

1<sup>e</sup> Spécialité Physique Chimie

## CHAPITRE 16

# OPTIQUE ONDULATOIRE

# EXERCICES

Wulfran Fortin

## Liste des exercices

Exercice 1

Exercice 2

Exercice 3

Exercice 4

Exercice 5

Exercice 6

Exercice 7

Exercice 8

Exercice 9

Exercice 10

Exercice 11

Exercice 12

Exercice 13

## Exercice 1

### Énoncé

D'après Belin 2019.

Plusieurs bonnes réponses sont possibles.

**a.** L'ordre de grandeur de la célérité de la lumière dans le vide est

1.  $300000 \text{ m.s}^{-1}$
2.  $300000000 \text{ km.s}^{-1}$
3.  $300000000 \text{ m.s}^{-1}$
4.  $300 \text{ m.s}^{-1}$

**b.** Les raies émises par le sodium à  $589.0 \text{ nm}$  et  $589.6 \text{ nm}$  se trouvent dans le domaine

1. des ultraviolets
2. du rayonnement visible
3. des infrarouges
4. des ondes radioélectriques

**c.** Les rayons X sont utilisés

- 
1. pour détecter les faux billets
  2. pour éclairer
  3. pour téléphoner
  4. pour radiographier

**d.** Une télécommande émet une radiation de fréquence  $3 \times 10^{14} \text{ Hz}$ , il s'agit d'un rayonnement

1. visible
2. ultraviolet
3. radioélectrique
4. infrarouge

**e.** Dans le système d'unités internationales, l'unité de la fréquence est

1.  $s^{-1}$
2.  $s$
3.  $\text{Hz}$
4.  $m.s^{-1}$

**f.** Pour obtenir le spectre d'absorption de la vapeur atomique de mercure, il faut

1. éclairer cette vapeur par de la lumière blanche

- 
2. chauffer cette vapeur
  3. éclairer cette vapeur par une lampe à vapeur atomique de lithium
  4. effectuer la combustion d'un échantillon de mercure

**g.** Dans le système d'unités internationales l'unité de la longueur d'onde est

1.  $m$
2.  $m.s^{-1}$
3.  $nm$
4.  $\lambda$

**h.** Une lampe spectrale contient uniquement de la vapeur de cadmium.

La lampe est alimentée par un générateur électrique adapté.

1. la lumière émise contient toutes les radiations de la lumière blanche
2. le spectre de cette lumière est un spectre continu
3. le spectre présente les raies d'absorption du cadmium sur un fond continu

- 
4. la lumière émise ne contient que les radiations caractéristiques de l'atome de cadmium

i. La relation entre la fréquence  $\nu$  d'un photon et sa longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide est

1.  $\lambda = c \times \nu$

2.  $\nu = c \times \lambda$

3.  $\lambda \times \nu = c$

4.  $\frac{\lambda}{\nu} = c$

j. L'énergie d'un atome

1. peut prendre n'importe quelle valeur
2. est continue
3. est quantifiée
4. ne prend que des valeurs bien définies

---

## Correction

**a.** réponse 3.

**b.** réponse 2. Elles sont dans la partie jaune du spectre visible.

**c.** réponse 4.

**d.** On calcule la longueur d'onde dans le vide de ce rayonnement

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{c}{\nu} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{14}} \\ &= 1.0 \times 10^{-6} \\ &= 1000 \text{ nm}\end{aligned}$$

On est dans le domaine du proche infra rouge.

**e.** réponse 3.

**f.** réponse 1 (la réponse 4 est mortelle ...).

**g.** réponse 1. La réponse 3 n'est qu'un sous multiple.

**h.** réponse 4, spectre de raies d'émissions.

---

i. réponse 3.

j. réponses 3 et 4.

---

## Exercice 2

### Énoncé

D'après Belin 2019.

Un rayonnement possède une longueur d'onde dans le vide égale à  $700 \text{ nm}$ .

- a.** Déterminer sa fréquence.
- b.** Sa longueur d'onde dans l'eau est  $526 \text{ nm}$ . Sa fréquence étant inchangée, en déduire la célérité de cette onde dans l'eau.

