

C3 Les ondes sonores

Activité sur l'effet Doppler en astronomie

Vérification de la loi de Hubble

Lire le contexte du sujet et les documents P.549 et 550

Effet Doppler pour vérifier la loi de Hubble

Ce sujet est accompagné de deux feuilles individuelles sur lesquelles le candidat doit consigner ses résultats.

Contexte du sujet

La loi de Hubble indique que la valeur v de la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à la distance D qui nous sépare d'elle : $v = H_0 \times D$ où H_0 est appelée constante de Hubble. L'unité légale de la constante de Hubble est le s^{-1} mais le **parsec** (symbole **pc**) étant une unité de longueur utilisée en astronomie ($1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$), il est courant d'exprimer H_0 en $(\text{km/s})/\text{Mpc}$. Au début des années 2000, l'utilisation du télescope spatial Chandra a conduit à la valeur suivante : $H_0 = 77 \text{ (km/s)/Mpc}$, avec une incertitude de 15 %. Cela signifie qu'une galaxie, située à 1 Mpc de nous, s'échappe avec une vitesse d'environ $77 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le but de l'épreuve est d'utiliser le spectre de la lumière émise par cinq galaxies pour vérifier que la loi de Hubble s'applique dans leur cas, et de déterminer une valeur de la constante de Hubble.

Matériel mis à disposition

Le candidat dispose :

- d'un ordinateur muni du logiciel de traitement d'images Salsa et d'un logiciel de traitement de données ;
- d'une image au format jpeg.

Documents mis à disposition du candidat

DOC. Spectres de galaxies

L'image fournie (ci-contre) présente les spectres relatifs à cinq galaxies.

On a identifié dans chaque spectre deux raies d'absorption (K et H) du calcium ionisé. Ces raies sont indiquées sur le spectre de Virgo par la flèche verticale.

On retrouve ces raies sur les autres spectres.

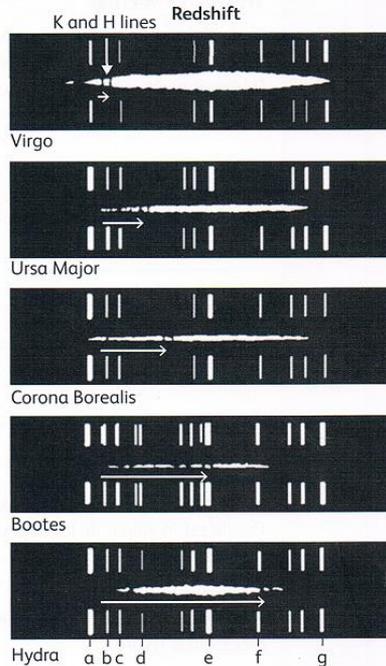
Dans tous les cas, on les observe décalées vers les grandes longueurs d'onde.

Pour ces galaxies lointaines, on considérera que ce décalage (indiqués par la flèche horizontale) est dû uniquement à l'effet Doppler-Fizeau créé par l'expansion de l'Univers (c'est-à-dire par la fuite des galaxies).

Le décalage Doppler $\Delta\lambda$ en longueur d'onde de la raie H dans le spectre de la lumière d'une galaxie s'éloignant à la vitesse v dans la direction de visée est donnée par la relation :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

avec $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



- La raie H est, parmi les deux raies, celle de droite. Sa longueur d'onde lorsque la source de lumière est au repos est égale à $\lambda = 396,85 \text{ nm}$. Son déplacement vers le rouge (« Redshift ») est indiqué par une flèche horizontale.

- Chaque spectre est entouré d'un spectre de référence pris en laboratoire, sur le même cliché que la galaxie, et dans les mêmes conditions. Les raies a, b, c, d, e, f, et g du spectre de référence ont respectivement les longueurs d'ondes suivantes (en nm) :

388,87 / 396,47 / 402,62 / 414,38 / 447,15 / 471,31 / 501,57.

- Le tableau ci-dessous indique la distance D qui sépare la Terre de chaque galaxie à la date de la réalisation de leur spectre.

Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Borealis	Ursa Major	Virgo
$D \text{ (m)}$	$2,4 \times 10^{25}$	$1,4 \times 10^{25}$	$1,0 \times 10^{25}$	$4,5 \times 10^{24}$	$1,3 \times 10^{24}$

Sujet 2. Effet Doppler pour vérifier la loi de Hubble

Document à compléter pendant l'épreuve et à rendre au jury en sortant de la salle d'examen.

