BURHAN

Atome et mécanique de Newton : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/atome-et-mecanique-de-newton/exercices/examen

Chapitre	Palier	Exercices
Atome et mécanique de Newton	Niveau examen	5

Exercice 1 — 5 pts

Hydrogène d'une nébuleuse : modèle planétaire et raies infrarouges

Le gaz d'une nébuleuse est surtout formé d'atomes d'hydrogène. Des télescopes enregistrent la lumière qu'il émet, jusque dans l'infrarouge.

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par $E_n = -\dfrac{E_0}{n^2}$, avec $E_0 = 13{,}6\,\text{eV}$ et n entier naturel non nul.

Données : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1\,\text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\text{J}$.

A.1. — 0,5 pts

Partie A : le modèle planétaire de l'atome d'hydrogène.

Dans le modèle planétaire, l'électron tourne autour du proton sur une orbite circulaire. Entre ces deux particules, le rapport des valeurs de la force électrostatique et de la force gravitationnelle vaut environ $2{,}27 \times 10^{39}$.

Quelle interaction retient l'électron sur son orbite ? Justifier.

INDICE

Outil : compare l'ordre de grandeur des deux forces.

CORRIGÉ

Comparaison. La force électrostatique est environ 10^{39} fois plus grande que la force gravitationnelle.

Conclusion. C'est l'interaction électrostatique, attractive entre le proton et l'électron, qui retient l'électron ; la gravitation est négligeable.

A.2. — 0,5 pts

D'après la mécanique de Newton, quels rayons d'orbite sont possibles ? Qu'en déduit-on pour l'énergie de l'atome dans ce modèle ?

INDICE

Outil : pense au cas d'un satellite, qui peut tourner à toute altitude.

CORRIGÉ

Orbites. Comme pour un satellite, la mécanique de Newton autorise une orbite circulaire de n'importe quel rayon.

Énergie. À chaque rayon correspond une énergie : toutes les valeurs seraient possibles.

Conclusion. Dans ce modèle, l'énergie de l'atome pourrait varier de façon continue.

A.3. 0,5 pts

Le spectre d'émission d'un gaz d'hydrogène est formé de raies fines. Montrer que ce constat met en défaut le modèle planétaire.

INDICE

Outil : relie une raie à une seule énergie de photon, donc à un seul écart d'énergie.

CORRIGÉ

Raies. Chaque raie correspond à une fréquence précise, donc à une énergie de photon précise.

Énergie de l'atome. L'atome ne perd que certaines énergies : ses états ont des énergies bien déterminées, et non quelconques.

Conclusion. Le spectre de raies montre que l'énergie de l'atome est quantifiée, ce que la mécanique de Newton n'explique pas : à cette échelle, elle cesse d'être valable.

A.4. 0,5 pts

Calculer l'énergie E_3 du niveau $n = 3$, puis l'énergie minimale à fournir pour ioniser un atome qui occupe ce niveau.

INDICE

Outil : l'atome ionisé a l'énergie $E_\infty = 0$.

CORRIGÉ

Niveau 3. $E_3 = -\dfrac{13{,}6}{9} \approx -1{,}51\,\text{eV}$.

Ionisation. $E_\infty - E_3 = \dfrac{E_0}{9} \approx 1{,}51\,\text{eV}$.

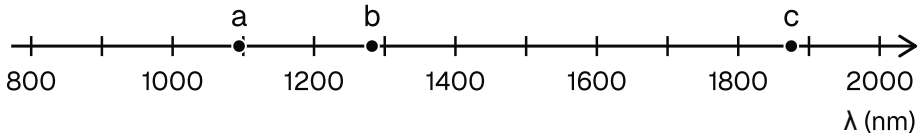
Conclusion. $E_3 \approx -1{,}51\,\text{eV}$, et il faut au moins $1{,}51\,\text{eV}$ pour ioniser un atome au niveau 3.

B.1. 0,5 pts

Partie B : raies infrarouges de la nébuleuse.

Le document montre trois raies mesurées, a, b et c, de longueurs d'onde $\lambda_a = 1094\,\text{nm}$, $\lambda_b = 1282\,\text{nm}$ et $\lambda_c = 1875\,\text{nm}$. Elles sont émises lors de transitions qui aboutissent toutes au niveau $n = 3$, avec $E_n = -\dfrac{E_0}{n^2}$ et $E_0 = 13{,}6\,\text{eV}$.

À quel domaine appartiennent ces trois radiations ?



Trois raies infrarouges mesurées dans la lumière de la nébuleuse

INDICE

Outil : compare les longueurs d'onde aux bornes du visible.

CORRIGÉ

Comparaison. Les trois longueurs d'onde dépassent $800\,\text{nm}$.

Conclusion. Les trois radiations sont infrarouges : l'œil ne les perçoit pas.

B.2. 0,75 pts

À partir de la mesure, calculer en électronvolts l'énergie des photons de la raie b.

INDICE

Outil : l'énergie d'un photon vaut $\dfrac{h\,c}{\lambda}$, avec λ en mètres.