---

## Correction

a. On utilise la relation

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\nu \times \lambda = c$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\nu = \frac{3 \times 10^8}{700 \times 10^{-9}}$$

$$\nu = 4.29 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

b.

$$\lambda = \frac{v_{\text{eau}}}{\nu}$$

$$\lambda \times \nu = v_{\text{eau}}$$

$$v_{\text{eau}} = 526 \times 10^{-9} \times 4.29 \times 10^{14}$$

$$v_{\text{eau}} = 2.26 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

---

## Exercice 3

### Énoncé

D'après Belin 2019.

Un laser hélium-néon émet un rayonnement de longueur d'onde  $633 \text{ nm}$  dans le vide.

**a.** Justifier que ce laser est monochromatique.

**b.** Calculer la fréquence des photons émis.

**c.** En déduire la différence d'énergie séparant les deux niveaux correspondant à l'émission de ces photons. Elle sera exprimée en  $eV$ .

**d.** Représenter la transition sur un diagramme d'énergie.

---

## Correction

**a.** Le laser est monochromatique car la lumière qu'il émet ne contient qu'une seule couleur, ici une raie rouge.

**b.** On utilise la relation entre longueur d'onde, célérité et fréquence

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\nu \times \lambda = c$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\nu = \frac{3 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}}$$

$$\nu = 4.74 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

**c.**

$$\Delta E = h \times \nu$$

$$= 6.63 \times 10^{-34} \times 4.74 \times 10^{14}$$

$$= 3.14 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{3.14 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}$$

---

$$= 1.96 \text{ eV}$$

d. Voir figure 1.

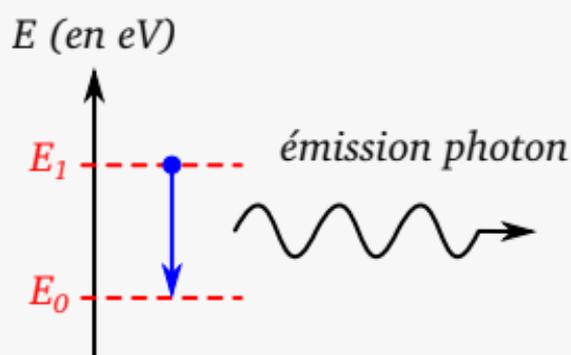


Figure 1

---

## Exercice 4

### Énoncé

D'après Belin 2019.

Le tableau 1 regroupe les caractéristiques de trois photons.

- a.** Retrouver les informations manquantes.
- b.** Justifier à l'aide de sa célérité que le photon 2 ne se déplace pas dans l'air ou le vide.

Numéro du photon	1	2	3
Longueur d'onde ( $m$ )	$4.20 \times 10^{-7}$	$2.51 \times 10^{-10}$	...
Fréquence ( $Hz$ )	...	$9.00 \times 10^{17}$	$3.00 \times 10^{14}$
Domaine	...	...	...
Célérité ( $m.s^{-1}$ )	$3.00 \times 10^8$	...	$3.00 \times 10^8$
Énergie ( $J$ )	...	$5.97 \times 10^{-16}$	$1.99 \times 10^{-19}$
Énergie ( $eV$ )	2.96	...	1.24

Table 1

---

## Correction

**a.**

Pour le photon 1

— fréquence

$$\begin{aligned}\nu &= \frac{c}{\lambda} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{4.20 \times 10^{-7}} \\ &= 7.14 \times 10^{14} \text{ Hz}\end{aligned}$$

— domaine visible/UV 420 nm

— énergie

$$\begin{aligned}\Delta E &= 2.96 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \\ &= 4.74 \times 10^{-19} \text{ J}\end{aligned}$$

Pour le photon 2

— domaine rayons X 0.25 nm

— célérité

$$\begin{aligned}c &= \lambda \times \nu \\ &= 2.51 \times 10^{-10} \times 9 \times 10^{17} \\ &= 2.26 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}\end{aligned}$$

---

— énergie en  $eV$   $\frac{5.97 \times 10^{-16}}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.73 \text{ keV}$

Pour le photon 3

— longueur d'onde  $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{14}} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}$

— domaine infra rouge proche  
à  $1000 \text{ nm}$ .