Travail à effectuer

1. a. Rédiger un protocole appelé (1) qui permet, à l'aide du logiciel de traitement d'images, de déterminer la longueur d'onde de la raie H dans le spectre d'Hydra et la vitesse d'éloignement (récession) de cette galaxie.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

→ Appeler l'examineur pour vérifier le protocole 1 (appel 1).

Mettre en œuvre le protocole.

b. Résultat obtenu après la mise en œuvre du protocole

Quelle est la valeur de la longueur d'onde de la raie H dans le spectre de la lumière d'Hydra ?

Réponse : $\lambda' = \dots\dots\dots$

c. Exploitation

À partir du résultat précédent et des données de l'énoncé, déterminer la valeur de la vitesse v de récession d'Hydra.

Contexte du sujet

La loi de Hubble indique que la valeur v de la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à la distance D qui nous sépare d'elle : $v = H_0 \times D$ où H_0 est appelée constante de Hubble.

L'unité légale de la constante de Hubble est le s^{-1} mais le **parsec** (symbole **pc**) étant une unité de longueur utilisée en astronomie ($1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$), il est courant d'exprimer H_0 en $(\text{km/s})/\text{Mpc}$.

Au début des années 2000, l'utilisation du télescope spatial Chandra a conduit à la valeur suivante : $H_0 = 77 (\text{km/s})/\text{Mpc}$, avec une incertitude de 15 %.

Cela signifie qu'une galaxie, située à 1 Mpc de nous, s'échappe avec une vitesse d'environ $77 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le but de l'épreuve est d'utiliser le spectre de la lumière émise par cinq galaxies pour vérifier que la loi de Hubble s'applique dans leur cas, et de déterminer une valeur de la constante de Hubble.

- La raie H est, parmi les deux raies, celle de droite. Sa longueur d'onde lorsque la source de lumière est au repos est égale à $\lambda = 396,85 \text{ nm}$. Son déplacement vers le rouge (« Redshift ») est indiqué par une flèche horizontale.

- Chaque spectre est entouré d'un spectre de référence pris en laboratoire, sur le même cliché que la galaxie, et dans les mêmes conditions. Les raies a, b, c, d, e, f, et g du spectre de référence ont respectivement les longueurs d'ondes suivantes (en nm):

388,87 / 396,47 / 402,62 / 414,38 / 447,15 / 471,31 / 501,57.

- Le tableau ci-dessous indique la distance D qui sépare la Terre de chaque galaxie à la date de la réalisation de leur spectre.

Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Borealis	Ursa Major	Virgo
$D \text{ (m)}$	$2,4 \times 10^{25}$	$1,4 \times 10^{25}$	$1,0 \times 10^{25}$	$4,5 \times 10^{24}$	$1,3 \times 10^{24}$

1. Décrire la méthode permettant de déterminer $\Delta\lambda$ de la raie H pour le spectre de la galaxie Hydra

- Etablir l'échelle du document :

$$\lambda_g - \lambda_a = 112,7 \text{ nm} \leftrightarrow 3,65 \text{ cm}$$

- Mesurer la longueur de la flèche pour Hydra : $d = 26\text{mm}$

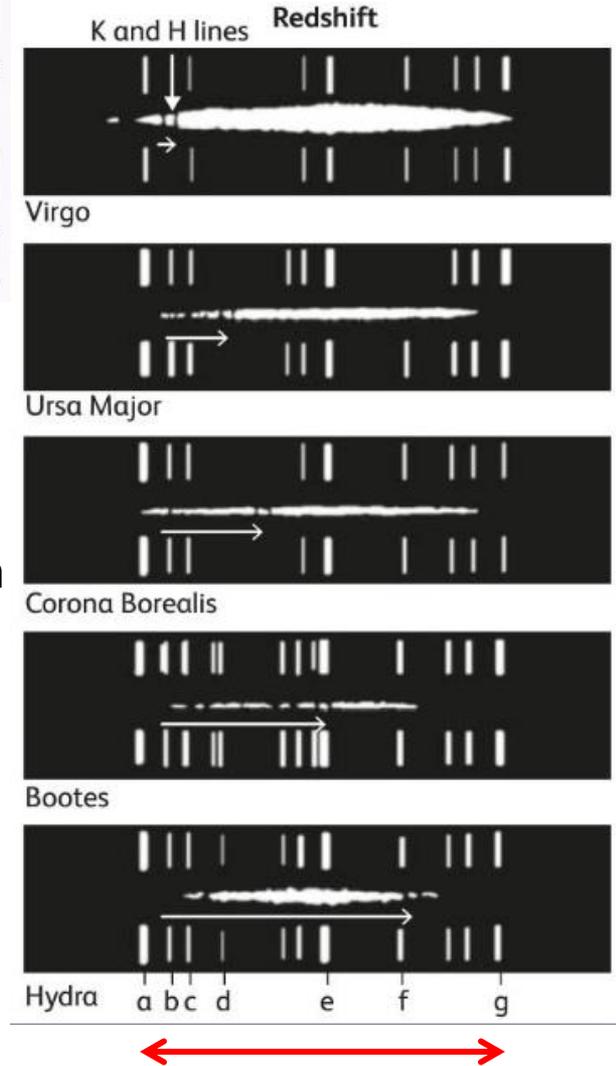
- En déduire le décalage Doppler :