CORRIGÉ

Énergie en joules.

$$E_b = \frac{h\,c}{\lambda_b}$$
$$E_b \approx 1{,}55 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

Conclusion. En divisant par $1{,}60 \times 10^{-19}$, $E_b \approx 0{,}970\,\text{eV}$.

B.3. 0,75 pts

Montrer que la raie b est émise lors de la transition du niveau $n = 5$ au niveau $n = 3$.

INDICE

Outil : l'expression des niveaux donnée dans l'énoncé, appliquée aux deux niveaux de la transition.

CORRIGÉ

Écart calculé. Sans arrondir les niveaux :

$$\Delta E = E_0 \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{25} \right)$$
$$\Delta E \approx 0{,}967\,\text{eV}$$

Comparaison. L'énergie mesurée, $0{,}970\,\text{eV}$, et l'écart calculé diffèrent de moins de $0{,}5\,\%$: cet écart vient des arrondis de E_0 et des constantes.

Conclusion. Aux arrondis près, la raie b correspond à la transition du niveau 5 au niveau 3.

B.4. 1 pts

Identifier le niveau de départ des raies a et c. Expliquer ensuite pourquoi les raies d'une telle série se rapprochent quand la longueur d'onde diminue.

INDICE

Outil : la conservation de l'énergie lors de l'émission ; pour la seconde partie, l'expression des niveaux.

CORRIGÉ

Niveau de départ. L'atome perd l'énergie du photon : il partait du niveau $E_3 + E_{\text{photon}}$.

Raie c. $E_c = \dfrac{h\,c}{\lambda_c} \approx 0{,}663\,\text{eV}$; $E_3 + E_c \approx -0{,}848\,\text{eV}$, proche de $E_4 = -0{,}850\,\text{eV}$.

Raie a. $E_a = \dfrac{h\,c}{\lambda_a} \approx 1{,}14\,\text{eV}$; $E_3 + E_a \approx -0{,}375\,\text{eV}$, proche de $E_6 \approx -0{,}378\,\text{eV}$.

Resserrement. Les niveaux se rapprochent quand n augmente : les écarts avec le niveau 3 croissent de moins en moins, et les longueurs d'onde se serrent.

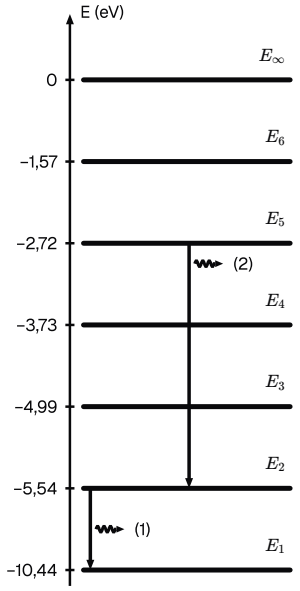
Conclusion. La raie c part du niveau 4 et la raie a du niveau 6 ; le resserrement des niveaux explique celui des raies vers les courtes longueurs d'onde.

Exercice 2 5 pts

Lampe à vapeur de mercure : niveaux, ultraviolet et raies visibles

Une lampe à vapeur de mercure sert à éclairer et à étalonner les spectroscopes. Le document 1 donne six niveaux d'énergie de l'atome de mercure, simplifiés, et deux transitions entre ces niveaux, numérotées (1) et (2).

Données : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$; $1\,\mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$.



Niveaux d'énergie de l'atome de mercure et deux transitions, échelle non proportionnelle

A.1. 0,5 pts

Partie A : diagramme d'énergie et émissions.

Quel niveau correspond à l'état fondamental ? Quelle est l'énergie d'ionisation de l'atome de mercure ?

INDICE

Outil : l'état fondamental a la plus basse énergie ; l'atome ionisé a l'énergie nulle.

CORRIGÉ

Lecture. Le niveau le plus bas est $E_1 = -10{,}44\,\mathrm{eV}$.

Ionisation. $E_{\mathrm{ion}} = E_\infty - E_1 = 10{,}44\,\mathrm{eV}$.

Conclusion. E_1 est l'état fondamental ; l'énergie d'ionisation du mercure vaut $10{,}44\,\mathrm{eV}$.

A.2. 0,5 pts

Les transitions (1) et (2) sont-elles des émissions ou des absorptions ? Justifier.

INDICE

Outil : compare l'énergie du niveau de départ à celle du niveau d'arrivée.

CORRIGÉ

Sens des transitions. (1) va de E_2 à E_1, (2) de E_5 à E_2 : chaque fois, l'atome passe à un niveau plus bas.

Conclusion. L'atome perd de l'énergie et émet un photon : (1) et (2) sont des émissions.

A.3. 0,75 pts

Montrer que la radiation (1) a une longueur d'onde voisine de $254\,\mathrm{nm}$. À quel domaine appartient-elle ?

INDICE

Outil : la relation entre l'écart des deux niveaux et la fréquence du photon émis.

