Observer le Soleil en "H alpha"

Bac S 2018 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 En déduire la fréquence ν_α de la radiation Hα, de longueur d'onde dans le vide λ_α.

Données utiles $\lambda_\alpha = 656{,}3$ nm ; $c = 2{,}998 \times 10^8$ m · s^{-1}

Dans le vide, longueur d'onde et fréquence sont liées par $\lambda_\alpha = \dfrac{c}{\nu_\alpha}$, d'où $\nu_\alpha = \dfrac{c}{\lambda_\alpha}$.

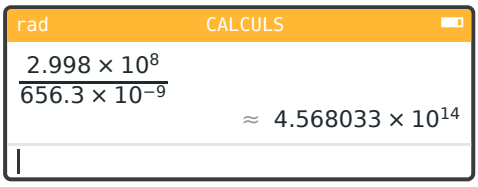
$$\nu_\alpha = \frac{2{,}998 \times 10^8}{656{,}3 \times 10^{-9}}$$

$\nu_\alpha = 4{,}568 \times 10^{14}$ Hz

PIÈGE
Laisser λ_α en nanomètres : il faut l'écrire $656{,}3 \times 10^{-9}$ m pour obtenir des hertz.

COMPRENDRE
Les deux données ont quatre chiffres significatifs : le résultat en garde quatre. Cette règle vaut pour tous les calculs de l'exercice.

À LA CALCULATRICE



1.2 Identifier la transition qui correspond à l'émission de la raie Hα.

Données utiles $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J · s ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J ; ν_α (1.1) ; niveaux du diagramme : $E_2 = -3{,}40$ eV, $E_3 = -1{,}51$ eV

Énergie du photon émis : $E = h\,\nu_\alpha = \dfrac{h\,c}{\lambda_\alpha}$

$$E = \frac{6{,}626 \times 10^{-34} \times 2{,}998 \times 10^8}{656{,}3 \times 10^{-9}} = 3{,}027 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

En électronvolts : $E = \dfrac{3{,}027 \times 10^{-19}}{1{,}602 \times 10^{-19}} = 1{,}889$ eV.

Cette énergie est égale à l'écart entre deux niveaux de l'atome. Sur le diagramme : $E_3 - E_2 = -1{,}51 - (-3{,}40) = 1{,}89$ eV.

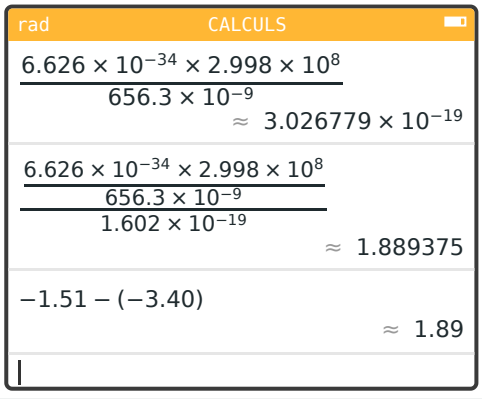
Lors d'une émission, l'atome perd de l'énergie : il passe du niveau supérieur au niveau inférieur.

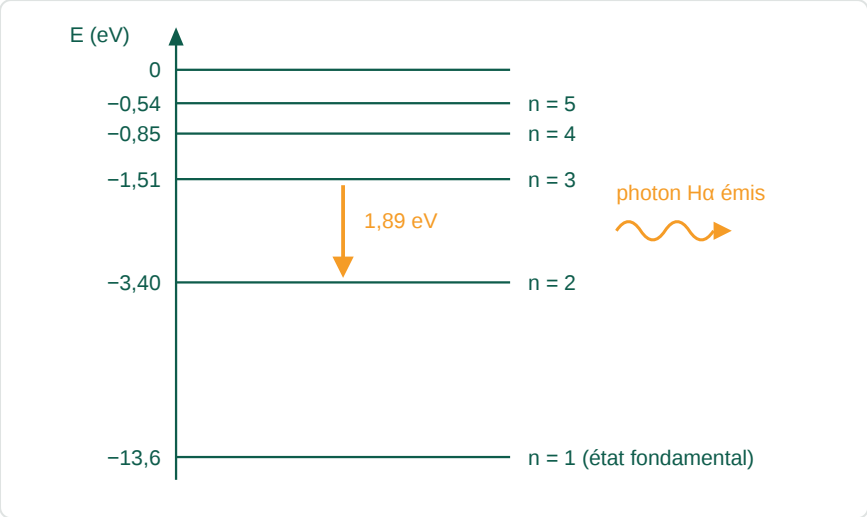
La raie Hα correspond à la transition du niveau $n = 3$ vers le niveau $n = 2$.

PIÈGE
Donner les deux niveaux sans le sens. Pour une émission, la flèche descend : de $n = 3$ vers $n = 2$. Le sens inverse décrit une absorption.

