

EXERCICE RÉSOLU 2

L'ozone, un filtre à ultraviolets

Énoncé

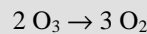
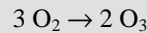
On s'intéresse ici à l'absorption des rayonnements ultraviolets (UV) par l'atmosphère et à ses conséquences sur l'observation astronomique.

DOC 1. La couche d'ozone.

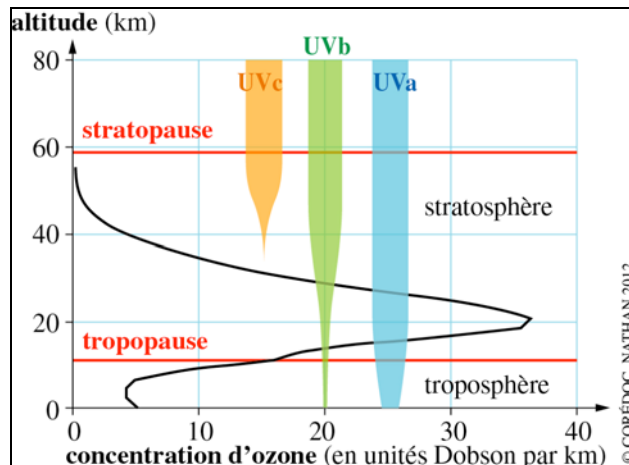
L'absorption des UV en provenance de l'espace est due en grande partie à la présence d'ozone dans la stratosphère.

L'ozone ou trioxygène (O₃) est présent dans l'atmosphère terrestre essentiellement entre 20 et 50 km d'altitude. C'est cette région de l'atmosphère que l'on désigne couramment sous le nom de « couche d'ozone ». L'ozone n'y est présent qu'à raison de quelques dizaines de molécules par million de molécules de gaz mais il joue un rôle prépondérant sur le filtrage des UV.

L'absorption des UV par l'ozone est due à un ensemble de réactions chimiques qui peut se résumer par les deux transformations suivantes se produisant toutes deux avec absorption de photons associés à des radiations ultraviolettes présentes dans la lumière solaire :



DOC 2. Répartition de l'ozone atmosphérique en fonction de l'altitude.



DOC 3. L'astronomie en ultraviolets.

L'astronomie en ultraviolets concerne les rayonnements compris approximativement entre 10 nm et 310 nm. Les longueurs d'onde inférieures à 10 nm concernent les rayonnements X et γ et les ultraviolets de longueurs d'onde supérieures à 310 nm peuvent être étudiés par des instruments terrestres avec les mêmes équipements que pour la lumière visible.

L'astronomie en ultraviolets présente de nombreux domaines d'applications. En particulier, elle permet d'étudier les étoiles « bleues » qui sont de jeunes étoiles massives très chaudes rayonnant fortement dans l'ultraviolet.

Une autre application importante est l'étude de la matière interstellaire (composition chimique, densité, température) grâce à l'analyse spectrale de la lumière qui, après émission par des étoiles chaudes, a été diffusée ou absorbée par cette matière. Dans ce domaine, la raie d'absorption Lyman α de l'hydrogène présente un intérêt particulier. Elle est produite par l'absorption d'un photon au cours d'une transition électronique de l'atome d'hydrogène entre son niveau fondamental et son premier niveau excité.

Données

• *Absorption du rayonnement UV par l'atmosphère*

- Le rayonnement UV de longueur d'onde inférieure à 280 nm est presque totalement absorbé par l'atmosphère.
- Entre 280 nm et 310 nm, l'absorption est forte.
- Au-delà de 310 nm, le rayonnement UV est faiblement absorbé par l'atmosphère.

• *Maximum d'émission d'un corps condensé chaud (loi de Wien)*

Le spectre continu du rayonnement thermique émis par un corps à la température T a une intensité maximale pour une longueur d'onde λ_{\max} donnée par la relation :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,90 \times 10^{-3}}{T} \quad \text{avec } \lambda_{\max} \text{ en mètre ; } T \text{ en kelvin.}$$

• *Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène*

La différence d'énergie entre les deux premiers niveaux de l'atome d'hydrogène est 10,2 eV ; 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J.

• *Énergie d'un photon associée à une radiation de longueur d'onde λ*

$$\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{avec } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s et } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

1. La couche d'ozone

- a. Rappeler ce qu'est un photon.
- b. À quelle condition, concernant les deux transformations chimiques données dans le document 1, la quantité d'ozone stratosphérique reste constante en moyenne pendant l'année ?
- c. La concentration d'ozone stratosphérique est minimale au voisinage des pôles. Trouver une explication en utilisant les informations de l'énoncé.
- d. En utilisant les informations de l'énoncé, trouver une explication au fait que l'ozone soit pratiquement absente de l'atmosphère aux basses altitudes.

