

# INTERACTION LUMIERE-MATIERE

Tout rayonnement monochromatique de fréquence  $\nu$  peut être considéré comme un ensemble de corpuscules, appelés **photons**, transportant chacun un **quantum d'énergie  $h \cdot \nu$**

**L'énergie d'un photon** de fréquence  $\nu$  se note  $\Delta E$ .

$$\Delta E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$h$  est appelée constante de Planck.  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$

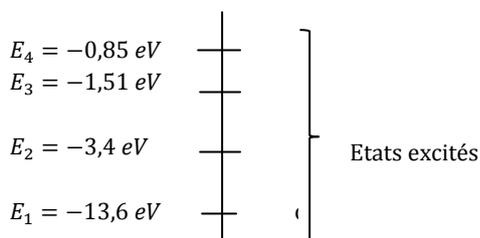
$\nu$  est la fréquence de rayonnement, exprimée en Hz.

$\lambda$  est la longueur d'onde dans le vide, exprimée en m.

$c$  est la vitesse de la lumière dans le vide.  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

## Les niveaux d'énergie de la matière

*Exemple : Diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène*

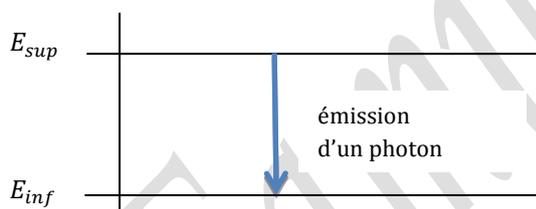


Dans son état fondamental, l'atome est à son niveau d'énergie le plus bas.

Les autres niveaux correspondent à des états d'excitation de l'atome.

## L'émission de lumière

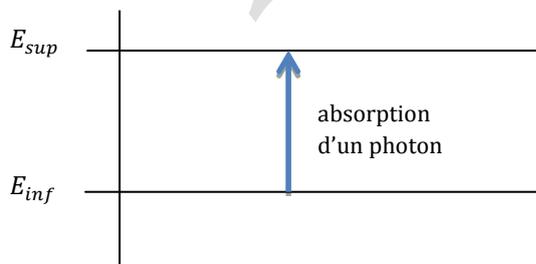
L'émission de lumière se fait par la perte d'énergie de l'électron.



*Exemple :* Un atome de sodium (de niveau d'énergie  $E_2$ ) retourne à son état fondamental  $E_1$  en émettant un photon d'énergie  $\Delta E = E_2 - E_1 = 2,11 \text{ eV}$ .

## L'absorption de lumière

L'absorption de lumière se fait par le gain d'énergie de l'électron.



Un atome de sodium à son état fondamental ( $E_1 = -5,14 \text{ eV}$ ) peut absorber un photon d'énergie  $\Delta E = 2,11 \text{ eV}$ , ce qui lui permet de passer à son premier niveau excité.

En revanche, un photon de  $2,00 \text{ eV}$  ne sera pas absorbé.

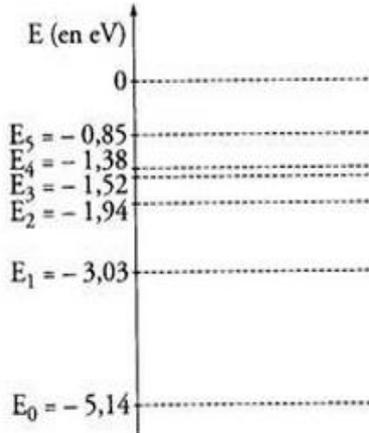
Pour calculer la raie de longueur d'onde, on applique la formule :

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{sup} - E_{inf}}$$

## Exercices

### Exercice 1

#### Spectre de sodium



Le spectre d'émission d'une lampe à vapeurs de sodium est un spectre de raies. Dans le visible, la raie la plus intense est la raie jaune, de longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 589$  nm.

- Calculer, en eV, l'énergie des photons associés à cette radiation
- On donne ci-contre le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium.
  - Quel est le niveau d'énergie de l'état fondamental de l'atome ?
  - Vérifier que la raie jaune correspond à la désexcitation d'un atome de sodium du premier état excité vers l'état fondamental

### Exercice 2

On éclaire la vapeur de sodium avec une lumière blanche.