**b.** Comme sa célérité est inférieure à la vitesse de la lumière dans le vide, il se déplace dans un milieu matériel.

---

## Exercice 5

### Énoncé

D'après Belin 2019.

Deux élèves étudient le spectre d'émission d'une lampe de Balmer, lampe contenant du gaz d'hydrogène.

Le spectre contient différentes raies colorées de longueur d'ondes  $410 \text{ nm}$ ,  $434 \text{ nm}$ ,  $486 \text{ nm}$  et  $652 \text{ nm}$ .

Les niveaux d'énergies de l'atome d'hydrogène sont indiqués dans le tableau 2.

- Pour les deux plus grandes longueurs d'ondes, déterminer l'énergie du photon correspondant en  $eV$ .
- Les raies correspondant à une émission de photons lors d'une désexcitation vers le niveau  $n = 2$ . En déduire depuis quels niveaux l'atome d'hydrogène se désexcite.
- Reproduire le diagramme énergétique et

---

Niveau $n$	Énergie (eV)
1	-13.6
2	-3.40
3	-1.51
4	-0.85
5	-0.54
6	-0.38
$\infty$	0.0

Table 2

représenter par une flèche la transition correspondant à la raie rouge.

---

## Correction

a.

$$\begin{aligned}\Delta E &= h \times \nu \\ &= h \times \frac{c}{\lambda} \\ &= 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{652 \times 10^{-9}} \\ &= 3.05 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{3.05 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \\ &= 1.91 \text{ eV}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta E &= h \times \frac{c}{\lambda} \\ &= 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{486 \times 10^{-9}} \\ &= 4.09 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{4.09 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \\ &= 2.56 \text{ eV}\end{aligned}$$

**b.** On cherche les niveaux ayant les énergies correspondantes aux transitions vers le niveau 2  $E_2 + 1.91 \text{ eV} = -3.40 + 1.91 = -1.5 \text{ eV} = E_3$   $E_2 + 2.56 \text{ eV} = -3.40 + 1.91 = -0.84 \text{ eV} = E_4$  Ce sont les niveaux  $E_3$  et  $E_4$  qui se désexcitent.

**c.** Voir figure 2. Le photon rouge correspond à la longueur d'onde de  $652 \text{ nm}$  donc la transition de plus faible énergie,  $E_3$  vers  $E_2$ .

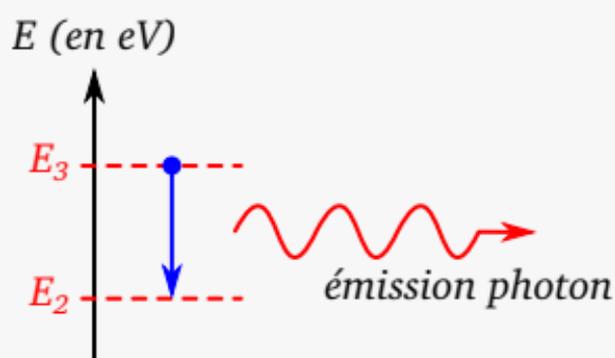


Figure 2

---

## Exercice 6

### Énoncé

D'après Belin 2019.

Les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation

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

avec  $E_0 = 13.6 \text{ eV}$  et  $n$  est le niveau d'énergie.  $n = 1$  correspond au niveau d'énergie le plus bas, les niveaux  $n = 2$ ,  $n = 3$ , etc. correspondent aux niveaux excités. Un atome d'hydrogène initialement dans son état fondamental absorbe un photon de fréquence  $\nu = 2.92 \times 10^{15} \text{ Hz}$ .

- Calculer la valeur en  $\text{eV}$  des niveaux d'énergie  $n = 2$ ,  $n = 3$  et  $n = 4$ .
- Calculer l'énergie du photon absorbé en joules et en électronvolts.
- En déduire le niveau d'énergie atteint après absorption du photon.