2. L'astronomie en ultraviolets (voir document 2)

- a. L'astronomie en ultraviolets n'a été possible qu'à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle.
Quelle avancée technologique a pu rendre possible ce type d'observation ?
- b. Les étoiles dont le maximum d'émission se situe dans l'ultraviolet apparaissent bleues en observation visuelle.
Proposer une explication.
- c. Quelle doit être la température de surface minimum d'une étoile pour que son maximum d'émission thermique ne soit pas détectable par un instrument d'observation au sol ?
- d. Expliquer en quoi consiste une « transition électronique ». Expliquer les expressions « niveau fondamental » et « niveau excité ».
- e. Pour que l'on puisse observer une raie d'absorption dans un nuage interstellaire, comment doivent être disposés les uns par rapport aux autres la source de lumière, le nuage et le site d'observation ?
- f. Préciser quels sont les niveaux initial et final d'un atome d'hydrogène responsable de la raie d'absorption Lyman α . Calculer la longueur d'onde de cette raie. En astronomie, est-elle détectable par un instrument d'observation terrestre ?

Raisonner

Il faut sélectionner l'information (ou les informations) qui présente un lien pertinent avec le phénomène à expliquer. Pour cette question et la suivante, il faut avoir remarqué le rôle des UV sur les réactions chimiques mises en jeu.

Une solution

1. a. Un photon est un quantum d'énergie associée au rayonnement électromagnétique.
- b. Il faut qu'en moyenne, en une année, la quantité d'ozone formée par la première réaction soit égale à la quantité d'ozone consommée par la deuxième.
- c. L'intensité lumineuse solaire moyenne est minimale au niveau des pôles. Les réactions responsables de la présence d'ozone nécessitant de l'énergie lumineuse, elles sont moins importantes que dans les autres régions.
- d. À basse altitude, les ultraviolets nécessaires à la formation de l'ozone sont absents parce qu'ils ont été fortement absorbés par les couches supérieures de l'atmosphère.

Connaissances

On a vu, en classe de première, que le spectre du rayonnement thermique est un spectre continu ; on a expliqué aussi comment la composition d'un spectre lumineux explique la couleur d'un corps. Les UV n'étant pas visibles, ils n'interviennent pas sur la couleur de l'étoile.

Application numérique

Attention aux unités. Il faut exprimer la longueur d'onde en mètre.

2. a. Pour étudier les ultraviolets en provenance de l'espace, il faut s'affranchir du filtrage par l'atmosphère. Ceci n'a été possible que lorsqu'on a pu envoyer des instruments d'observation dans l'espace, surtout des instruments transportés par satellites.

Remarque : Avant que l'on ait su mettre des satellites en orbite, des instruments transportés par des fusées ont permis des observations de courtes durées.

b. Si le maximum d'émission se situe dans l'ultraviolet, cela signifie que, dans le domaine visible, les radiations les plus intenses se situent du côté du bleu et du violet. Pour l'œil, la sensation est celle d'une couleur bleue.

c. L'atmosphère est opaque aux rayonnements UV pour des longueurs d'onde inférieures à 310 nm.

D'après la loi de Wien, cette longueur d'onde λ correspond au maximum d'émission

$$\text{pour une température } T = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{\lambda} = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{310 \times 10^{-9}} = \mathbf{9,4 \times 10^3 \text{ K.}}$$

Au-delà de cette température, le maximum d'émission ne peut pratiquement plus être détecté depuis le sol.

d. Une transition électronique d'un atome est un changement de niveau d'énergie de l'atome. Le niveau fondamental est le niveau d'énergie le plus bas de l'atome.

Tous les autres niveaux sont des niveaux excités.

e. Pour que l'on puisse observer une absorption par un nuage, il faut que la lumière analysée et provenant de la source ait traversé le milieu absorbant : le nuage doit être situé entre la source (étoiles chaudes) et le site d'observation.

f. S'il y a absorption, c'est que l'atome a reçu de l'énergie et est passé à un état d'énergie supérieur : ici, le niveau initial est le niveau fondamental et le niveau final est le niveau 2.

L'énergie du photon absorbé est égale à la différence d'énergie $\Delta \mathcal{E}$ entre les deux premiers niveaux :

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{soit } \lambda = \frac{hc}{\Delta \mathcal{E}}.$$

Application numérique

Il faut exprimer les énergies en joule.

$$\text{A.N. : } \lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{10,2 \times 1,6 \times 10^{-19}} = 1,2 \times 10^{-7} \text{ m} = \mathbf{1,2 \times 10^2 \text{ nm.}}$$

Il s'agit donc d'une radiation située dans les UV lointains presque totalement arrêtés par l'atmosphère. Cette raie est donc inobservable depuis le sol terrestre.