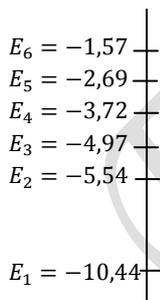
Le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium est donné dans l'exercice 1.

Un atome de sodium, initialement à l'état fondamental, peut-il absorber un photon :

- dont l'énergie est de 3,0 eV ?
- de fréquence  $8,75 \times 10^{14}$  Hz ?
- de longueur d'onde 679,5 nm ?

### Exercice 3

#### Spectre d'émission du mercure



Le spectre d'émission du mercure contient trois raies intenses : Jaune, verte et bleu indigo, de longueurs d'onde respectives  $\lambda_J = 579,2$  nm ;  $\lambda_V = 546,2$  nm ;  $\lambda_B = 436,0$  nm .

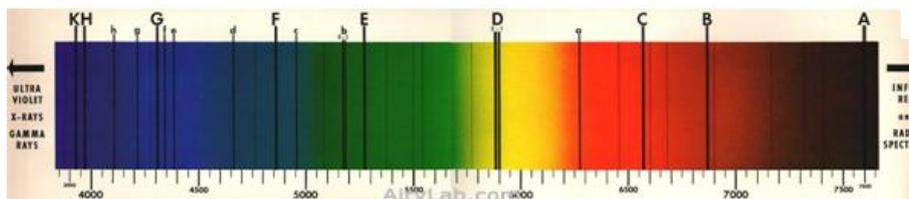
- Calculer l'énergie, en eV, des photons de longueurs d'onde  $\lambda_J$ ,  $\lambda_V$  et  $\lambda_B$ .
- Le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de mercure est donné ci-contre.
  - Quelle raie d'émission du mercure correspond à la désexcitation des atomes de mercure des niveaux  $E_6$  à  $E_4$  ?
  - A quelles désexcitations correspondent les deux autres raies ? Justifier
  - Reproduire le diagramme et représenter par des flèches les trois désexcitations évoquées dans l'exercice.

### Exercice 4

- La raie sombre C correspond à l'absorption de photons de longueur d'onde  $\lambda_C = 656$  nm. Calculer l'énergie  $\Delta E_C$  de ces photons.
- La chromosphère contient, entre autres, des atomes d'hydrogène dont l'énergie du  $n^{\text{ième}}$  niveau d'énergie est donnée par la relation  $E_n = \frac{E_0}{n^2}$  ( $n$  est un entier strictement positif et  $E_0 = -13,6$  eV).
  - Calculer les énergies des quatre premiers niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.
  - Placer ces niveaux d'énergie sur un diagramme.
  - Montrer que l'absorption d'un photon d'énergie  $\Delta E_C$  correspond au passage d'un atome d'hydrogène du premier vers le deuxième état excité.

- d. La raie F, de longueur d'onde 487 nm, correspond au passage d'atomes d'hydrogène du premier état excité vers un autre état excité. Déterminer l'état.
- e. Sur le diagramme de niveaux d'énergie, représenter les absorptions correspondant aux raies C et F du spectre du Soleil.

3



### Exercice 5

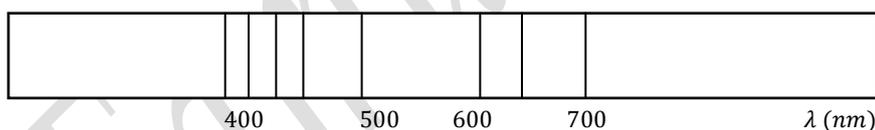
#### La découverte de l'hélium

- Calculer, en eV, l'énergie  $\Delta E$  d'un photon de la raie de longueur d'onde  $\lambda = 587,6$  nm.
  - Le diagramme des niveaux d'énergie de l'atome de sodium, donné dans l'exercice 1, permet-il d'affirmer la présence d'un nouvel élément ? Justifier.
- Reprendre les questions précédentes avec les données plus précises suivantes :
  - $h = 6,626 \times 10^{-34}$  J.s<sup>-1</sup>
  - $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$  J
  - $c = 2,998 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>
  - Deux premiers niveaux d'énergie de sodium :  $E_1 = -5,139$  eV et  $E_2 = -3,034$  eV

