

Nom _____ Groupe _____ Date _____

Partenaire _____

LABORATOIRE No 6

VITESSE ORBITALE DE LA TERRE

Étude préliminaire

Définissez les termes suivants:

Spectre

Vitesse radiale

Effet Doppler

LABORATOIRE No 6

VITESSE ORBITALE DE LA TERRE

I. Introduction et objectifs

Il y a quelques siècles, la plupart des hommes croyaient que le Soleil tournait autour de la Terre. La première preuve directe du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil repose sur l'aberration de la lumière mise en évidence par Bradley en 1725. Par la suite, la variation annuelle des vitesses radiales observées par Bessel (1838) sur les étoiles situées près de l'écliptique nous oblige à conclure; c'est bel et bien la Terre qui tourne autour du Soleil.

Après ce laboratoire, vous devrez être capable de:

- a) définir les termes suivants: spectre, vitesse radiale, effet Doppler.
- b) distinguer les différents types de spectre.

Spectroscopie

Lors d'une analyse spectrale, deux types de spectres peuvent être observés: un spectre continu et un spectre de raies (spectre discret). Nous savons que les solides (de même que les liquides et les gaz denses) chauffés émettent de la lumière ayant un spectre continu de longueurs d'onde. On suppose que ce rayonnement est dû aux oscillations des atomes et des molécules, qui dépendent surtout de l'interaction entre chaque atome ou molécule et ses voisins.

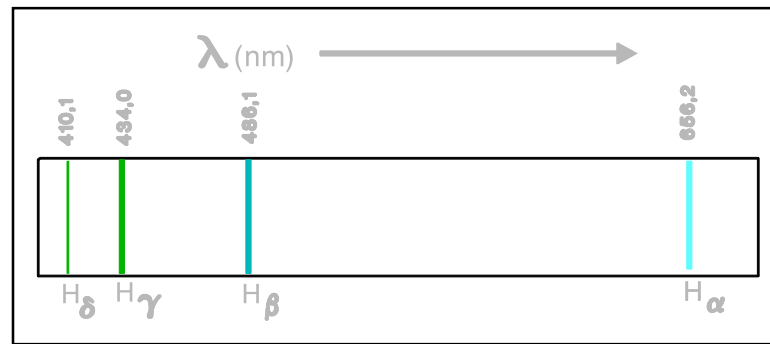
Les gaz raréfiés aussi peuvent être excités de façon à émettre de la lumière. On atteint ce résultat par un chauffage intense ou, plus couramment, par l'application d'une haute tension dans un **tube à décharge** contenant le gaz à basse pression. Comme les gaz excités n'émettent de la lumière que de certaines longueurs d'onde, l'analyse de cette lumière à travers la fente d'un spectroscopie révèle un **spectre de raies** plutôt qu'un spectre continu.

Le **spectre d'émission** est caractéristique du matériau et peut servir **d'empreintes digitales** pour identifier le gaz. Les spectres de raies servent donc de clé pour comprendre la structure de l'atome: toute théorie de la structure atomique doit permettre d'expliquer pourquoi les atomes émettent seulement de la lumière de longueurs d'onde discrètes et doit pouvoir prédire ces fréquences.

L'hydrogène est l'atome le plus simple et possède également le spectre le plus élémentaire. Les lignes spectrales de l'hydrogène ont été expliquées par le modèle atomique de Bohr.

Cependant, quelque temps auparavant, les raies du spectre de l'hydrogène pouvaient être déterminées par une formule empirique dans laquelle on retrouvait la constante de Rydberg.

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 d'un gaz excité, d'un liquide vaporisé ou d'un solide, des lignes spectrales, comme celles de la figure 1, sont observées.



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 $\lambda = 656,1 \text{ nm}$

Le spectre d'absorption

Les astronomes observent souvent des spectres continus auxquels ils manquent une série de raies et qui sont en quelques sortes le négatif des spectres d'émission. Il s'agit de **spectre d'absorption**.

Un spectre d'absorption se forme lorsqu'un faisceau de lumière possédant un spectre continu traverse un nuage ténu de matière. Le spectre de la lumière solaire est un exemple de spectre d'absorption. Lorsque le spectre continu, fourni par le Soleil (corps noir à 5 800 K), traverse l'atmosphère solaire contenant de l'hydrogène, les photons du spectre continu dont la longueur d'onde correspond aux transitions de la série de Balmer sont enlevés au faisceau et servent à exciter les atomes du nuage. Ces photons seront alors réémis dans des directions aléatoires privant ainsi le spectre continu d'une grande partie des photons correspondant aux raies de la série de Balmer. Cette absence permet aux astronomes de conclure à la présence d'hydrogène dans l'atmosphère stellaire.

Effet Doppler

Comme nous venons de le voir, chaque élément chimique est capable d'émettre ou d'absorber une série caractéristique de longueurs d'onde. Il arrive quelquefois que les longueurs d'onde que l'on observe au télescope ne soient pas tout à fait celles que l'on obtient en laboratoire. On pourra ainsi observer un spectre qui se présente comme une série de raies connue (par exemple celle de Balmer), mais dont les longueurs d'onde seraient toutes décalées.