CORRIGÉ

Écart. $\Delta E_1 = E_2 - E_1 = 4{,}90\,\mathrm{eV}$, soit $7{,}84 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$.

Longueur d'onde.

$$\lambda_1 = \frac{h\,c}{\Delta E_1}$$
$$\lambda_1 \approx 2{,}54 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

Conclusion. $\lambda_1 \approx 254\,\mathrm{nm}$, inférieure à $400\,\mathrm{nm}$: la radiation (1) est ultraviolette.

A.4. 0,5 pts

Calculer la longueur d'onde de la radiation (2). Est-elle visible ? Lequel des deux photons est le plus énergétique ?

INDICE

Outil : même démarche ; pour comparer les photons, compare les écarts.

CORRIGÉ

Écart. $\Delta E_2 = E_5 - E_2 = 2{,}82\,\mathrm{eV}$, soit $4{,}512 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$, gardé sans arrondi.

Longueur d'onde.

$$\lambda_2 = \frac{h\,c}{\Delta E_2}$$
$$\lambda_2 \approx 4{,}41 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

Comparaison. $4{,}90\,\mathrm{eV} > 2{,}82\,\mathrm{eV}$.

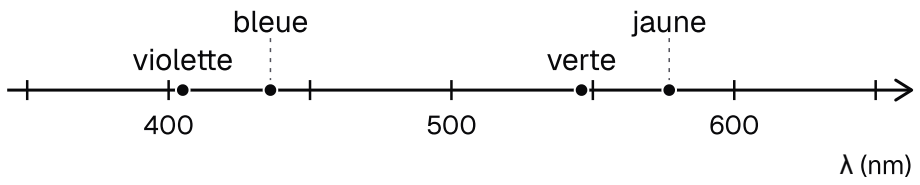
Conclusion. $\lambda_2 \approx 441\,\mathrm{nm}$: la radiation (2) est visible, bleue ; le photon (1), ultraviolet, est le plus énergétique.

B.1. 0,5 pts

Partie B : spectre visible de la lampe.

Le document 2 montre les quatre raies visibles de la lampe, mesurées à $405\,\text{nm}$, $436\,\text{nm}$, $546\,\text{nm}$ et $577\,\text{nm}$.

Proposer un montage permettant d'observer ce spectre et de mesurer la longueur d'onde de ses raies.



Raies visibles de la lampe à vapeur de mercure : violette, bleue, verte et jaune

INDICE

Outil : que faut-il pour séparer les radiations ?

CORRIGÉ

Montage. La lampe éclaire une fente fine ; une lentille en forme l'image ; un réseau ou un prisme disperse la lumière sur un écran.

Mesure. On étalonne la position des raies sur l'écran avec des raies de longueurs d'onde connues, puis on lit chaque raie.

Conclusion. Lampe, fente, lentille, réseau ou prisme et écran étalonné permettent d'observer et de mesurer les raies.

B.2. 0,5 pts

Ce spectre est-il continu ou formé de raies ? Pourquoi un gaz d'atomes excités donne-t-il ce type de spectre ?

INDICE

Outil : relie chaque raie à une transition entre deux niveaux.

CORRIGÉ

Aspect. Quatre raies colorées sur fond noir : c'est un spectre de raies d'émission.

Explication. L'énergie de l'atome est quantifiée : chaque transition émet des photons d'une seule énergie, donc une seule longueur d'onde.

Conclusion. Un gaz d'atomes excités donne un spectre de raies, chaque raie traduisant une transition.

B.3. 0,5 pts

Calculer, en électronvolts, l'énergie des photons de la raie verte du document 2, mesurée à $546\,\text{nm}$.

INDICE

Outil : la relation entre l'énergie d'un photon et la longueur d'onde de la radiation, longueur d'onde en mètres.

CORRIGÉ

Énergie en joules.

$$E = \frac{h\,c}{\lambda}$$
$$E \approx 3{,}64 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

Conclusion. En divisant par $1{,}60 \times 10^{-19}$, les photons de la raie verte transportent $E \approx 2{,}28\,\text{eV}$.

B.4. 1,25 pts

Les niveaux de l'atome de mercure sont rappelés ci-dessous.

Niveau	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
E (eV)	$-10{,}44$	$-5{,}54$	$-4{,}99$	$-3{,}73$	$-2{,}72$	$-1{,}57$

Identifier la transition qui produit la raie verte à $546\,\text{nm}$. Justifier.

INDICE

Outil : cherche deux niveaux dont l'écart vaut l'énergie trouvée, aux arrondis des données près.

CORRIGÉ

Écarts voisins. $E_5 - E_3 = -2{,}72 - (-4{,}99) = 2{,}27\,\text{eV}$; aucun autre écart n'approche $2{,}28\,\text{eV}$ à $0{,}1\,\text{eV}$ près.

Comparaison. $2{,}27\,\text{eV}$ et $2{,}28\,\text{eV}$ diffèrent de moins de $0{,}5\,\%$: c'est l'effet des arrondis des niveaux et des constantes.