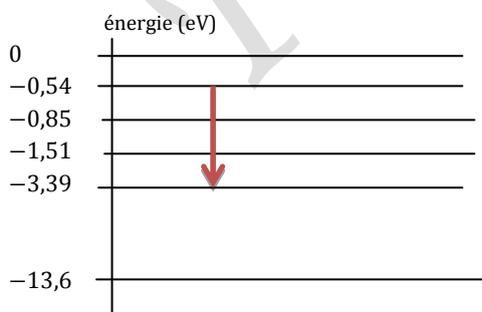
### Exercice 6

#### Etoile filante

Des astronautes ont eu la chance d'observer une étoile filante traverser le champ du télescope. Ils ont pu enregistrer le spectre de la lumière émise, dont voici une partie :



On donne le diagramme d'énergie d'un des éléments mis en évidence par le spectre obtenu :



- Reproduire le spectre obtenu et y indiquer les domaines de la lumière visible, des rayonnements infrarouges et ultraviolets.
- Que représente la flèche sur le diagramme d'énergie ? La raie correspondante est-elle une raie d'émission ou d'absorption ? Justifier.
- Déterminer l'énergie d'un photon de cette raie.
  - En déduire la valeur de la longueur d'onde dans le vide de cette raie.
  - Identifier l'élément mis en évidence par cette raie.

Données : quelques longueurs d'onde de raies (en nm)

- Pour l'azote : 396-404-424-445-463-480-505-550-575-595-648-661
- Pour l'oxygène : 391-397-420-442-465-616-700
- Pour l'hydrogène : 397-412-436-486-656

**CORRECTION**Exercice 1

1. L'énergie d'un photon de longueur d'onde  $\lambda$  est :

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{589 \times 10^{-9}}$$

$$\Delta E = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{2,11 \text{ eV}}$$

2. a. L'énergie du niveau fondamental est la plus faible énergie d'un atome, soit

$$\mathbf{E_1 = -5,14 \text{ eV}}$$

b. La différence d'énergie entre le premier état excité et l'état fondamental d'un atome de sodium est :

$$\mathbf{E_2 - E_1 = -3,03 - (-5,14) = 2,11 \text{ eV}}$$

**C'est bien l'énergie d'un photon de la raie jaune de son spectre d'émission.**

Exercice 2

- a. on a :  $\Delta E = 3,0 \text{ eV}$

Pour qu'un atome de sodium, initialement à l'état fondamental, puisse absorber un photon d'énergie 3,0 eV, il faut que la différence entre  $E_{sup} - E_{inf}$  soit égale à 3,0 eV.

D'après le spectre du sodium :

$$E_4 - E_1 = -1,51 - (-5,14) = 3,63 \text{ eV}$$

$$E_3 - E_1 = -1,94 - (-5,14) = 3,2 \text{ eV}$$

$$E_2 - E_1 = -3,03 - (-5,14) = 2,11 \text{ eV}$$

**Aucune des différences n'est égale à 3,00 eV donc un atome de sodium, initialement à l'état fondamental, ne peut pas absorber un photon d'énergie 3,0 eV.**

Autre méthode :

Si l'atome de sodium pouvait absorber un photon d'énergie 3,0 eV, il existerait un niveau d'énergie  $E_n$  tel que :  $\Delta E = E_n - E_1$

$$\Leftrightarrow 3,0 = E_n - (-5,14)$$

$$\Leftrightarrow 3,0 = E_n - (-5,14)$$

$$\Leftrightarrow 3,0 = E_n - (-5,14)$$

$$\Leftrightarrow E_n = -5,14 + 3,0$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{E_n = -2,14}$$

**Or, ce niveau d'énergie n'existe pas, donc l'atome de sodium ne peut pas absorber un photon d'énergie 3,0 eV.**

b. On a :  $\nu = 8,75 \times 10^{14}$  Hz

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

$$D'où : \Delta E = 6,63 \times 10^{-34} \times 8,75 \times 10^{14} = 58,0125 \times 10^{-20} = 5,8 \times 10^{-19} = 3,63 \text{ eV}$$