Ce décalage appelé **effet Doppler** est dû à une variation de fréquence causée par un mouvement relatif entre la source et l'observateur.

Pour caractériser le décalage des raies spectrales, nous allons définir le décalage δ (delta) comme le rapport entre λ_{obs} , la longueur d'onde observée d'une raie et λ_{norm} la longueur d'onde normale, obtenue pour une source au repos dans un laboratoire:

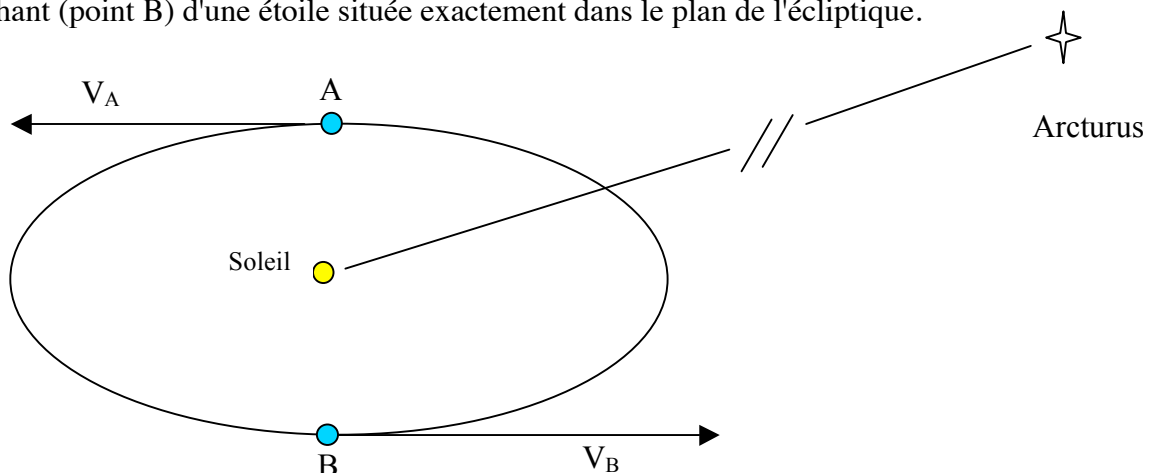
$$\delta = \frac{\lambda_{\text{obs}}}{\lambda_{\text{nor}}}$$

Lorsque la longueur d'onde observée est plus petite que la longueur d'onde normale, δ est plus petit que 1. Pour la lumière visible, cette diminution de la longueur d'onde correspond à un décalage vers la partie bleue du spectre, d'où l'appellation **décalage vers le bleu** donnée au phénomène. Il arrive également que la longueur d'onde observée soit plus grande que la longueur d'onde normale: δ est alors plus grande que 1 et le phénomène est nommé **décalage vers le rouge**. Pour déterminer la valeur de δ , il faut connaître la valeur normale de la longueur d'onde de la raie que l'on observe. Puisque l'observation d'une seule raie est insuffisante, il nous faut considérer un ensemble de raies, où la position relative des raies ne doit pas changer, même s'il y a décalage. On peut ainsi reconnaître une séquence particulière de raies et déterminer par la suite δ .

L'effet Doppler est fort important en astronomie car il nous permet de déterminer la vitesse radiale des objets célestes par rapport à nous. On peut aussi l'utiliser pour mesurer la rotation d'un objet, comme une galaxie. L'effet Doppler nous a permis de découvrir que certains points lumineux que l'on croyait être des étoiles simples correspondaient en fait à des étoiles doubles tournant l'une autour de l'autre.

Calcul de la vitesse orbitale de la Terre

En première approximation, nous pouvons représenter la Terre se déplaçant sur une orbite circulaire autour du Soleil. La figure ci-dessous nous présente la Terre s'éloignant (point A) et s'approchant (point B) d'une étoile située exactement dans le plan de l'écliptique.



Comme nous venons de le voir, lorsque la Terre se retrouve à la position A les lignes spectrales (raies d'absorption de l'étoile) sont toutes décalées vers le rouge (longueur d'onde plus longue) par une quantité correspondant à la vitesse orbitale de la Terre. A l'opposé, lorsque la Terre se retrouve au point B, ces mêmes lignes sont décalées vers le bleu (longueur d'onde plus courte) de la même quantité. Pour ce cas idéal, la vitesse relative, obtenue à partir du décalage mesuré, nous donne directement la vitesse orbitale de la Terre.

La réalité nous oblige cependant à considérer certaines complications:

- 1) l'étoile observée n'est pas nécessairement stationnaire par rapport à la Terre;
- 2) l'étoile n'est pas nécessairement dans le plan de l'écliptique;
- 3) l'orbite terrestre est légèrement elliptique de sorte que la vitesse orbitale de la Terre est approximativement 3,4 % plus grande au périhélie qu'à l'aphélie;
- 4) le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même influence également la vitesse relative mesurée avec l'effet Doppler.