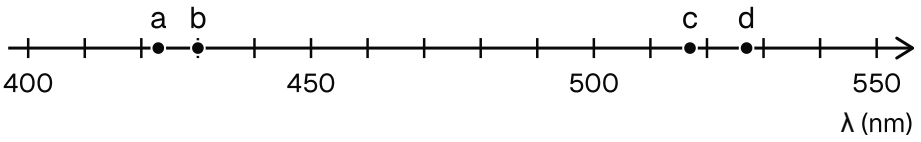
Conclusion. La raie verte est émise lors de la transition du niveau E_5 au niveau E_3.

Exercice 3 — 5 pts

Raies noires dans la lumière d'une étoile

La lumière d'une étoile, analysée au spectroscope d'un observatoire, donne un spectre continu barré de raies noires. Le document 1 en montre quatre, a à d.

Données : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1\,\text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\text{J}$.



Quatre raies noires relevées dans le spectre de l'étoile

A.1. — 0,5 pts

Partie A : identifier des éléments de l'atmosphère de l'étoile.

Les raies noires mesurées valent $\lambda_a = 423\,\text{nm}$, $\lambda_b = 430\,\text{nm}$, $\lambda_c = 517\,\text{nm}$ et $\lambda_d = 527\,\text{nm}$.

Quel type de spectre obtient-on ? Où se forment les raies noires ?

INDICE

Outil : où se trouve le gaz absorbant par rapport à la source de lumière blanche ?

CORRIGÉ

Type. Le fond coloré est continu et quelques raies noires l'interrompent : on reconnaît un spectre de raies d'absorption.

Origine. Les atomes de l'atmosphère de l'étoile absorbent certaines radiations de la lumière émise plus en profondeur.

Conclusion. C'est un spectre d'absorption ; les raies noires se forment dans le gaz de l'atmosphère de l'étoile.

A.2. 0,5 pts

Pourquoi les raies noires d'un élément occupent-elles les longueurs d'onde de certaines de ses raies d'émission ?

INDICE

Outil : une absorption et une émission entre les deux mêmes niveaux mettent en jeu le même écart d'énergie.

CORRIGÉ

Même écart. Un atome absorbe un photon dont l'énergie égale l'écart entre deux de ses niveaux ; il émettrait le même photon entre ces niveaux.

Même longueur d'onde. Ce photon a la longueur d'onde $\dfrac{h\,c}{E_p - E_n}$ dans les deux cas.

Conclusion. Les raies noires d'un élément se placent aux longueurs d'onde de raies d'émission de ce même élément.

A.3. 0,75 pts

Le tableau donne des raies d'émission mesurées au laboratoire.

Élément	Raies (nm)
calcium	423 ; 443 ; 616
fer	430 ; 438 ; 527
magnésium	383 ; 517
césium	456 ; 459

Identifier les éléments présents dans l'atmosphère de l'étoile. Le césium y est-il décelé ?

INDICE

Outil : associe chaque raie noire à une raie du tableau de même longueur d'onde.

CORRIGÉ

Association. a, à $423\,\text{nm}$: calcium ; b et d, à 430 et $527\,\text{nm}$: fer ; c, à $517\,\text{nm}$: magnésium.

Césium. Aucune raie noire ne se trouve à 456 ni à $459\,\text{nm}$.

Conclusion. L'atmosphère de l'étoile contient du calcium, du fer et du magnésium ; ce relevé ne décèle pas de césium.

A.4. 0,5 pts

Laquelle des raies a à d correspond aux photons absorbés les plus énergétiques ? Justifier sans calcul.

INDICE

Outil : l'énergie d'un photon varie comme l'inverse de sa longueur d'onde.

CORRIGÉ

Relation. $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$: la plus petite longueur d'onde donne la plus grande énergie.

Conclusion. La raie a, de plus courte longueur d'onde, correspond aux photons absorbés les plus énergétiques.

B.1. 0,5 pts

Partie B : niveaux d'énergie du calcium.

Le tableau donne quatre niveaux d'énergie de l'atome de calcium.

Niveau	E_1	E_2	E_3	E_4
E (eV)	$-6{,}11$	$-4{,}23$	$-3{,}18$	$-2{,}20$

Un atome de calcium dans l'état fondamental reçoit un photon et passe au niveau E_3. De quelle transition s'agit-il ? Montrer que le photon transporte $2{,}93\,\mathrm{eV}$.

INDICE

Outil : l'atome monte vers un niveau supérieur ; l'énergie reçue égale l'écart des deux niveaux.

CORRIGÉ

Nature. L'atome passe à un niveau plus haut en recevant un photon : c'est une absorption.

Énergie. $E_3 - E_1 = -3{,}18 - (-6{,}11) = 2{,}93\,\mathrm{eV}$.

Conclusion. Il s'agit d'une absorption, et le photon transporte $2{,}93\,\mathrm{eV}$.

B.2. 0,5 pts

Exprimer cette énergie en joules.