$$\Delta\lambda = 26 \times 112,7 / 36,5 = 80,28 \text{ nm}$$

2. En déduire la vitesse d'éloignement de cette galaxie

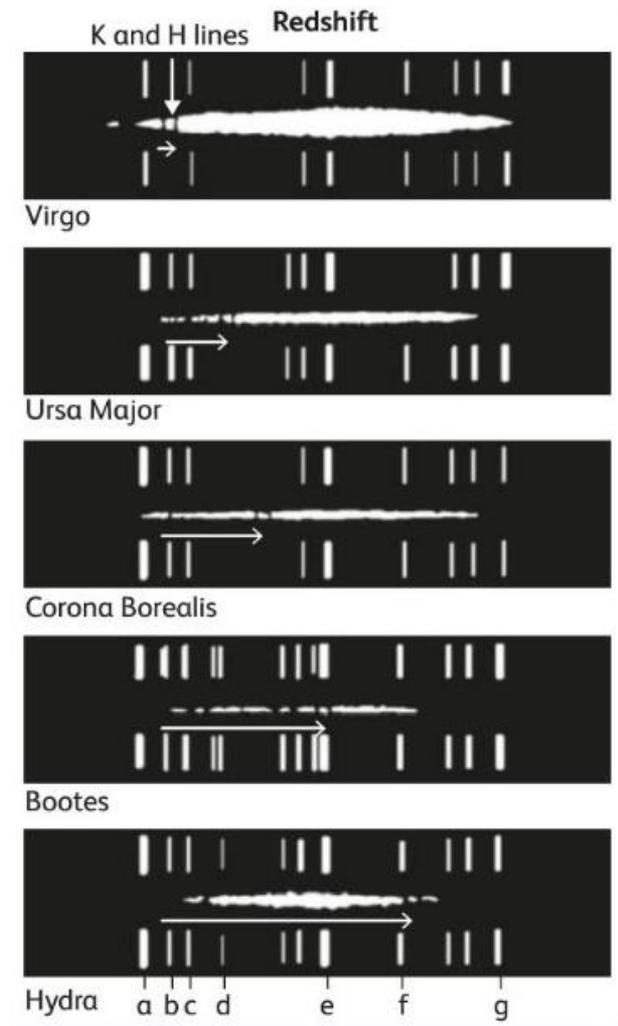
$$v = \frac{c \Delta\lambda}{\lambda} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \times 80,28}{396,85} = 6,07 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

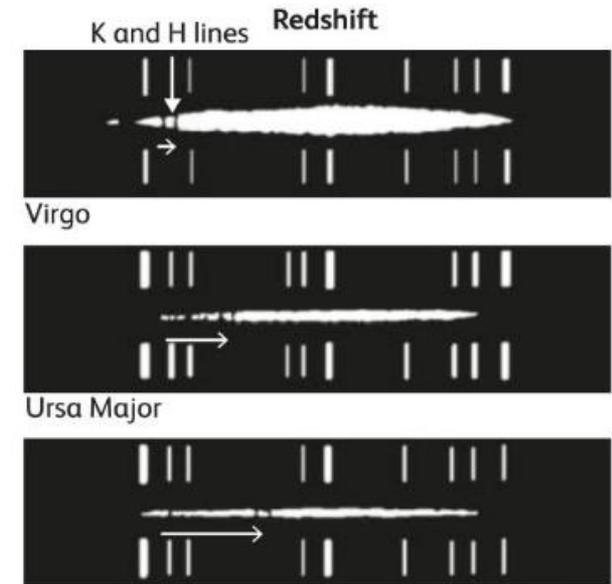


3. Renouveler la méthode pour les autres galaxies en utilisant un tableau pour les calculs

	A	B	C	D	E	F
1	Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Borealis	Ursa Major	Virgo
2	D (m)	$2,4 \cdot 10^{25}$	$1,4 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{25}$	$4,5 \cdot 10^{24}$	$1,3 \cdot 10^{24}$
3	d (mm)	26	17	10	7	2
4	$\Delta\lambda$ (nm)	80,27945205	52,49041096	30,87671233	21,61369863	6,175342466
5	v (m/s)	60687503,13	39680290,51	23341347,36	16338943,15	4668269,471
6						



