

TS2 - Physique-Chimie
Devoir en classe n°3 - Durée : 2h
Jeudi 14 novembre 2019

EXERCICE I : pH D'UN MÉLANGE – 8 POINTS
--

On se propose de calculer la valeur du pH d'un mélange de deux solutions dont les valeurs du pH sont connues.

Données :

$$pK_{A_1} (\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-) = 3,3$$

$$pK_{A_2} (\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-) = 3,8$$

$$pK_e = 14,0$$

1. Étude de deux solutions

Le pH d'une solution aqueuse d'acide nitreux $\text{HNO}_2(\text{aq})$, de concentration en soluté apporté $C_1 = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, a pour valeur $pH_1 = 1,3$. Celui d'une solution aqueuse de méthanoate de sodium ($\text{HCOO}^-(\text{aq}) + \text{Na}^+(\text{aq})$), de concentration en soluté apporté $C_2 = 0,40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, a pour valeur $pH_2 = 8,7$.

- 1.1. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide nitreux et l'eau. Donner l'expression de la constante d'acidité associée à cette réaction.
- 1.2. Écrire l'équation de la réaction entre l'ion méthanoate et l'eau. Donner l'expression de la constante d'acidité du couple $\text{HCOOH}/\text{HCOO}^-$.
- 1.3. Pour chaque couple acide/base mis en jeu, tracer le diagramme de prédominance.
- 1.4. Pour chacune des deux solutions étudiées, préciser l'espèce prédominante présente dans la solution.

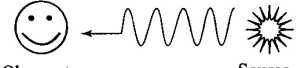

2. Étude d'un mélange de ces solutions

On mélange un même volume $V = 200 \text{ mL}$ de chacune des deux solutions précédentes.

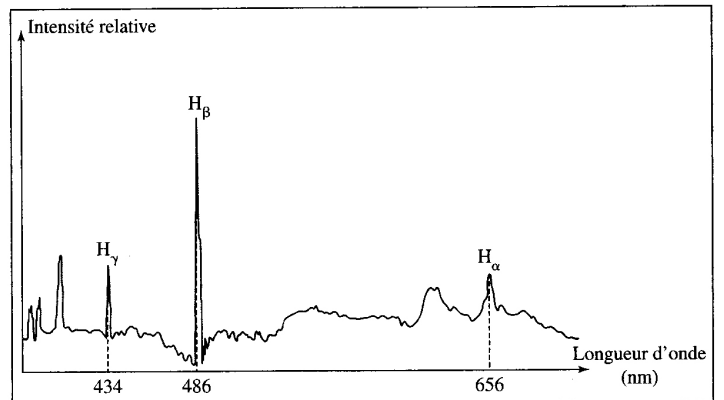
- 2.1. Déterminer la quantité de matière n_1 d'acide nitreux introduite dans le mélange ainsi que la quantité de matière n_2 de méthanoate de sodium introduite dans le mélange.
- 2.2. Écrire l'équation de la réaction qui se produit lors du mélange entre l'acide nitreux et l'ion méthanoate.
- 2.3. Dresser le tableau d'évolution du système chimique au cours de la transformation.
- 2.4. La valeur de l'avancement final, dans l'état d'équilibre, est déterminé par conductimétrie et a pour valeur $x_f = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$. Calculer les concentrations des différentes espèces chimiques présentes à l'équilibre.
- 2.5. En utilisant, pour chaque couple, la relation entre le pH et le pK_A , encore appelée relation de Henderson-Hasselbach, calculer la valeur du pH du mélange notée pH_3 . Les résultats sont-ils cohérents ?

EXERCICE II : QUAND LES ASTROPHYSICIENS VOIENT ROUGE... – 12 points

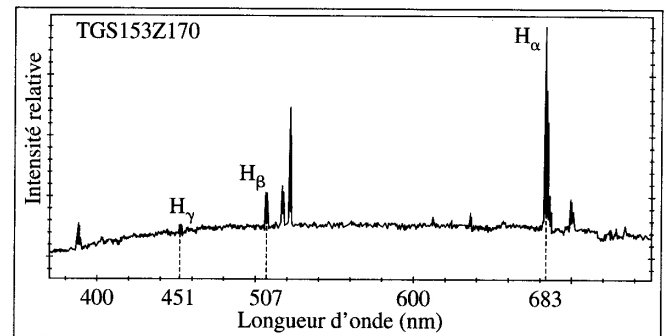
DOCUMENT 1 : PRINCIPE DE L'EFFET DOPPLER

 <p>Observateur Source</p>	 <p>Observateur Source</p>
L'observateur mesure la longueur d'onde λ_0 du signal lumineux émis par une source immobile.	L'observateur mesure la longueur d'onde λ' du signal lumineux émis par la même source s'éloignant à la vitesse v . On obtient $\lambda' > \lambda_0$.