---

**d.** Quel type de raie apparaît sur le spectre suite à cette absorption ? Expliquer.

---

## Correction

**a.**  $E_2 = -\frac{13.6}{2^2} = -3.4 \text{ eV}$ ,  $E_3 = -1.51 \text{ eV}$   
et  $E_4 = -0.85 \text{ eV}$ .

**b.**  $\Delta E = h \times \nu = 6.63 \times 10^{-34} \times 2.92 \times 10^{15} = 1.94 \times 10^{-18} = 12.1 \text{ eV}$ .

**c.**  $E_1 + 12.1 = -13.6 + 12.1 = -1.5 = E_3$ .

**d.** Quand l'atome se désexcite, il va émettre un photon de même longueur d'onde que le photon absorbé, on verra une raie d'émission correspondant à ce photon.

---

## Exercice 7

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

Une onde électromagnétique est caractérisée par une fréquence  $\nu = 1.50 \times 10^{16} \text{ Hz}$ .

- a.** Calculer la période de cette onde.
- b.** En déduire la longueur d'onde.
- c.** À quel domaine des ondes électromagnétiques cette onde appartient-elle ?

---

## Correction

**a.** période  $T$

$$T = \frac{1}{\nu} = 6.67 \times 10^{-17} \text{ s}$$

**b.** longueur d'onde

$$\lambda = c \times T = 2.0 \times 10^{-8} = 20 \text{ nm}$$

**c.** ultraviolet

---

## Exercice 8

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

Soit  $E = 2.73 \times 10^{-19} \text{ J}$  l'énergie d'un photon.

- Calculer la période de cette onde.
- Calculer la fréquence  $\nu$  correspondante.
- Calculer la longueur d'onde  $\lambda$ .
- Cette radiation est-elle visible ?

---

## Correction

**a.** période  $T$

$$\Delta E = h \times \nu$$

$$\Delta E = h \times \frac{1}{T}$$

$$T = h \times \frac{1}{\Delta E}$$

$$= 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{1}{2.73 \times 10^{-19}}$$

$$= 2.43 \times 10^{-15} \text{ s}$$

**b.** fréquence  $\nu$

$$\nu = \frac{1}{T} = 4.12 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

**c.** longueur d'onde  $\lambda$

$$\lambda = c \times T = 7.35 \times 10^{-7} = 735 \text{ nm}$$

**d.** Elle est à la limite rouge du spectre visible.

---

## Exercice 9

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

Soit  $\lambda = 3.0 \times 10^{-3} \text{ nm}$  la longueur d'onde dans le vide d'un rayonnement gamma.

- a.** Calculer la fréquence  $\nu$  correspondante.
- b.** En déduire l'énergie  $E$  exprimée en électron-volts.

---

## Correction

**a.** Comme  $\lambda = c \times T$  et  $T = 1/\nu$  alors

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{-12}} = 1 \times 10^{20} \text{ Hz}$$

**b.**  $\Delta E = h \times \nu = 6.63 \times 10^{-14} \text{ J} = 414 \text{ keV}$

---

## Exercice 10

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

La figure 3 représente le diagramme des niveaux d'énergie d'un atome isolé.

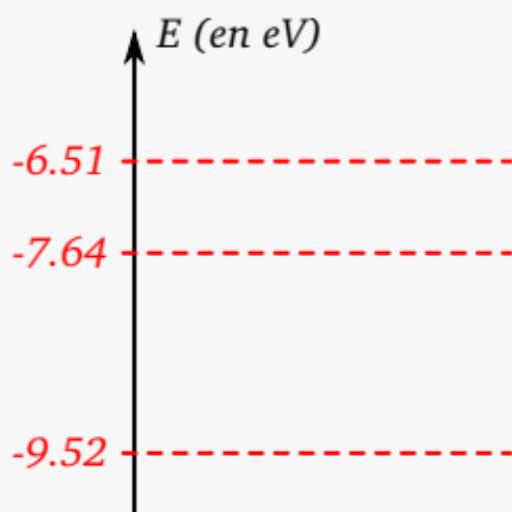


Figure 3

**a.** Recopier le diagramme et indiquer l'état fondamental et les états excités.

- 
- b.** Représenter l'absorption d'un photon d'énergie  $E = 1.13 \text{ eV}$  , par une flèche sur le diagramme.
- c.** Même question pour l'émission d'un photon d'énergie  $E = 1.88 \text{ eV}$ .
- d.** Cet atome peut-il absorber un photon d'énergie  $E = 1.01 \text{ eV}$  ?

