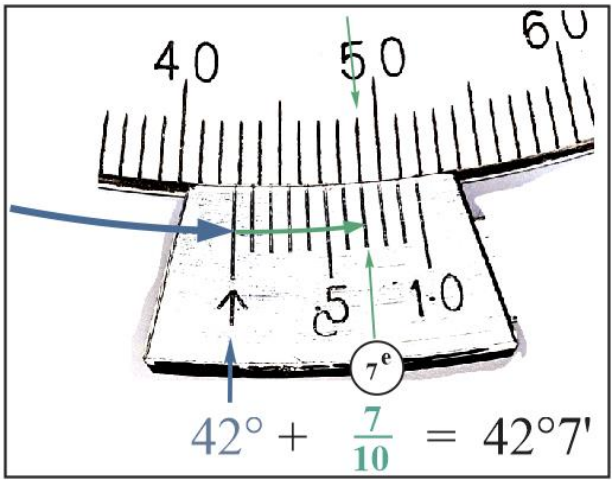
5. À partir des moyennes de longueurs d'onde calculées pour le spectre de l'hydrogène, tracez un graphique de $1/\lambda$ en fonction de $1/n^2$. Tracez la meilleure droite, et déterminez la pente de cette droite. (Faites prolonger le traçage de la droite jusqu'à l'axe vertical, sans aller dans la portion négative). Notez que l'équation

$$\frac{1}{\lambda} = R_\infty\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) = \frac{R_\infty}{4} - \frac{R_\infty}{n^2}$$

possède la forme d'une droite $y = mx + b$, avec une pente négative de grandeur R_∞. Comparez la valeur de cette pente avec la valeur acceptée de la constante de Rydberg en calculant le pourcentage d'écart. Comparez l'ordonnée à l'origine avec $R/4$.

LECTURE D'UN ANGLE SUR UN VERNIER

Un vernier est un dispositif utilisant une échelle de mesure mobile permettant d'obtenir un degré de précision supplémentaire sur une échelle graduée. Sur le spectromètre utilisé pour cette expérience, l'échelle principale est graduée en degrés, et le vernier subdivise ces demi-degrés en dix, donnant ainsi une lecture précise au dixième de degré.



Pour lire un angle à l'aide du vernier :

- Relever d'abord la position du « 0 » de l'échelle mobile (la flèche gravée) sur l'échelle principale. Sur l'exemple illustré, le zéro mobile a dépassé 42°, mais pas atteint 43° (suivre la flèche bleue, plus épaisse). On est donc entre 42° et 43°.
- On veut ensuite évaluer quelle fraction du chemin (en dixièmes) a été parcourue entre 42° et 43°.
  Identifier pour cela laquelle des 10 graduations de l'échelle mobile arrive le plus vis-à-vis l'une des graduations de l'échelle fixe (la valeur de la graduation sur l'échelle fixe n'a pas d'importance ici). Sur l'exemple, c'est la 7e graduation du bas qui est la mieux alignée avec une quelconque graduation du haut (suivre les flèches vertes, plus mince).
- Ce « 7 » représente 0,7 degrés passé 42°, donc 42,7°.

ATTENTION : L'INCERTITUDE ADMISE SUR UN VERNIER N'EST PAS LA MOITIÉ DE LA PLUS PETITE MESURE, MAIS UNE ENTIÈRE PLUS PETITE DIVISION, DONC 0,1° POUR CE SPECTROMÈTRE

QUESTIONS

1- Pourquoi seulement quatre lignes spectrales peuvent être observées dans la série de Balmer ? (Les transitions pour $n_h > 6$ existent également). Justifiez votre réponse mathématiquement.
2- Lorsque n devient très grand, les longueurs d'onde de la série de Balmer (et les autres) approchent une longueur d'onde minimale ou limite. Quelle est la longueur d'onde limite pour la série de Balmer ?

À REMETTRE

- Tableaux reproduits dans Excel
- Graphique de $1/\lambda$ vs $1/n^2$ avec incertitude sur la pente

- Calcul de la constante de Rydberg à partir de la pente du graphique
- Incertitude sur la constante de Rydberg calculée à partir de l'incertitude sur la pente
- Réponses aux questions

- Date de remise : _____

- Pour des documents de rappel sur l'*incertitude sur la pente* et la *comparaison graphique de valeurs avec incertitudes*, consultez la section Laboratoire du même site, à csfoy.qc.ca/profs/maverreault/LABS.htm
- N'oubliez pas de consulter la liste des critères de correction pour la révision finale de votre rapport, à csfoy.qc.ca/profs/maverreault/Labs_Correction.htm

Tableau 1 : Positions angulaires des raies spectrales produites par un réseau de 300 lignes/mm

	Ordre 1	**Ordre 2**	**Ordre 3**
	θ_1 deg.	θ_2 deg.	θ_3 deg.
Raie	±	±	±
Violet H_δ	____°	____°	____°
Violet H_γ	____°	____°	____°
Turquoise H_β	____°	____°	____°
Rouge H_α	____°	____°	____°

Tableau 2 : Longueurs d'onde calculées pour chaque raie spectrale observée à l'aide du spectromètre

Niv. avant transition	**Raie**	**Longueurs d'onde** (nm)								**$1/n^2$** ---	**$1/\lambda$** (10^7 m^{-1})	
		Ordre 1		Ordre 2		Ordre 3		Moyenne				
6	**H_δ**		±		±		±		±			±
5	**H_γ**		±		±		±		±			±
4	**H_β**		±		±		±		±			±
3	**H_α**		±		±		±		±			±

* Pour les valeurs « $1/n^2$ », il est pertinent d'inscrire les valeurs sous forme de fraction, ce qui peut être contrôlé dans le format de cellule.
** Pour toutes les valeurs avec incertitude, l'utilisation de la notation scientifique exige que la même puissance de 10 soit utilisée pour les valeurs et pour leur incertitude. Mais il est préférable et possible d'éviter la notation scientifique en choisissant des unités appropriées.
*** Les valeurs « $1/\lambda$ » peuvent être converties en 10^7 m^{-1} pour contourner la notation scientifique ou des valeurs de l'ordre du million.

Tableau 3 : Résultats expérimentaux sur la constante de Rydberg

R_{exp} (–pente)	
ΔR_{exp} (inc sur la pente)	
R_{th} (selon texte de lab)	
Pourcentage d'écart	
$R/4$ (ordonnée à l'origine)	
Valeur théorique ($R_{th}/4$)	
Pourcentage d'écart	