DOCUMENT 2 : SPECTRE D'ÉMISSION DE L'HYDROGÈNE MESURÉ SUR TERRE OBTENU AVEC UNE SOURCE DU LABORATOIRE

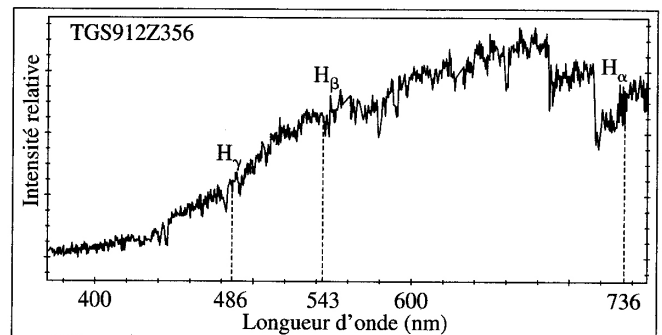


DOCUMENT 3 : SPECTRE DE LA GALAXIE TGS153Z170 AVEC INDEXAGE DES RAIES

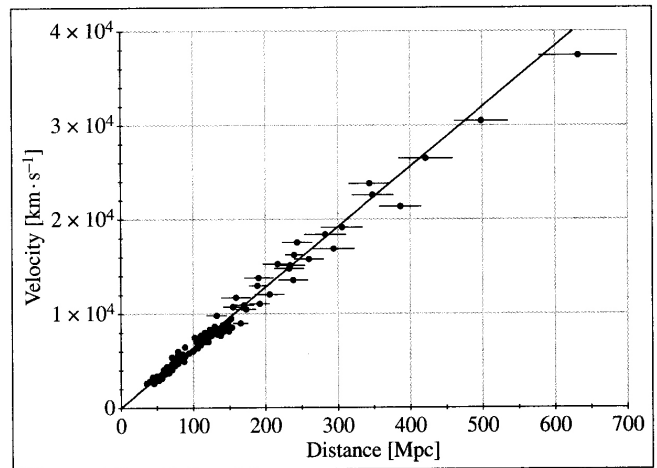


M. Colless et al. *The 2dF Galaxy Redshift Survey : spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039-1063 (2001)

DOCUMENT 4 : SPECTRE DE LA GALAXIE TGS912Z356 AVEC INDEXAGE DES RAIES



M. Colless et al. *The 2dF Galaxy Redshift Survey : spectra and redshifts*, Mon. Not. R. Astron. Soc. 328, 1039-1063 (2001)



DOCUMENT 5 : DIAGRAMME DE HUBBLE

Kirshner R P PNAS 2004 ; 101 : 8-13

DOCUMENT 6 : DONNÉES

- Célérité de la lumière dans le vide :
 $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Le parsec est une unité de longueur utilisée par les astronomes. Son symbole est pc et sa valeur telle que : $1 \text{ pc} = 3,08 \cdot 10^{16} \text{ m}$

DOCUMENT 7 : DÉPLACEMENT VERS LE ROUGE

La mesure du déplacement vers le rouge, par effet Doppler, de raies caractéristiques des spectres émis par des sources lointaines (galaxies, quasars, etc.) est la preuve d'un Univers en expansion, aussi bien que le moyen de mesurer la vitesse d'éloignement de ces objets lointains. En faisant appel à des modèles cosmologiques, on peut tirer des informations sur la distance de ces sources à la Terre.

D'après Boratav & R. Kerner, *Relativité*, Ellipses, 1991.