3. Renouveler la méthode pour les autres galaxies en utilisant un tableur pour les calculs

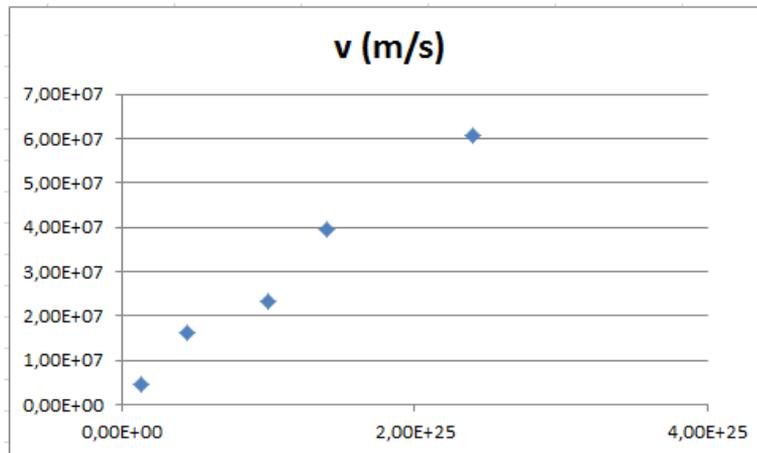


	A	B	C	D	E	F
1	Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Borealis	Ursa Major	Virgo
2	D (m)	$2,4 \cdot 10^{25}$	$1,4 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{25}$	$4,5 \cdot 10^{24}$	$1,3 \cdot 10^{24}$
3	d (mm)	26	17	10	7	2
4	$\Delta\lambda$ (nm)	80,27945205	52,49041096	30,87671233	21,61369863	6,175342466
5	v (m/s)	60687503,13	39680290,51	23341347,36	16338943,15	4668269,471
6						

4. Décrire les étapes pour déterminer la constante de Hubble H_0 puis la calculer.

C'est le coefficient directeur de la droite $v = f(D)$ donc

- Tracer la droite $v = f(D)$
- Ajouter la courbe de tendance et afficher son équation
- $H_0 = ?$



Format de courbe de tendance

Options de courbe de tendance

Couleur du trait

Style de trait

Ombre

État et contours adoucis

Options de courbe de tendance

Type de régression/courbe de tendance

Exponentielle

Linéaire

Logarithmique

Polynomiale Ordre : 2

Puissance

Moyenne mobile Période : 2

Nom de la courbe de tendance

Automatique : Linéaire (v (m/s))

Personnalisé :