INDICE

Outil : un électronvolt vaut $1{,}60 \times 10^{-19}$ joule.

CORRIGÉ

Conversion.

$$\begin{aligned} E &= 2{,}93 \\ &\quad \times 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \\ E &\approx 4{,}69 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

Conclusion. Le photon transporte environ $4{,}69 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$.

B.3. 0,75 pts

Calculer la longueur d'onde de ce photon. La comparer à la raie noire mesurée à $423\,\mathrm{nm}$ et commenter.

INDICE

Outil : la longueur d'onde associée à l'énergie d'un photon, énergie en joules.

CORRIGÉ

Longueur d'onde.

$$\lambda = \frac{h\,c}{E}$$
$$\lambda \approx 4{,}24 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

Comparaison. $424\,\mathrm{nm}$ calculés pour $423\,\mathrm{nm}$ mesurés : l'écart reste inférieur à $0{,}5\,\%$, ce qu'expliquent les arrondis des niveaux et des constantes.

Conclusion. $\lambda \approx 424\,\mathrm{nm}$: cette absorption du calcium explique la raie noire a.

B.4. 1 pts

Un photon de $2{,}03\,\mathrm{eV}$ traverse l'atmosphère de l'étoile. Peut-il être absorbé par un atome de calcium dans l'état fondamental ? Par un atome au niveau E_2 ?

INDICE

Outil : compare l'énergie du photon aux écarts depuis le niveau occupé, puis à l'énergie d'ionisation depuis ce niveau.

CORRIGÉ

Depuis E_1. Les écarts valent $1{,}88$, $2{,}93$ et $3{,}91\,\mathrm{eV}$, et l'ionisation demande $6{,}11\,\mathrm{eV}$: aucune égalité, pas d'ionisation.

Depuis E_2. $E_4 - E_2 = -2{,}20 - (-4{,}23) = 2{,}03\,\mathrm{eV}$: égalité.

Conclusion. Le photon n'est pas absorbé par un atome dans l'état fondamental ; un atome au niveau E_2 l'absorbe et passe au niveau E_4.

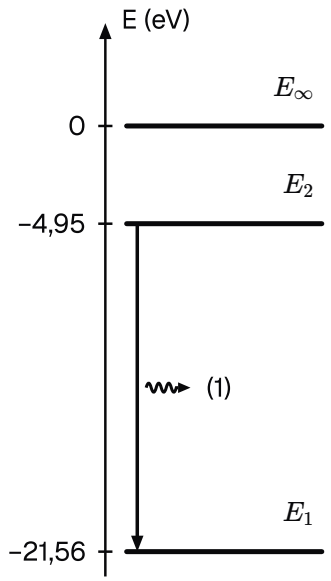
Exercice 4 5 pts

Enseigne au néon : photons ultraviolets et niveaux retrouvés

Une enseigne lumineuse est un tube qui contient du néon sous faible pression. Une décharge électrique porte les atomes dans des états excités ; en revenant vers des niveaux inférieurs, ils émettent de la lumière.

Le document 1 montre l'état fondamental, le premier niveau excité et le niveau de l'atome ionisé.

Données : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\,\mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$.



État fondamental et premier niveau excité de l'atome de néon

A.1. 0,5 pts

Partie A : photons émis vers l'état fondamental.

Donner l'énergie d'ionisation de l'atome de néon et l'énergie du premier niveau excité.

INDICE

Outil : lis les énergies sur l'axe du diagramme ; l'atome ionisé a l'énergie nulle.

CORRIGÉ

Lecture. $E_1 = -21{,}56\,\mathrm{eV}$ et $E_2 = -4{,}95\,\mathrm{eV}$.

Conclusion. L'énergie d'ionisation vaut $E_\infty - E_1 = 21{,}56\,\mathrm{eV}$; le premier niveau excité a l'énergie $-4{,}95\,\mathrm{eV}$.

A.2. 0,5 pts

Montrer que le passage de l'état fondamental au niveau E_2 demande $16{,}61\,\text{eV}$, puis exprimer cette énergie en joules.

INDICE

Outil : l'écart se calcule en retranchant l'énergie du niveau le plus bas.

CORRIGÉ

Écart. $E_2 - E_1 = -4{,}95 - (-21{,}56) = 16{,}61\,\text{eV}$.

Conversion.

$$\begin{aligned}\Delta E &= 16{,}61 \\ &\quad \times 1{,}60 \times 10^{-19}\,\text{J} \\ \Delta E &\approx 2{,}66 \times 10^{-18}\,\text{J}\end{aligned}$$

Conclusion. L'excitation demande $16{,}61\,\text{eV}$, soit environ $2{,}66 \times 10^{-18}\,\text{J}$.

A.3. 0,5 pts

Calculer la fréquence et la longueur d'onde du photon émis lors de la transition (1).

INDICE

Outil : la relation entre la variation d'énergie de l'atome et la fréquence du photon.