MÉTHODE
Convertir l'énergie du photon en électronvolts, puis chercher sur le diagramme les deux niveaux dont la différence donne cette valeur. Les écarts avec $n = 1$ dépassent 10 eV : inutile de les tester.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Diagramme des niveaux d'énergie de l'hydrogène : transition de la raie Hα

2.1.1 Quelle expérience permet d'obtenir de façon certaine des interférences ?

Des interférences ne s'observent que si les deux ondes qui se superposent sont cohérentes : même fréquence et déphasage constant au cours du temps.

Dans l'expérience n°2, les deux fentes sont éclairées par le même faisceau laser : les ondes issues de S_1 et S_2 proviennent d'une source unique, elles sont cohérentes. Dans l'expérience n°1, les deux lasers sont des sources indépendantes : rien ne garantit la cohérence.

C'est l'expérience n°2 (fentes d'Young) qui donne des interférences de façon certaine.

COMPRENDRE
Deux lasers distincts, même de couleur identique, émettent des ondes dont le déphasage varie au hasard très rapidement : les franges se brouillent. Diviser un seul faisceau est le moyen sûr d'obtenir deux sources cohérentes.

2.1.2 À quelle condition, portant sur le retard τ et la période T, le point M appartient-il à une frange brillante ? à une frange sombre ?

Frange brillante : les deux ondes arrivent en phase en M (interférences constructives). Le retard est un nombre entier de périodes : $\tau = k\,T$, avec k entier relatif.

Frange sombre : les deux ondes arrivent en opposition de phase en M (interférences destructives). Le retard est un nombre impair de demi-périodes : $\tau = (2k+1)\,\dfrac{T}{2}$, avec k entier relatif.

Frange brillante : $\tau = k\,T$; frange sombre : $\tau = \left(k + \dfrac{1}{2}\right) T$ (k entier).

PIÈGE
Écrire les conditions avec λ : la question porte sur τ et T. Ne pas oublier de préciser que k est un entier.

COMPRENDRE
C'est la même condition que celle sur la différence de marche δ : comme $\delta = c\,\tau$ et $\lambda = c\,T$, écrire $\delta = k\,\lambda$ revient à écrire $\tau = k\,T$.

2.2.1 Vérifier que, pour $d = 49{,}88\ \mu$m et $i = 0{,}000^\circ$, les interférences sont constructives pour $\lambda_\alpha = 656{,}3$ nm. Préciser la valeur de k.

Données utiles condition d'interférences constructives : $2\,d\cos(i) = k\,\lambda$, avec k entier

On calcule le rapport $k = \dfrac{2\,d\cos(i)}{\lambda_\alpha}$ et on regarde s'il est entier.

$$k = \frac{2 \times 49{,}88 \times 10^{-6} \times \cos(0{,}000^\circ)}{656{,}3 \times 10^{-9}} = 152{,}0$$

Avec la précision des données (quatre chiffres significatifs), ce rapport est un nombre entier : la condition est vérifiée.

Les interférences sont constructives pour λ_α, avec $k = 152$.

PIÈGE
Mélanger les unités : d est en micromètres (10^{-6} m) et λ_α en nanomètres (10^{-9} m). Une erreur de puissance de dix donne $k = 0{,}152$ et une conclusion fausse.

COMPRENDRE
La calculatrice affiche 152,004 et non 152 exactement : l'écart porte sur le cinquième chiffre, au-delà de la précision de d et de λ_α. On conclut donc bien que k est entier.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$\frac{2 \times 49.88 \times 10^{-6} \times \cos(0^\circ)}{656.3 \times 10^{-9}} \approx 152.0037$$

2.2.2 Parmi les longueurs d'onde vérifiant la condition d'interférences constructives, déterminer celle qui précède directement ou qui suit (au choix) la radiation de longueur d'onde λ_α.

Données utiles $d = 49{,}88\ \mu$m ; $i = 0{,}000^\circ$; $k = 152$ pour λ_α (2.2.1)

Les longueurs d'onde transmises vérifient $\lambda = \dfrac{2\,d\cos(i)}{k}$. Les voisines de λ_α correspondent aux entiers voisins de 152.

Choix : $k = 153$ (longueur d'onde plus petite, celle qui précède λ_α).

$$\lambda_{153} = \frac{2 \times 49{,}88 \times 10^{-6} \times \cos(0{,}000^\circ)}{153} = 6{,}520 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$\lambda_{153} = 652{,}0$ nm (autre choix possible : $k = 151$, soit $\lambda_{151} = 660{,}7$ nm).

PIÈGE
Croire que $k + 1$ donne la longueur d'onde suivante. λ et k varient en sens inverse : $k = 153$ donne la longueur d'onde qui précède, $k = 151$ celle qui suit.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$\frac{2 \times 49.88 \times 10^{-6} \times \cos(0^\circ)}{153} \approx 6.520261 \times 10^{-7}$$

$$\frac{2 \times 49.88 \times 10^{-6} \times \cos(0^\circ)}{151} \approx 6.606623 \times 10^{-7}$$

2.2.3 Calculer la valeur de l'écart $\Delta\lambda$ entre deux longueurs d'onde successives et vérifier que $\Delta\lambda \approx \dfrac{\lambda_\alpha^2}{2d}$.

