Observer l'espace avec le téléscope Hubble

Bac S 2016 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Quelles informations supplémentaires l'interprétation des images obtenues en 2014 apporte-t-elle ?

Les images de 2009 enregistraient la lumière visible et l'infrarouge. Celles de 2014 y ajoutent le rayonnement ultraviolet, capté grâce à la caméra installée en 2009.

Or, d'après l'article, l'ultraviolet est surtout émis par les étoiles les plus grosses, chaudes et jeunes.

L'image de 2014 révèle en plus les étoiles jeunes et chaudes des galaxies, dont la lumière a voyagé de 5 à 10 milliards d'années.

MÉTHODE
Question documentaire : nommer ce qui change entre les deux images (le rayonnement capté), puis dire ce que ce rayonnement apprend, en s'appuyant sur une phrase précise de l'article reformulée.

2 Vérifier que les derniers filtres ajoutés au télescope captent des photons du domaine ultraviolet (longueurs d'onde entre 10 nm et 400 nm).

Données utiles $E_1 = 5{,}92 \times 10^{-19}$ J ; $E_2 = 1{,}32 \times 10^{-18}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

Énergie d'un photon : $E = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{hc}{E}$.

$$\lambda_1 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{5{,}92 \times 10^{-19}} = 3{,}36 \times 10^{-7}\ \text{m} = 336\ \text{nm}$$

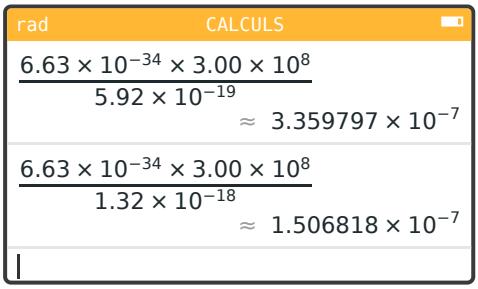
$$\lambda_2 = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}32 \times 10^{-18}} = 1{,}51 \times 10^{-7}\ \text{m} = 151\ \text{nm}$$

Les photons captés ont une longueur d'onde entre 151 nm et 336 nm, intervalle inclus dans $[10\ \text{nm}; 400\ \text{nm}]$: ils appartiennent bien à l'ultraviolet.

PIÈGE
La célérité n'est pas donnée : il faut la connaître, $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}. Convertir ensuite en nanomètres pour comparer au domaine fourni ($1\ \text{nm} = 10^{-9}$ m).

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme h, c et les énergies. L'énergie et la longueur d'onde varient en sens inverse : le photon le plus énergétique a la plus petite longueur d'onde.

À LA CALCULATRICE



3 L'image réalisée en 2014 aurait-elle pu être obtenue par un télescope situé sur Terre ?

Données utiles λ captées entre 151 nm et 336 nm (Q2) ; graphique de l'opacité atmosphérique

Sur le graphique, l'opacité de l'atmosphère vaut 100 % pour les longueurs d'onde inférieures à quelques centaines de nanomètres ; elle ne chute qu'à l'approche du visible.

Entre 151 nm et 336 nm, l'atmosphère absorbe donc presque tout le rayonnement : il n'atteint pas le sol.

Non : un télescope terrestre ne recevrait pas ces ultraviolets ; il faut observer depuis l'espace, au-dessus de l'atmosphère.

COMPRENDRE
Une opacité de 100 % signifie que tout le rayonnement est absorbé avant le sol. L'atmosphère laisse passer deux « fenêtres » : le visible et une partie des ondes radio.

4 Comment la lumière perçue sur Terre est-elle modifiée par rapport à la lumière émise par l'étoile, en fonction de leur mouvement relatif ?

Si l'étoile s'éloigne de la Terre, la longueur d'onde perçue λ est plus grande que la longueur d'onde émise λ_0 : la fréquence perçue est plus faible et le spectre est décalé vers le rouge ($z > 0$).

Si l'étoile se rapprochait, ce serait l'inverse : $\lambda < \lambda_0$, décalage vers le bleu.

> Les galaxies s'éloignent : le spectre reçu est décalé vers les grandes longueurs d'onde, d'autant plus que la vitesse d'éloignement est grande.

PIÈGE
La célérité de la lumière ne change pas : seules la fréquence et la longueur d'onde perçues sont modifiées. « Décalé vers le rouge » ne veut pas dire que la lumière devient rouge.

