10 novembre 2011

CORRECTION - COMPOSITION n°1 – PREMIERES S2 & S5

Durée : 2h00 calculatrice autorisée

L'analyse de la lumière provenant du Soleil fournit de nombreuses informations sur l'étoile de notre système solaire. On se propose dans ce problème d'étudier quelques moyens d'obtenir ces informations.

1. Etude d'une lunette astronomique afocale.

On se propose d'étudier une lunette astronomique qui permet d'observer l'image du Soleil par une projection sur un écran. Cette lunette est constituée :

- *d'un objectif convergent de distance focale $f_1' = 900$ mm ;*
- *d'un oculaire convergent de distance focale $f_2' = 20$ mm.*

Le diamètre apparent du Soleil, qui correspond à l'angle que font les rayons lumineux provenant de l'extrémité du Soleil avec l'axe optique aligné avec le centre du Soleil, vaut $\alpha = 9{,}33\times10^{-3}$ rad.
A la sortie de l'oculaire, le diamètre apparent exprimé en radian de l'image définitive A'B' est noté α' .
On note $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$ le grossissement de la lunette astronomique.
Dans la suite de l'exercice, on assimilera l'objectif de cette lunette à une lentille mince (L_1) convergente de centre optique O_1, de foyers objet et image respectifs F_1 et F'_1.
L'oculaire sera assimilé à une lentille mince (L_2) convergente de centre optique O_2, de foyers objet et image respectifs F_2 et F'_2.
L'objectif de cette lunette, donne d'un objet AB très éloigné (considéré à l'infini), une image intermédiaire A_1B_1 située entre l'objectif et l'oculaire. L'oculaire qui sert à examiner cette image intermédiaire, en donne une image définitive A'B'. Lorsque cette image définitive est à l'infini, la lunette est dite afocale.

Les schémas des figures (1 et 2) donnés en ANNEXE ont été réalisés sans considérations d'échelle.

1.1. Le point A de l'objet *AB* situé à l'infini, est sur l'axe optique de la lentille L_1 (**voir figure 1 de l'ANNEXE, à rendre avec la copie**).

1.1.1. Où se forme l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet *AB* par rapport à l'objectif ? Construire cette image sur la **figure 1**.

L'objet AB est situé « à l'infini » de la lentille L_1. Cela signifie que les rayons lumineux issus d'un point quelconque de l'objet lumineux AB arrivent sur la lentille parallèles entre eux. Ils vont donc émerger de la lentille en convergeant tous en un point image appartenant au plan focal image de l'objectif.
A_1B_1, image de AB à travers L_1 (l'objectif), se forme dans le plan focal de L_1.

1.1.2. Calculer la taille de A_1B_1. L'angle α étant petit, on pourra utiliser l'approximation $\tan \alpha \approx \alpha$ (rad).

On a : $\tan \alpha = A_1B_1 / O_1F'_1 \approx \alpha$ car l'angle alpha est petit.
$\mathbf{A_1B_1} = \alpha . O_1F'_1 = 9{,}33.10^{-3}.900.10^{-3} = \mathbf{8{,}40.10^{-3}\ m}$ (8,40 mm)

1.2. L'image intermédiaire A_1B_1 donnée par l'objectif constitue un objet pour l'oculaire.

1.2.1. Quelle position particulière doit occuper A_1B_1 pour que l'image *A'B'* soit rejetée à l'infini ? Justifier.

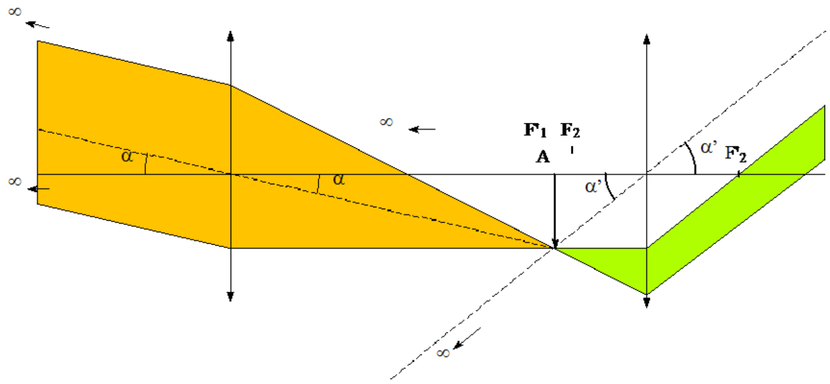
Soit A'B' l'image, à travers L_2 (l'oculaire) de A_1B_1. Pour que cette image soit « à l'infini », il faut que A_1B_1 se situe **dans le plan focal objet de L_2**. Cette image A'B' est virtuelle. Tous les rayons issus d'un point quelconque de l'objet A_1B_1 et qui pénètrent dans L_2 émergent de cette lentille parallèles entre eux.

1.2.2. Où se trouve alors le foyer objet F_2 de l'oculaire par rapport au foyer image F'_1 de l'objectif pour que la lunette soit afocale ?