CORRIGÉ

Fréquence.

$$\begin{aligned}\nu &= \frac{\Delta E}{h} \\ \nu &\approx 4{,}01 \times 10^{15}\,\text{Hz}\end{aligned}$$

Longueur d'onde. Avec la fréquence non arrondie, $\lambda = \dfrac{c}{\nu} \approx 7{,}48 \times 10^{-8}\,\text{m}$, soit $74{,}8\,\text{nm}$.

Conclusion. Le photon (1) a une fréquence d'environ $4{,}01 \times 10^{15}\,\text{Hz}$ et une longueur d'onde d'environ $74{,}8\,\text{nm}$: il est ultraviolet.

A.4. 0,75 pts

Montrer qu'aucune transition vers l'état fondamental ne produit de lumière visible.

INDICE

Outil : tout niveau excité est au moins aussi haut que E_2.

CORRIGÉ

Écarts. Tout niveau excité E_p vérifie $E_p \geq E_2$, donc $E_p - E_1 \geq 16{,}61\,\text{eV}$.

Longueurs d'onde. $\lambda = \dfrac{h\,c}{E_p - E_1}$ est alors au plus égale à $74{,}8\,\text{nm}$, bien en dessous de $400\,\text{nm}$.

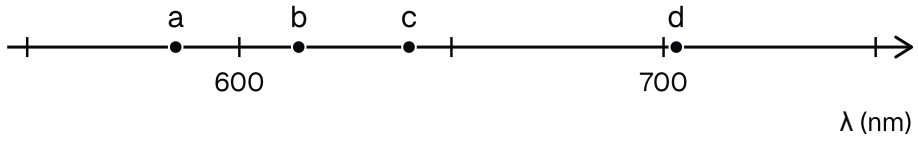
Conclusion. Toute émission vers l'état fondamental est ultraviolette : la lumière visible de l'enseigne vient de transitions entre états excités.

B.1. 0,75 pts

Partie B : niveaux retrouvés à partir des raies mesurées.

Le document 2 montre quatre raies rouges et orangées de l'enseigne. Les raies b, à $614\,\text{nm}$, et c, à $640\,\text{nm}$, aboutissent toutes deux au niveau d'énergie $-4{,}95\,\text{eV}$.

Calculer, en électronvolts, l'énergie des photons de la raie c.



Quatre raies de l'enseigne au néon, de l'orangé au rouge

INDICE

Outil : l'énergie d'un photon associée à une longueur d'onde, puis la conversion en électronvolts.

CORRIGÉ

Énergie en joules.

$$E_c = \frac{h\,c}{\lambda_c}$$
$$E_c \approx 3{,}11 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

Conclusion. En divisant par $1{,}60 \times 10^{-19}$, $E_c \approx 1{,}94\,\text{eV}$.

B.2. 0,5 pts

En déduire l'énergie du niveau de départ de la raie c.

INDICE

Outil : la conservation de l'énergie lors de l'émission : que perd l'atome ?

CORRIGÉ

Niveau de départ. L'atome perd l'énergie du photon : son niveau de départ dépasse le niveau d'arrivée de E_c. Sans arrondi intermédiaire, $E_\text{d} = -4{,}95 + 1{,}94 \approx -3{,}01\,\text{eV}$.

Conclusion. La raie c part d'un niveau d'énergie voisine de $-3{,}01\,\text{eV}$.

B.3. 0,5 pts

Pourquoi la lumière de l'enseigne donne-t-elle un spectre de raies d'émission ? Que verrait-on avec un tube rempli d'un autre gaz ?

INDICE

Outil : les niveaux d'énergie sont propres à chaque élément.

CORRIGÉ

Raies. Les atomes de néon excités perdent de l'énergie par transitions entre niveaux quantifiés : chaque transition donne une raie.

Autre gaz. Ses niveaux, donc ses écarts, sont différents : ses raies se placent à d'autres longueurs d'onde.

Conclusion. Le spectre de l'enseigne est un spectre de raies d'émission propre au néon ; un autre gaz donnerait d'autres raies, à d'autres longueurs d'onde.

B.4. 1 pts

Retrouver de même le niveau de départ de la raie b. Lequel des deux niveaux de départ est le plus haut ? Était-ce prévisible ?

INDICE

Outil : que sais-tu de deux raies qui aboutissent au même niveau ?

CORRIGÉ

Raie b. $E_b = \dfrac{h\,c}{\lambda_b} \approx 2{,}02\,\text{eV}$, donc le niveau de départ vaut $-4{,}95 + 2{,}02 \approx -2{,}93\,\text{eV}$.

Comparaison. $-2{,}93\,\text{eV} > -3{,}01\,\text{eV}$: le départ de la raie b est le plus haut.

Prévision. Les deux raies aboutissent au même niveau ; la plus courte longueur d'onde, celle de b, correspond au plus grand écart.

Conclusion. La raie b part du niveau $-2{,}93\,\text{eV}$, plus haut que celui de la raie c ; c'était prévisible, car $\lambda_b < \lambda_c$.