## Correction

- a. Voir figure 4.
- b. Voir figure 4.
- c. Voir figure 4.
- d. Non, tous les niveaux d'énergies sont séparés par des différences d'énergies plus grandes, ce photon ne peut pas être absorbé.

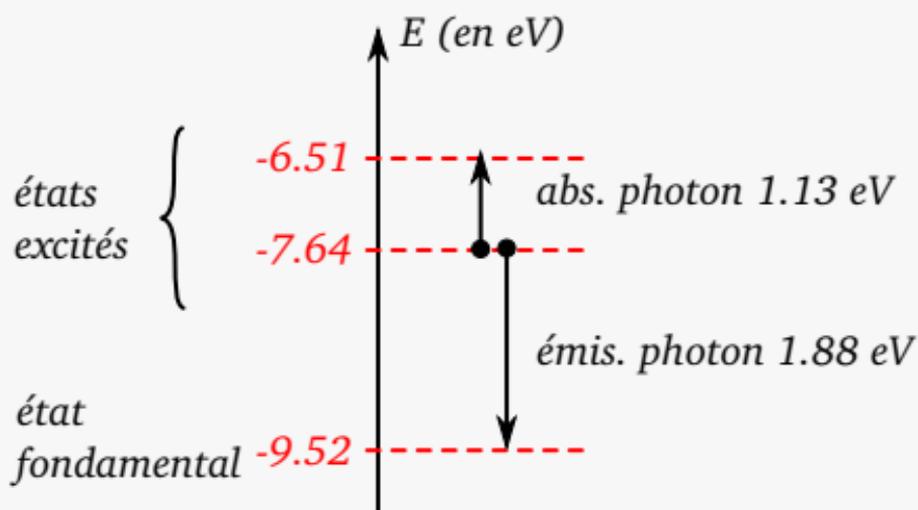


Figure 4

---

## Exercice 11

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

La figure 5 représente le diagramme de niveaux d'énergie de l'atome de mercure. Un atome de mercure passe du niveau d'énergie  $E_1$  au niveau d'énergie  $E_3$ .

- Recopier le diagramme et indiquer sur celui-ci les états excités, l'état fondamental et l'état ionisé.
- Représenter par une flèche la transition étudiée. Lors de cette transition, l'atome de mercure a-t-il émis ou absorbé un photon ?
- Calculer la différence énergétique correspondante en joules ( $J$ ).

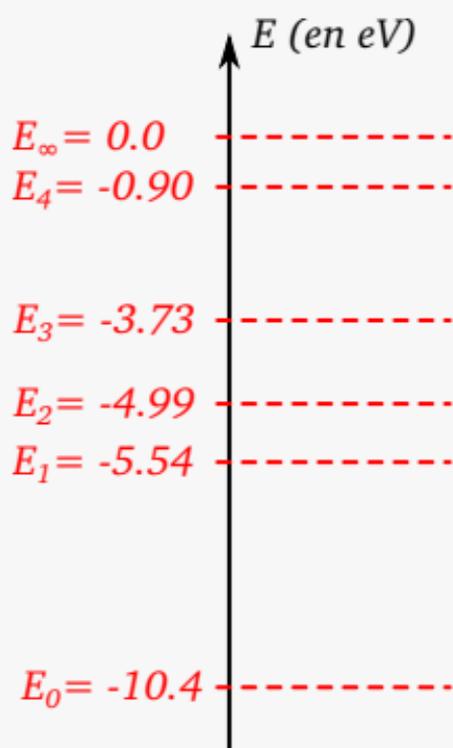


Figure 5

## Correction

a. Voir figure 6.