Pour placer la lunette dans sa configuration afocale, il faut que le plan focal image de l'objectif et la plan focal objet de l'oculaire coïncident. **Les foyers F'_1 et F_2 sont donc confondus**.

L'intérêt d'une lunette afocale est que l'œil placé derrière l'oculaire ne fait **aucun effort d'accommodation** pour observer l'image A'B' puisque celle-ci se situe « à l'infini ».

1.3. Placer sur la **figure 2 de l'ANNEXE à rendre avec la copie**, les foyers F_2 et F'_2 de l'oculaire.
1.4. Tracer ensuite la marche du faisceau lumineux à travers la lunette.



1.5. Calculer α'. L'angle α' étant petit, on pourra utiliser l'approximation tanα' ≈ α' (rad).

On a : $\tan \alpha' = A_1B_1 / O_2F_2 \approx \alpha'$ car l'angle alpha' est petit.
$\alpha' = 8{,}40.10^{-3} / 20.10^{-3} = \mathbf{4{,}2.10^{-1}}$ **rad**

1.6. En déduire la valeur du grossissement G de cette lunette.

G $= \alpha' / \alpha =$ **45**

2. Etude du spectre solaire.

En plaçant un spectromètre au niveau de l'objectif de la lunette astronomique précédemment étudiée, on obtient le profil spectral de la lumière solaire reproduit ci-dessous.
Les diagrammes d'énergie des atomes d'hydrogène et de sodium sont donnés en annexe.

2.1. Expliquer comment obtenir la température de surface du Soleil en utilisant le profil spectral.

Le profil spectral du Soleil se rapproche beaucoup de celui du **corps noir**. La **loi de Wien** peut donc être appliquée à cette étoile. Cette loi fait le lien entre la température du corps et la longueur d'onde de la radiation du spectre qui est émise avec le maximum d'intensité :

$$\mathbf{T.\lambda_{max} = 2{,}89.10^{-3}\ K.m}$$

Pour déterminer la température de l'étoile, on détermine λ_{max} à l'aide du profil spectral puis on utilise la loi de Wien.

2.2. Calculer la température de surface du Soleil.

$T = 2{,}89.10^{-3} / \lambda_{max}$
On trouve à partir du profil spectral : $\lambda_{max} = 480$ nm
T $= 2{,}89.10^{-3} / 480.10^{-9} =$ $\mathbf{6{,}02.10^{3}}$ **K**

2.3. A quoi sont dus les creux d'intensité lumineuse sur le profil spectral ?

Le spectre du Soleil est un spectre thermique continu d'émission. Toutes les radiations sont émises au cœur du Soleil et rayonnent dans toutes les directions de l'espace. Ces radiations, avant de parcourir l'espace et de parvenir sur Terre, traversent la chromosphère (atmosphère du Soleil). Les atomes qui constituent ce gaz à faible pression qui enveloppe l'étoile vont absorber certaines radiations et passer dans un état excité. En se désexcitant, ils reémettent l'énergie sous forme de photons, dans toutes les directions de l'espace.

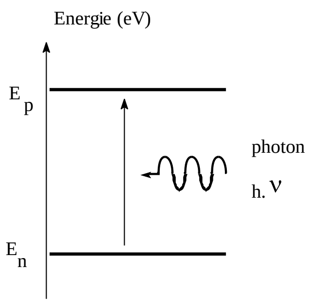
Lorsqu'on analyse sur Terre la lumière provenant du Soleil à l'aide d'un spectroscope, on observe un spectre d'absorption de raies car la grande majorité des photons émis lors de la déexcitation des atomes de la chromosphère n'atteint plus le spectroscope.

Les creux observés sur le profil spectral du Soleil correspondent donc aux radiations absorbées par les atomes de la chromosphère.

2.4. A quelle condition de la lumière peut-elle être absorbée par un atome ?

Pour qu'un photon soit absorbé par un atome, il faut que son énergie h.ν corresponde **exactement** à la différence d'énergie entre deux niveaux énergétique de l'atome.

2.5. En déduire la relation existant entre la longueur d'onde d'un photon absorbé et la différence de niveau d'énergie de l'atome absorbant la lumière.



Energie de l'atome à l'état initial : E_n
Energie de l'atome à l'état final : E_p
Variation de l'énergie de l'atome lors de cette transition : $E_p - E_n$
Energie du photon absorbé : h.ν
Principe de conservation de l'énergie : $E_p - E_n = h.\nu$
Or $h.\nu = h / T = h.c / \lambda_0$

Conclusion :

$$\mathbf{E_p - E_n = h.c / \lambda_0}$$

2.6. Montrer que le profil spectral de la lumière solaire permet d'identifier la présence d'hydrogène dans l'atmosphère solaire.