Exercice 5 5 pts

Tube à décharge d'hélium : forces et raies de l'ion hélium

Dans un tube à décharge rempli d'hélium, une partie des atomes perd un électron. Il se forme des ions hélium He^{+}, faits d'un noyau de charge $+2e$ et d'un seul électron.

Données : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$; $1\,\mathrm{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$.

A.1. 0,5 pts

Partie A : forces dans l'ion hélium.

Grandeur	Valeur
masse du noyau	$m = 6{,}64 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
masse de l'électron	$m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$
distance moyenne	$d = 2{,}65 \times 10^{-11}\,\mathrm{m}$
charge élémentaire	$e = 1{,}60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$
constante de Coulomb	$k = 9{,}00 \times 10^{9}\,\mathrm{N\cdot m^2\cdot C^{-2}}$
constante de gravitation	$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{N\cdot m^2\cdot kg^{-2}}$

Les forces électrostatiques entre le noyau et l'électron sont-elles attractives ou répulsives ? Et les forces gravitationnelles ?

INDICE

Outil : regarde le signe des deux charges ; la gravitation ne dépend que des masses.

CORRIGÉ

Électrostatique. Le noyau est positif, l'électron négatif : les charges sont de signes contraires, les forces sont attractives.

Gravitation. Les forces gravitationnelles sont toujours attractives.

Conclusion. Les deux interactions attirent l'électron vers le noyau.

A.2. 0,5 pts

Calculer la valeur F_e de la force électrostatique.

INDICE

Outil : la loi de Coulomb avec les charges $+2e$ et $-e$.

CORRIGÉ

Expression. $F_e = k\,\dfrac{2e \times e}{d^2} = \dfrac{2\,k\,e^2}{d^2}$.

Application numérique. $2\,k\,e^2 = 4{,}608 \times 10^{-28}\ \mathrm{N\cdot m^2}$ et $d^2 \approx 7{,}02 \times 10^{-22}\ \mathrm{m^2}$:

$$F_e = \frac{2\,k\,e^2}{d^2}$$
$$F_e \approx 6{,}56 \times 10^{-7}\ \mathrm{N}$$

Conclusion. La force électrostatique vaut environ $6{,}56 \times 10^{-7}\ \mathrm{N}$.

A.3. 0,5 pts

Calculer la valeur F_g de la force gravitationnelle.

INDICE

Outil : la loi de gravitation, avec les deux masses en kilogrammes.

CORRIGÉ

Expression. $F_g = G\,\dfrac{m\,m_e}{d^2}$.

Application numérique.

$$F_g = \frac{6{,}67 \times 10^{-11}}{7{,}02 \times 10^{-22}} \times 6{,}64 \times 10^{-27} \times 9{,}11 \times 10^{-31}$$
$$F_g \approx 5{,}75 \times 10^{-46}\ \mathrm{N}$$

Conclusion. La force gravitationnelle vaut environ $5{,}75 \times 10^{-46}\ \mathrm{N}$, calculée avec d^2 non arrondi.

A.4. `0,75 pts`

Montrer que le rapport $\dfrac{F_e}{F_g}$ ne dépend pas de d. Le calculer et conclure sur le rôle de chaque interaction dans l'ion.

INDICE

Outil : écris le rapport des deux expressions littérales avant tout calcul.

CORRIGÉ

Rapport littéral.

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{2\,k\,e^2/d^2}{G\,m\,m_e/d^2}$$
$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{2\,k\,e^2}{G\,m\,m_e}$$

Le facteur d^2 se simplifie.

Application numérique. $\dfrac{F_e}{F_g} \approx 1{,}14 \times 10^{39}$.

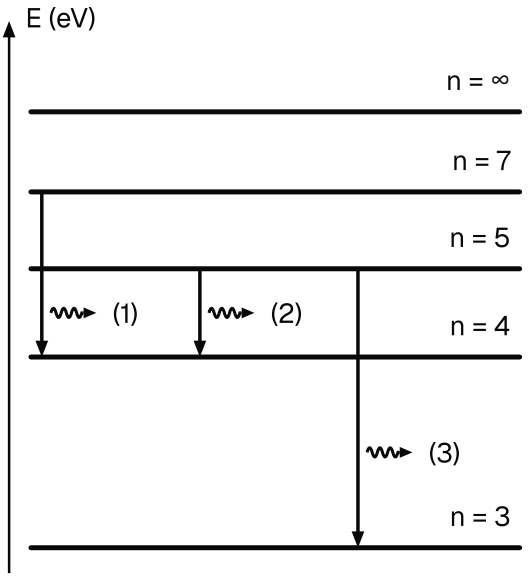
Conclusion. Le rapport, indépendant de d, vaut environ $1{,}14 \times 10^{39}$: l'interaction électrostatique assure seule la cohésion de l'ion, la gravitation est négligeable.

B.1. `0,75 pts`

Partie B : raies de l'ion hélium.