Données utiles $\lambda_\alpha = 656{,}3$ nm ; $\lambda_{153} = 652{,}0$ nm (2.2.2) ; $d = 49{,}88\ \mu$m

Écart entre les deux longueurs d'onde successives : $\Delta\lambda = \lambda_\alpha - \lambda_{153} = 656{,}3 - 652{,}0 = 4{,}3$ nm.

Valeur donnée par la relation de l'énoncé :

$$\frac{\lambda_\alpha^2}{2d} = \frac{(656{,}3 \times 10^{-9})^2}{2 \times 49{,}88 \times 10^{-6}} = 4{,}318 \times 10^{-9}\ \text{m} = 4{,}318\ \text{nm}$$

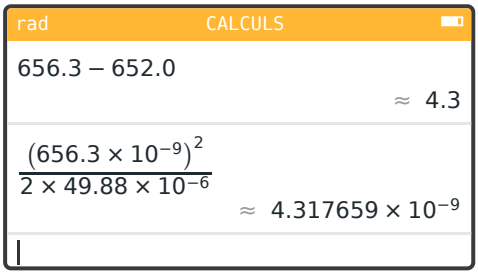
Les deux valeurs coïncident à la précision de la soustraction.

$\Delta\lambda = 4{,}3$ nm et $\dfrac{\lambda_\alpha^2}{2d} = 4{,}318$ nm $\approx 4{,}3$ nm : la relation est vérifiée.

COMPRENDRE
Une soustraction garde la précision du dixième de nanomètre : $\Delta\lambda$ n'a que deux chiffres significatifs. Avec $k = 151$, on trouve $660{,}7 - 656{,}3 = 4{,}4$ nm, valeur tout aussi compatible avec $4{,}318$ nm.

MÉTHODE
Pour « vérifier que A ≈ B », calculer séparément A et B, puis comparer les deux valeurs dans une phrase. Ne jamais partir de l'égalité à démontrer.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Déterminer la longueur d'onde de la radiation transmise commune aux trois filtres A, B et C. Commenter.

On cherche sur le graphique une longueur d'onde pour laquelle les trois courbes présentent en même temps un maximum de transmission. Le filtre B n'a que deux pics (vers 493 nm et vers 657 nm) et le filtre C n'est proche de son maximum qu'entre 650 et 670 nm environ. Le seul pic commun aux trois filtres se lit à environ 657 nm.

Commentaire : à la précision de la lecture, c'est la longueur d'onde de la raie Hα ($\lambda_\alpha = 656{,}3$ nm). Les trois filtres sont donc conçus pour transmettre tous les trois cette radiation.

Radiation commune : $\lambda \approx 657$ nm, c'est-à-dire la raie Hα.

COMPRENDRE
Une graduation vaut 10 nm : la lecture ne donne la position du pic qu'à quelques nanomètres près. La valeur lue n'est donc pas en désaccord avec 656,3 nm.

2.3.2 Les filtres A et B sont de type Fabry-Pérot. Comparer qualitativement leurs paramètres : distance entre les deux miroirs, nature plus ou moins réfléchissante des miroirs.

Données utiles $\Delta\lambda \approx \dfrac{\lambda^2}{2d}$; plus les miroirs sont réfléchissants, plus les pics sont fins

Distance entre les miroirs : les pics du filtre A sont beaucoup plus rapprochés que ceux du filtre B, donc $\Delta\lambda_A < \Delta\lambda_B$. Comme $\Delta\lambda \approx \dfrac{\lambda^2}{2d}$, l'écart $\Delta\lambda$ est d'autant plus petit que d est grand, à longueur d'onde donnée : $d_A > d_B$.

Miroirs : les pics du filtre A sont nettement plus fins que ceux du filtre B (largeur $\delta\lambda$ plus petite). Les miroirs du filtre A sont donc plus réfléchissants.

Le filtre A a des miroirs plus éloignés ($d_A > d_B$) et plus réfléchissants que ceux du filtre B.

PIÈGE
Inverser la comparaison des distances : d est au dénominateur, donc des pics serrés signifient une grande distance entre les miroirs.

2.3.3 Expliquer brièvement pourquoi il est nécessaire de superposer plusieurs filtres pour sélectionner correctement la raie H α.

Aucun filtre ne suffit seul : le filtre A a un pic fin sur Hα mais transmet aussi de nombreuses autres longueurs d'onde ; le filtre B laisse encore passer un second pic vers 493 nm ; le filtre C transmet une large bande de plusieurs dizaines de nanomètres.

Une radiation ne traverse l'ensemble que si elle est transmise par chacun des filtres. B élimine les pics de A voisins de Hα, C élimine le pic de B vers 493 nm.

En superposant les filtres, seule la raie Hα est transmise, avec la finesse du pic du filtre A.

COMPRENDRE
Les coefficients de transmission se multiplient : à une longueur d'onde donnée, il suffit qu'un seul filtre ait un T_r proche de zéro pour que la lumière soit arrêtée.