5 Quel phénomène est associé à cette modification ? Donner un exemple de ce type de phénomène observable sur Terre.

C'est l'effet Doppler (ou Doppler-Fizeau pour la lumière) : la fréquence d'une onde perçue par un récepteur diffère de la fréquence émise lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

> Effet Doppler. Exemple : la sirène d'une ambulance paraît plus aiguë quand le véhicule approche, plus grave quand il s'éloigne.

COMPRENDRE
Autres exemples recevables : le radar routier, qui mesure la vitesse d'un véhicule, ou l'échographie Doppler, qui mesure la vitesse d'écoulement du sang.

6.1 L'intensité maximale du spectre de cette étoile sera-t-elle observée par Hubble dans l'ultraviolet, le visible ou l'infrarouge ? Déterminer la longueur d'onde du rayonnement capté.

Données utiles $T = 42\,400$ K ; $z = 7{,}6$; loi de Wien : $\lambda_{max}\,T = 2{,}90 \times 10^{-3}$ (SI) ; $z = \dfrac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$

Longueur d'onde du maximum d'émission de l'étoile (loi de Wien) :

$$\lambda_0 = \lambda_{max} = \frac{2{,}90 \times 10^{-3}}{T} = \frac{2{,}90 \times 10^{-3}}{42\,400} = 6{,}84 \times 10^{-8}\ \text{m} = 68{,}4\ \text{nm}$$

L'étoile émet donc son maximum dans l'ultraviolet.

Longueur d'onde captée : $z\,\lambda_0 = \lambda - \lambda_0$, d'où $\lambda = \lambda_0\,(1 + z)$.

$$\lambda = \frac{2{,}90 \times 10^{-3}}{42\,400} \times (1 + 7{,}6) = 5{,}9 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

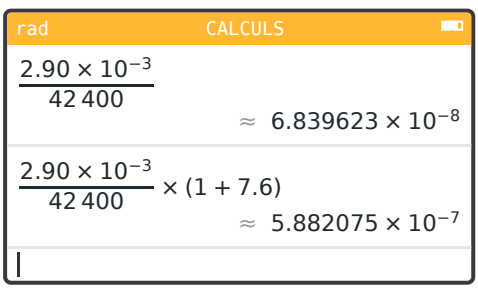
> $\lambda \approx 5{,}9 \times 10^{2}$ nm : entre 400 nm et 800 nm, le maximum d'intensité est observé dans le **visible**.

PIÈGE
Conclure « ultraviolet » dès les 68,4 nm : c'est la longueur d'onde émise, pas celle que reçoit Hubble. Le décalage la multiplie par $1 + z = 8{,}6$.

COMPRENDRE
z n'a que deux chiffres significatifs : le résultat aussi, soit environ 590 nm. La loi de Wien ne figure plus au programme de spécialité de terminale (elle relève de l'enseignement scientifique de première) ; elle est ici fournie.

MÉTHODE
Deux étapes : la loi de Wien donne la longueur d'onde émise λ_0, le décalage spectral donne la longueur d'onde reçue $\lambda = \lambda_0\,(1 + z)$. On conclut en situant λ parmi les domaines.

À LA CALCULATRICE



6.2 En déduire s'il est possible d'observer des étoiles jeunes dans des galaxies plus anciennes que 10 milliards d'années en utilisant le rayonnement ultraviolet.

Données utiles $\lambda \approx 590$ nm pour $z = 7{,}6$ (Q6.1)

Une galaxie plus ancienne est plus lointaine. D'après l'énoncé, sa vitesse d'éloignement est alors plus grande, et z, qui lui est proportionnel, dépasse 7,6.

Le rayonnement ultraviolet d'une étoile jeune de cette galaxie est donc reçu avec une longueur d'onde $\lambda = \lambda_0 (1 + z)$ supérieure à 590 nm : dans le visible, voire dans l'infrarouge.

Non : la lumière ultraviolette de ces étoiles n'arrive plus dans l'ultraviolet ; il faut les observer dans le visible ou l'infrarouge.

COMPRENDRE

C'est pourquoi les objets formés environ 600 millions d'années après le Big Bang avaient été repérés grâce à l'infrarouge, comme l'indique l'article.