Les niveaux d'énergie de l'ion He^{+} sont donnés par $E_n = -\dfrac{54{,}4}{n^2}\,\mathrm{eV}$. Le document 1 montre cinq de ces niveaux et trois émissions, (1) à (3).

Montrer que $E_4 = -3{,}40\,\mathrm{eV}$, puis calculer E_7.



Cinq niveaux de l'ion hélium et trois émissions numérotées

INDICE

Outil : remplace n par 4, puis par 7, dans l'expression donnée.

CORRIGÉ

Niveau 4. $E_4 = -\dfrac{54{,}4}{16} = -3{,}40\,\mathrm{eV}$.

Niveau 7. $E_7 = -\dfrac{54{,}4}{49} \approx -1{,}11\,\mathrm{eV}$.

Conclusion. $E_4 = -3{,}40\,\mathrm{eV}$ et $E_7 \approx -1{,}11\,\mathrm{eV}$.

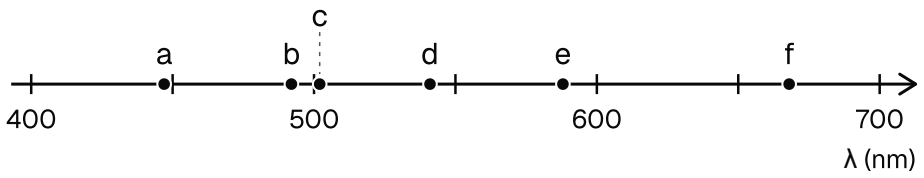
B.2. `0,75 pts`

Le document 2 montre six des raies visibles relevées au spectroscope sur la lumière du tube, de longueurs d'onde mesurées $447\,\text{nm}$, $492\,\text{nm}$, $502\,\text{nm}$, $541\,\text{nm}$, $588\,\text{nm}$, $668\,\text{nm}$.

Les raies visibles de l'atome d'hélium, mesurées au laboratoire, sont données ci-dessous.

Espèce	Raies visibles (nm)
atome d'hélium	447 ; 492 ; 502 ; 588 ; 668

Quelle raie du tube n'est pas émise par l'atome d'hélium ? Proposer une explication à sa présence.



Raies visibles relevées sur la lumière du tube à décharge d'hélium, du violet au rouge

INDICE

Outil : chaque espèce a ses propres raies.

CORRIGÉ

Comparaison. Cinq raies du tube figurent dans le tableau de l'atome d'hélium ; la raie verte à $541\,\text{nm}$ n'y figure pas.

Origine. Le tube contient aussi des ions He^{+}, dont les niveaux diffèrent de ceux de l'atome : ils ont leurs propres raies.

Conclusion. La raie verte à $541\,\text{nm}$ ne vient pas de l'atome d'hélium ; elle peut être émise par les ions He^{+} du tube.

B.3. 0,5 pts

Montrer que la raie à $541\,\text{nm}$ peut être attribuée à la transition (1).

INDICE

Outil : la relation entre l'écart de deux niveaux et la longueur d'onde du photon émis.

CORRIGÉ

Écart. Sans arrondir E_7, $\Delta E = 54{,}4\left(\dfrac{1}{16}-\dfrac{1}{49}\right) \approx 2{,}29\,\text{eV}$, soit $3{,}66\times10^{-19}\,\text{J}$.

Longueur d'onde.

$$\lambda_1 = \frac{h\,c}{\Delta E}$$
$$\lambda_1 \approx 5{,}43\times10^{-7}\,\text{m}$$

Comparaison. $543\,\text{nm}$ calculés pour $541\,\text{nm}$ mesurés : moins de $0{,}5\,\%$ d'écart, dû aux arrondis des données.

Conclusion. La raie verte du tube peut être attribuée à la transition (1), de $n=7$ à $n=4$.

B.4. 0,75 pts

Calculer les longueurs d'onde des radiations (2) et (3). Expliquer pourquoi, des trois transitions du document 1, seule la transition (1) donne une raie du document 2.

INDICE

Outil : les bornes du domaine visible.

CORRIGÉ

Radiation (2). $E_5 - E_4 = 54{,}4\left(\dfrac{1}{16}-\dfrac{1}{25}\right) \approx 1{,}22\,\text{eV}$, d'où $\lambda_2 = \dfrac{h\,c}{E_5-E_4} \approx 1{,}02\times10^{3}\,\text{nm}$.

Radiation (3). $E_5 - E_3 = 54{,}4\left(\dfrac{1}{9}-\dfrac{1}{25}\right) \approx 3{,}87\,\text{eV}$, d'où $\lambda_3 \approx 321\,\text{nm}$.

Domaines. λ_2 dépasse $800\,\text{nm}$: infrarouge ; λ_3 est inférieure à $400\,\text{nm}$: ultraviolet. Seule la radiation (1), vers $543\,\text{nm}$, est visible.

Conclusion. Les radiations (2), à $1{,}02\times10^{3}\,\text{nm}$ environ, et (3), à $321\,\text{nm}$ environ, sont hors du visible : le document 2 ne montre que la raie de la transition (1).