• Considérons le creux visible sur le profil spectral à la longueur d'onde : **431 nm**
Calculons l'énergie du photon absorbé correspondant à ce creux : $E_{photon} = h.c / \lambda$
$E_{photon} = 6{,}63.10^{-34}.3{,}00.10^{8} / 431.10^{-9} = 4{,}61.10^{-19}$ J = 2,88 eV
On regarde sur le diagramme énergétique de l'hydrogène si il existe une transition correspondant à un saut énergétique de 2,88 eV. On remarque que $\mathbf{E_4 - E_1}$ = 2,86 eV. Il est donc très probable que ce premier creux corresponde à une absorption de lumière par un atome d'hydrogène présent dans la chromosphère.
• Considérons le creux visible sur le profil spectral à la longueur d'onde : **658 nm**
Calculons l'énergie du photon absorbé correspondant à ce creux : $E_{photon} = h.c / \lambda$
$E_{photon} = 6{,}63.10^{-34}.3{,}00.10^{8} / 658.10^{-9} = 3{,}02.10^{-19}$ J = 1,89 eV
On regarde sur le diagramme énergétique de l'hydrogène si il existe une transition correspondant à un saut énergétique de 1,89 eV. On remarque que $\mathbf{E_2 - E_1}$ = 1,89 eV. Ce second creux correspond lui aussi à une absorption de lumière par un atome d'hydrogène présent dans la chromosphère.

L'étude de la lumière provenant de l'étoile Rigel, située à 770 années-lumière de la Terre dans la constellation d'Orion, permet de classer celle-ci dans la catégories des « supergéantes bleues ». En effet, son diamètre vaut 84 fois celui du Soleil et sa température de surface vaut 10.10^3 K.
Le profil spectral de Rigel est reproduit ci-dessous.

2.7. Montrer que ce document permet de vérifier la valeur donnée de la température de surface de Rigel.

Rigel rayonne comme le corps noir. On peut appliquer la loi de Wien : $T.\lambda_{max} = 2{,}89.10^{-3}$ K.m
Pour déterminer la température de l'étoile, on détermine λ_{max} à l'aide du profil spectral : λ_{max} = 450 nm
$T = 2{,}89.10^{-3} / 450.10^{-9} = \mathbf{6{,}42.10^3}$ **K**
On obtient une température dont l'ordre de grandeur est bien celui de la valeur indiquée par l'énoncé.

2.8. Pourquoi qualifie-t-on cette étoile de « bleue » ?

On voit sur le profil spectral que les radiations les plus intenses, émises par le cœur de Rigel, ont des longueurs d'onde appartenant à la partie bleue et violette du spectre visible. D'où le nom d'étoile « bleue ».

2.9. Retrouve-t-on de l'hydrogène dans l'atmosphère de cette étoile ?

Les creux observés sur le spectre sont peu profonds pour la plupart. Ceux qui sont bien visibles dans l'intervalle 700 / 800 nm ne correspondent pas à de l'hydrogène mais à de l'eau et du dioxygène présents dans l'atmoshère terrestre.
On peut cependant retrouver certains creux beaucoup moins prononcés qui correspondent à des atomes d'hydrogène de la chromosphère.

3. Découverte historique de l'hélium.

La première indication de l'hélium est observée le 18 août 1868, comme **une raie jaune brillante** *à une longueur d'onde de 587,49 nm dans le spectre de l'atmosphère du Soleil, une fine couche de gaz à basse pression et haute température appelée chromosphère. Cette raie est détectée par l'astronome français Jules Janssen pendant une éclipse totale à Guntur, en Inde.* **L'éclipse totale permet en effet l'observation de la lumière émise par la chromosphère solaire, en masquant l'éclat de l'étoile**. *Les astronomes pensent d'abord que cette raie est celle du sodium. Le 20 octobre de la même année, l'astronome anglais Norman Lockyer montre qu'elle est* **émise par un élément présent dans le Soleil**, *mais inconnu à l'époque sur Terre. Lockyer et le chimiste anglais Edward Frankland nomment cet élément d'après le mot grec pour Soleil (hélios).*

3.1. Quelles indications du texte permettent de comprendre que la raie observée est une raie d'émission ?

Voir texte ci-dessus

3.2. Présenter le modèle qui permet d'expliquer que l émission de lumière par un atome ne se fait que pour des certaines longueurs d'ondes.

Les physiciens ont montré que l'énergie de l'atome était **quantifiée**. Cette énergie ne peut prendre des valeurs que **discrètes**.
Pour émettre de la lumière (un **photon**), un atome doit effectuer une **transition** d'un niveau énergétique élevé (correspondant à un état excité) vers un niveau énergétique moins élevé. Le photon émis possède exactement l'énergie qui a été perdue par l'atome lors de la transition. Cette énergie s'exprimant en fonction de la longueur d'onde du photon (h.c / λ), on comprend que l'émission de lumière par un atome ne puisse se faire que pour certaines longueurs d'onde bien précises.

3.3. Calculer l'énergie du photon correspondant à la raie jaune de l'hélium.

E_{photon} = h.c / λ = 3,39.10-19 J = 2,12 eV

3.4. En utilisant le diagramme d'énergie simplifié du sodium, expliquer pourquoi les astronomes ont d'abord confondu la raie jaune de l'hélium avec celle du sodium.

Pour l'atome de sodium, le photon émis lors de la transition E_1 / E_0 a une énergie de 2,11 eV.
On comprend que les physiciens aient confondu les deux éléments He et Na.