D'après le spectre du sodium :

$$E_4 - E_1 = -1,51 - (-5,14) = 3,63 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_4 - E_1 = 3,63 \text{ eV}$$

**Donc l'atome de sodium pourra absorber un photon de fréquence  $8,75 \times 10^{14}$  Hz.**

c. On a :  $\lambda = 679,5$  nm

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{679,5 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E = 0,029 \times 10^{-17} = 2,9 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,8 \text{ eV}$$

D'après le spectre du sodium :

$$E_4 - E_1 = -1,51 - (-5,14) = 3,63 \text{ eV}$$

$$E_3 - E_1 = -1,94 - (-5,14) = 3,2 \text{ eV}$$

$$E_2 - E_1 = -3,03 - (-5,14) = 2,11 \text{ eV}$$

**Aucune des différences n'est égale à 1,8 eV donc un atome de sodium, initialement à l'état fondamental, ne peut pas absorber un photon de longueur d'onde 679,5 nm.**

### Exercice 3

1. Pour  $\lambda_f = 579,2$  nm

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{579,2 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E = 0,034 \times 10^{-17} = 3,4 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,15 \text{ eV}$$

Pour  $\lambda_v = 546,2$  nm

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{546,2 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E = 0,036 \times 10^{-17} = 3,6 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,28 \text{ eV}$$

Pour  $\lambda_p = 436,0$  nm

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{436 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E = 0,046 \times 10^{-17} = 4,6 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,85 \text{ eV}$$

2.

$$a. E_6 - E_4 = -1,57 - (-3,72) = 2,15 \text{ eV}$$

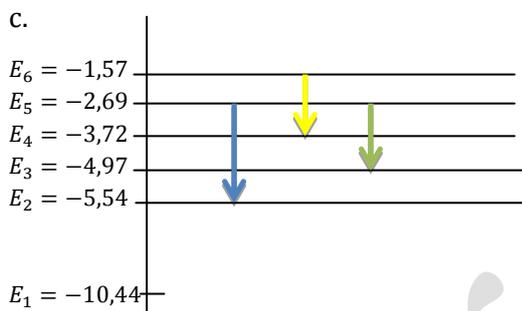
La raie d'émission du mercure qui correspond à la désexcitation des atomes de mercure des niveaux  $E_6$  à  $E_4$  est la raie jaune.

b. Pour  $\lambda_V = 546,2 \text{ nm}$ ,  $\Delta E = 2,28 \text{ eV}$   
 $E_5 - E_3 = -2,69 - (-4,97) = 2,28 \text{ eV}$

La raie d'émission du mercure qui correspond à la désexcitation des atomes de mercure des niveaux  $E_5$  à  $E_3$  est la raie verte.

Pour  $\lambda_B = 436,0 \text{ nm}$ ,  $\Delta E = 2,85 \text{ eV}$   
 $E_5 - E_2 = -2,69 - (-5,54) = 2,85 \text{ eV}$

La raie d'émission du mercure qui correspond à la désexcitation des atomes de mercure des niveaux  $E_5$  à  $E_2$  est la raie bleue.



Exercice 4

1.

$$\Delta E_C = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

D'où :  $\Delta E_C = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{656 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E_C = 0,0303 \times 10^{-17} = 3,03 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{1,89 \text{ eV}}$

2. a.

$$E_n = \frac{E_0}{n^2}$$

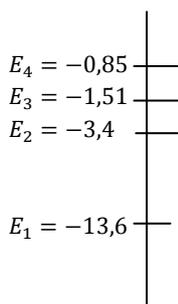
$$E_1 = \frac{E_0}{1^2} = \frac{-13,6}{1} = -13,6 \text{ eV}$$

$$E_3 = \frac{E_0}{3^2} = \frac{-13,6}{9} = -1,51 \text{ eV}$$

$$E_2 = \frac{E_0}{2^2} = \frac{-13,6}{4} = -3,4 \text{ eV}$$

$$E_4 = \frac{E_0}{4^2} = \frac{-13,6}{16} = -0,85 \text{ eV}$$

b.



c.

$$E_3 - E_2 = -1,51 - (-3,4) = \mathbf{1,89 \text{ eV}}$$

On calcule de  $E_3$  à  $E_2$  car on passe du 1<sup>er</sup> état **excité** vers le 2<sup>ème</sup> état **excité**.