b. Voir figure 6. Le photon est absorbé par l'atome qui s'excite.

c.  $\Delta E = E_3 - E_1 = -3.73 - (-5.54) = 1.81 \text{ eV} = 2.89 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

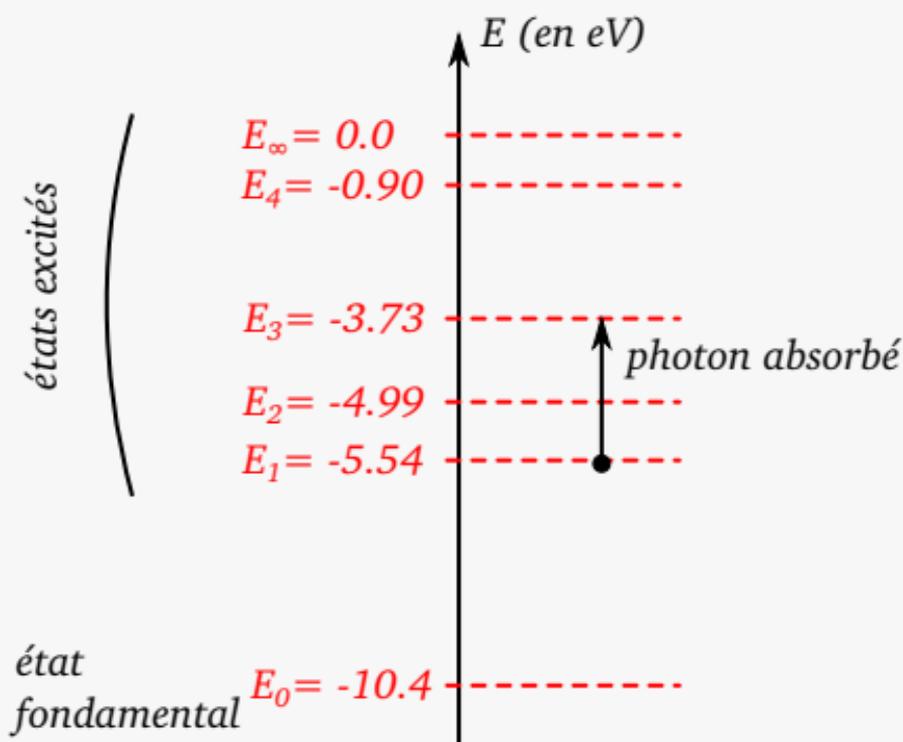


Figure 6

---

## Exercice 12

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

La figure 7 représente le diagramme de niveaux d'énergie de l'atome de lithium.

- a.** Recopier le diagramme et représenter la transition du niveau  $E_0$  au niveau  $E_2$  par une flèche.
- b.** Lors de cette transition, l'atome de lithium a-t-il émis ou absorbé un photon ?
- c.** Calculer la différence énergétique  $\Delta E$  correspondante en  $eV$ , puis en joules ( $J$ ).
- d.** En déduire la longueur d'onde associée.
- e.** À quel domaine des ondes électromagnétiques ce rayonnement appartient-il ?

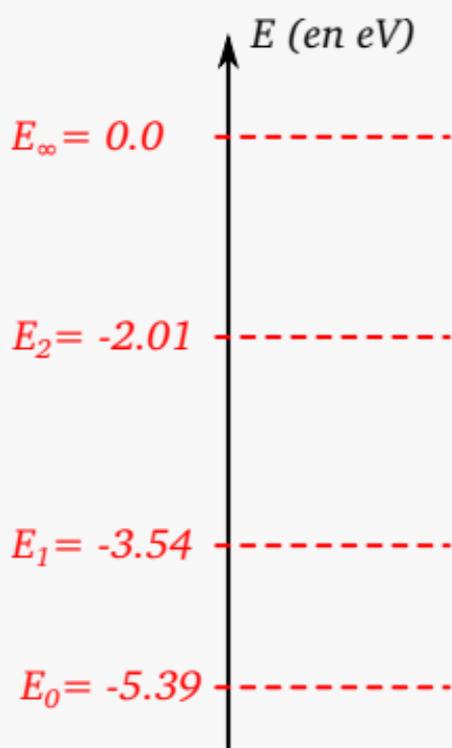


Figure 7

---

## Correction

**a.** Voir figure 8.

**b.** L'atome absorbe le photon et augmente son énergie.

**c.**  $\Delta E = E_2 - E_0 = -2.01 - (-5.39) = 3.38 \text{ eV} = 5.41 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