Dans cette expérience, les complications 3 et 4 seront ignorées.

La vitesse relative calculée (avec l'effet Doppler) au point A sera:

$$v_A = v_{\text{Étoile}} + v_{\text{Terre}}$$

tandis que la vitesse relative calculée au point B sera:

$$v_B = v_{\text{Étoile}} - v_{\text{Terre}}$$

Ces deux dernières équations nous permettent de déterminer la vitesse orbitale de la Terre (v_{Terre}) ainsi que la vitesse radiale de l'étoile ($v_{\text{Étoile}}$).

II. ÉQUIPEMENTS :

- Deux spectres d'Arcturus pris à 6 mois d'intervalle;
- règle transparente;
- loupe;
- calculatrice.

III. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

1) La première étape consiste à déterminer l'échelle de cette photographie. Choisissez deux lignes éloignées (par exemple les lignes 1 et 7) et mesurez **très soigneusement** la distance en mm les séparant. Divisez la différence des longueurs d'onde par cette distance par afin d'obtenir le facteur d'échelle, c'est-à-dire combien de **nm** par **mm**. Reportez ce résultat dans le tableau 1.

2) Mesurez le décalage (déplacement) de chacune des raies d'absorption du spectre **a** par rapport au spectre de référence que vous retrouvez juste au-dessus. Reportez ces valeurs (en mm) dans le tableau 2. Utilisez une règle transparente afin de comparer les lignes et mesurez en estimant les dixièmes de millimètre. Vous pouvez utiliser une loupe pour vos mesures.

3) Utilisez le facteur d'échelle (voir tableau 1) afin de calculer $\Delta\lambda$ en nm. Reportez ces valeurs dans le tableau 2.

4) Calculez la vitesse de récession de l'étoile par rapport à la Terre en utilisant la formule ci-dessous:

$$V = \frac{\Delta\lambda_n \times c}{\lambda_n}$$

où **c = 3 x 10⁵ km/s**. Reportez cette valeur dans le tableau 2.

5) Refaites les manipulations **2, 3 et 4** Mesurez le décalage pour chacune des raies d'absorption du spectre **b** par rapport au spectre de référence que vous retrouvez juste au-dessous. Reportez ces valeurs dans le tableau 3.

6) En utilisant l'équation ci-dessous calculez la vitesse orbitale de la Terre **V_o**. Reportez cette valeur dans le tableau 4.

$$V_{Terre} = \frac{V_a - V_b}{2}$$

7) En utilisant l'équation ci-dessous calculez la vitesse radiale de l'étoile **V_s**. Reportez cette valeur dans le tableau 4.

$$V_{Étoile} = \frac{V_a + V_b}{2}$$

8) puisque l'étoile **Arcturus** n'est pas dans le plan de l'écliptique, mais à + 30,8 °, alors la vitesse orbitale de la Terre est obtenue de la façon suivante:

$$V_{orb} = \frac{V_o}{\cos 30,8^\circ} = \frac{V_o}{0,86}$$

Reportez cette valeur dans le tableau 5.

9. Finalement, nous pouvons calculer le rayon de l'orbite terrestre en utilisant le résultat précédent. La distance parcourue par la Terre lors de son périple autour du Soleil, c'est-à-dire la circonférence de l'orbite terrestre, peut-être obtenue en multipliant la vitesse orbitale de la Terre par le temps nécessaire pour accomplir un tour complet. Utilisez l'équation ci-dessous et calculez le rayon de l'orbite terrestre:

$$R_{orb} = \frac{V_{orb} \times 31600000 \text{ s}}{2 \times \pi}$$

Reportez cette valeur dans le tableau 6.

Nom _____ Groupe _____ Date _____

Partenaire(s) _____

LABORATOIRE No 6

VITESSE ORBITALE DE LA TERRE

RAPPORT DE LABORATOIRE

Tableau 1: Facteur d'échelle

1 mm = _____ nm

Tableau 2 Analyse du spectre d'Arcturus (cliché a)

No	λ	$\Delta\lambda$	$\Delta\lambda$	V_a
	nm	mm	nm	km/s
1	426,048			
2	427,116			
3	427,176			
4	428,241			
5	429,413			
6	429,924			
7	430,791			
$V_a(\text{moy})$				km/s

Tableau 3 Analyse du spectre d'Arcturus (cliché b)

No	λ	$\Delta\lambda$	$\Delta\lambda$	V_b
	nm	mm	nm	km/s
1	426,048			
2	427,116			
3	427,176			
4	428,241			
5	429,413			
6	429,924			
7	430,791			
$V_b(\text{moy})$				km/s

Tableau 4 Vitesses calculées

V_{Terre}	km/s
$V_{\text{Étoile}}$	km/s

Tableau 5 Vitesse orbitale de la Terre

Vitesse orbitale de la Terre	km/s
------------------------------	------

Tableau 6 Rayon de l'orbite terrestre

R_{orb}	km
------------------	----