Attention :  $E_0 = E_1 =$  état fondamentale

d.

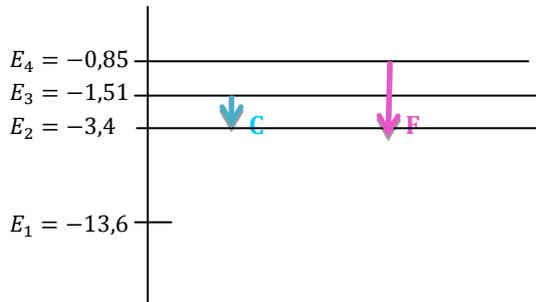
$$\Delta E_F = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E_F = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{487 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E_F = 0,0408 \times 10^{-17} = 4,08 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{2,55 \text{ eV}}$$

$$E_4 - E_2 = -0,85 - (-3,4) = \mathbf{2,55 \text{ eV}}$$

La raie F, de longueur d'onde 487 nm, correspond au passage d'atomes d'hydrogène du deuxième état excité vers le quatrième état excité.

e.



### Exercice 5

1. a.

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{587,6 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E = 0,0338 \times 10^{-17} = 3,4 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{2,11 \text{ eV}}$$

b. **Non** il ne permet pas d'affirmer la présence d'un nouvel élément car  $\Delta E = 2,11 \text{ eV}$ , correspond à la différence d'énergie entre le premier état excité et l'état fondamental d'un atome de sodium ( $E_2 - E_1 = -3,03 - (-5,14) = 2,11 \text{ eV}$ )

2.

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$D'où : \Delta E = \frac{(6,626 \times 10^{-34} \times 2,998 \times 10^8)}{587,6 \times 10^{-9}} \Leftrightarrow \Delta E = 0,0338 \times 10^{-17} = 3,4 \times 10^{-19} \text{ J} = \mathbf{2,11 \text{ eV}}$$

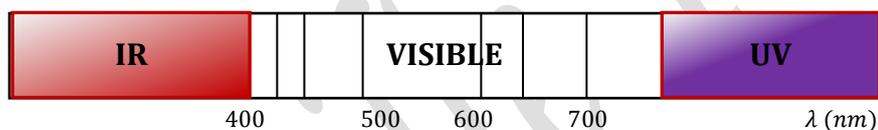
b. **Oui**, il permet d'affirmer la présence d'un nouvel élément car  $\Delta E = 2,11 \text{ eV}$ , ne correspond à la différence d'énergie entre le premier état excité et l'état fondamental d'un atome de sodium ( $E_2 - E_1 = -3,034 - (-5,139) = 2,105 \text{ eV}$ ).

Exercice 6

1.

Bien qu'il soit continu et qu'il n'y ait pas de frontière claire entre une couleur et la suivante, la table suivante donne les limites approchées des couleurs du spectre :

Couleur	Longueur d'onde (nm)
Proche UV	1 000
Rouge	800 à 620
Orange	620 à 590
Jaune	590 à 575
Chartreuse	575 à 560
Vert	560 à 530
Vert printemps	530 à 492
Cyan	492 à 487
Azur	487 à 482
Bleu	482 à 465
Indigo	465 à 435
Violet	435 à 400
Proche IR	200 à 400



2. La flèche représente **la perte d'énergie de l'électron**. Il s'agit d'une **raie d'émission** d'un photon. La désexcitation d'un atome est représentée par une flèche verticale pointant vers le bas car l'énergie passe d'un niveau supérieur à un niveau inférieur (→ retour vers l'État fondamental).

3. a.  $\Delta E = -0,54 - (-3,39) = 2,85 \text{ eV}$

b.

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)}{2,85 \times 1,6 \times 10^{-19}} = 4,36 \times 10^{-7} = \mathbf{436 \times 10^{-9} \text{ m soit } 436 \text{ nm}}$$

c. L'élément mis en évidence par cette raie est **l'hydrogène**.