1. L'EFFET DOPPLER (VOIR DOCUMENT 1)

Pour des vitesses largement inférieures à la célérité c de la lumière dans le vide, il n'est pas nécessaire de tenir compte des effets de la relativité. En justifiant votre choix, choisir la relation entre λ_0 , longueur d'onde mesurée en observant une source immobile, et λ' , longueur d'onde mesurée en observant la même source s'éloignant à la vitesse v .

$$\lambda' = \frac{v}{c} \cdot \lambda_0 \quad (1) \quad \lambda' = \lambda_0 \cdot (c - v) \quad (2) \quad \lambda' = \lambda_0 \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (3) \quad \lambda' = \lambda_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (4)$$

2. DÉTERMINATION DE LA VITESSE D'UNE GALAXIE

- 2.1.** Rechercher les longueurs d'onde des raies H_α , H_β et H_γ pour le spectre de l'hydrogène sur Terre et les longueurs d'onde de ces mêmes raies lorsqu'elles sont issues de la galaxie TGS153Z170. Compléter les deux premières colonnes vides du tableau ci-dessous.

Nom de la raie	Longueur d'onde de référence λ_0 (nm)	Longueur d'onde mesurée λ' (nm)	Décalage spectral relatif z
H_α			
H_β			
H_γ			

2.2. Choix du modèle d'étude

- 2.2.1.** Lorsqu'il n'est pas nécessaire de tenir des effets de la relativité, montrer que l'expression de la vitesse v de la galaxie est : $v = c \left(\frac{\lambda'}{\lambda_0} - 1 \right)$. On s'aidera de la relation retenue dans la première partie.
- 2.2.2.** Calculer la valeur de la vitesse de la galaxie TGS153Z170 en travaillant avec les valeurs de la raie H_β .
- 2.2.3.** Dans le cas où la vitesse v n'est pas négligeable par rapport à c , il faut tenir compte des effets dus à la relativité. On montre alors que la vitesse v_{rel} est donnée par la relation suivante :

$$v_{rel} = c \cdot \frac{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0} \right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda'}{\lambda_0} \right)^2 + 1}$$

Pour la galaxie TGS153Z170, on trouve $v_{rel} = 1,27 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Si l'écart relatif entre les deux vitesses précédemment calculées est inférieur à 5%, on peut ne pas tenir compte des effets de la relativité et utiliser les relations plus simples. Justifier le choix du modèle ne tenant pas compte de la relativité pour la suite de l'exercice.

2.3. Décalage vers le rouge

- 2.3.1.** En comparant les longueurs d'onde λ_0 et λ' , justifier l'expression « décalage vers le rouge ».
- 2.3.2.** On définit le décalage spectral relatif z par la relation : $z = \frac{\lambda' - \lambda_0}{\lambda_0}$. On montre que z ne dépend pas de la raie choisie. Compléter la dernière colonne du tableau de **2.1**.
- 2.3.3.** En déduire la meilleure estimation de z pour la galaxie TGS153Z170.
- 2.3.4.** À l'aide de la définition de z , montrer que $z = \frac{v}{c}$.
- 2.3.5.** Calculer la nouvelle valeur de la vitesse d'éloignement de la galaxie et expliquer pourquoi cette valeur est plus pertinente que celle calculée à la question **2.2.2**.

3. DÉTERMINATION DE LA DISTANCE D'UNE GALAXIE

En 1929, Edwin Hubble observe depuis le Mont Wilson, aux USA, le décalage Doppler de dizaines de galaxies. Ses mesures lui permettent de tracer le diagramme qui porte son nom. Il en déduit une relation simple entre la vitesse d'éloignement v d'une galaxie et sa distance d par rapport à la Terre : $v = H \cdot d$ où H est la constante de Hubble.

- 3.1.** Déterminer la valeur de la constante de Hubble en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$.
- 3.2.** Établir l'expression de la distance d de la galaxie à la Terre en fonction de c , z et H . En déduire la distance en Mpc de la galaxie TGS153Z170 à la Terre. On prendra garde aux unités.

4. COMPARAISON DES SPECTRES DE DEUX GALAXIES

- 4.1.** Lequel des spectres des galaxies TGS153Z170 et TGS912Z356 est un spectre d'absorption ?
- 4.2.** De ces deux galaxies, laquelle est la plus éloignée de la Terre ? Justifier.