Prévision

Transférer : 0,0 périodes

Reculer : 0,0 périodes

Définir l'interception = 0,0

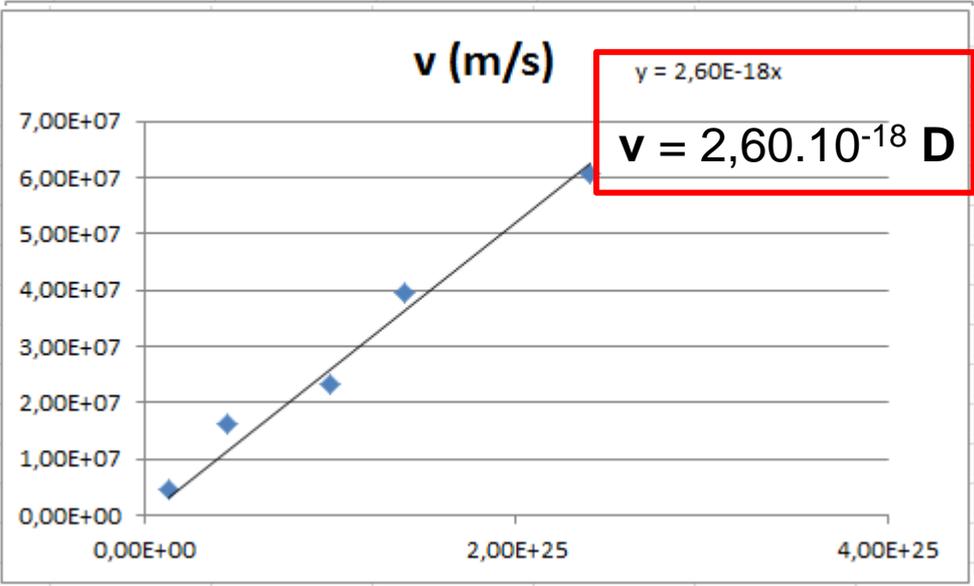
Afficher l'équation sur le graphique

Afficher le coefficient de détermination (R^2) sur le graphique

Fermer

3. Renouveler la méthode pour les autres galaxies en utilisant les calculs

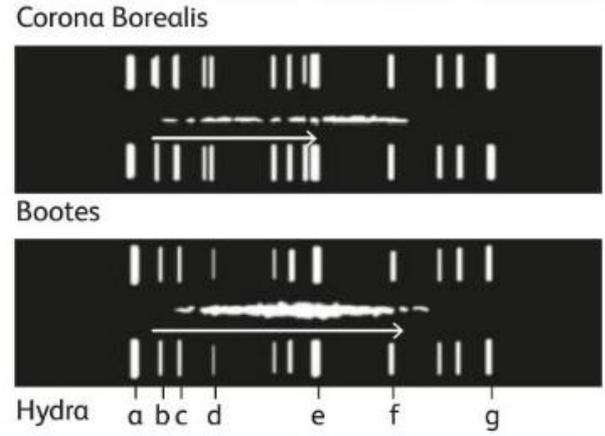
	A	B	C	D	
1	Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Borealis	Ursae
2	D (m)	$2,4 \cdot 10^{25}$	$1,4 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{25}$	4,5
3	d (mm)	26	17	10	
4	$\Delta\lambda$ (nm)	80,27945205	52,49041096	30,87671233	21,6
5	v (m/s)	60687503,13	39680290,51	23341347,36	1633
6					



4. Décrire les étapes pour déterminer la constante de Hubble H_0 puis la calculer.

C'est le coefficient directeur de la droite $v = f(D)$ donc

- Tracer la droite $v = f(D)$
- Ajouter la courbe de tendance et afficher son équation
- $H_0 = 2,60 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} \frac{\text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m}} = \frac{10^{-3} \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}}{3,24 \cdot 10^{-23} \text{ Mpc}}$
- $H_0 \approx 80 \text{ (km/s)/Mpc}$



La loi de Hubble indique que la valeur v de la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à la distance D qui nous sépare d'elle: $v = H_0 \times D$ où H_0 est appelée constante de Hubble. L'unité légale de la constante de Hubble est le s^{-1} mais le **parsec** (symbole **pc**) étant une unité de longueur utilisée en astronomie ($1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m}$) il est courant d'exprimer H_0 en $(\text{km/s})/\text{Mpc}$. Au début des années 2000, l'utilisation du télescope spatial Chandra a conduit à la valeur suivante: $H_0 = 77 \text{ (km/s)/Mpc}$, avec une incertitude de 15 %. Cela signifie qu'une galaxie, située à 1 Mpc de nous, s'échappe avec une vitesse d'environ $77 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

$1 \text{ Mpc} = 3,086 \cdot 10^{22} \text{ m}$
 $1 \text{ m} = 3,24 \cdot 10^{-23} \text{ Mpc}$

Utilisation de Mesurim Pro pour mesurer $\Delta\lambda$

- Lancer le logiciel puis ouvrir le fichier contenant les spectres des galaxies (Agrandir la fenêtre)
- Menu « Image » puis « Redimensionner » => image redimensionnée à 200% (plus ou moins) de façon à voir les flèches en entier les plus grandes possibles.
- Menu « Image » puis « Créer/Modifier l'échelle » => « Echelle à définir » puis valider (OK).
- Choisir « Longueur » puis Cliquer sur Suite => sur le spectre de Hydra, cliquer sur la raie a puis maintenir appuyer jusqu'à cliquer sur la raie g => indiquer l'échelle (112,7 et nm) => ne pas garder en mémoire
- Cliquer à l'extrémité d'une flèche puis maintenir le clic jusqu'à l'autre extrémité : $\Delta\lambda$ s'affiche en bas de l'écran directement en nm.

Logiciel disponible sur le site en bas de la page d'accueil des TS :

<https://physiqueguillevic.jimdo.com/tale-s/>