**d.** Comme  $\Delta E = h \frac{c}{\lambda}$ , on a

$$\lambda = h \frac{c}{\Delta E} = 3.68 \times 10^{-7} \text{ m}$$

**e.**  $\lambda = 3.68 \times 10^{-7} \text{ m} = 368 \text{ nm}$ , c'est un photon ultra violet.

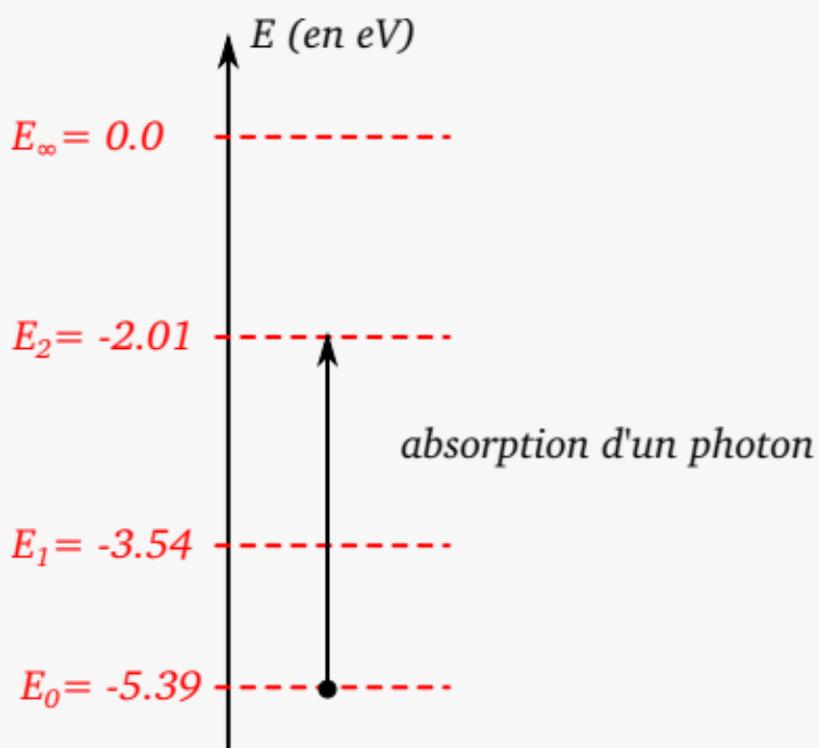


Figure 8

---

## Exercice 13

### Énoncé

D'après Hatier 2019.

Lors de l'éclipse totale du Soleil du 18 août 1868, le français Pierre Janssen et le britannique Norman Lockyer ont analysé le spectre de la couronne solaire et ont remarqué qu'il présentait une raie brillant dans le jaune très proche de celle du sodium. Lockyer a émis l'hypothèse que cette raie était due à un nouvel élément qu'il baptisa *hélium*. Ce n'est que 27 ans plus tard que cet élément chimique fut identifié sur Terre.

**a.** Illustrer avec un schéma de niveaux d'énergie d'un atome le phénomène d'émission d'un quantum d'énergie lumineuse.

**b.** On note  $E$  l'énergie du photon émis lors d'une transition énergétique d'un atome.

Donner l'expression littérale de  $E$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse émise dans le vide, de la

constante de Planck  $h$  et de la célérité de la lumière dans le vide  $c$ .

c. La figure 9 représente le diagramme énergétique de l'atome de sodium. On s'intéresse à la raie  $D_2$  du sodium de longueur d'onde  $\lambda_{Na} = 589.0 \text{ nm}$ . Calculer la valeur de  $E$  en  $eV$  pour le rayonnement correspondant à cette raie.

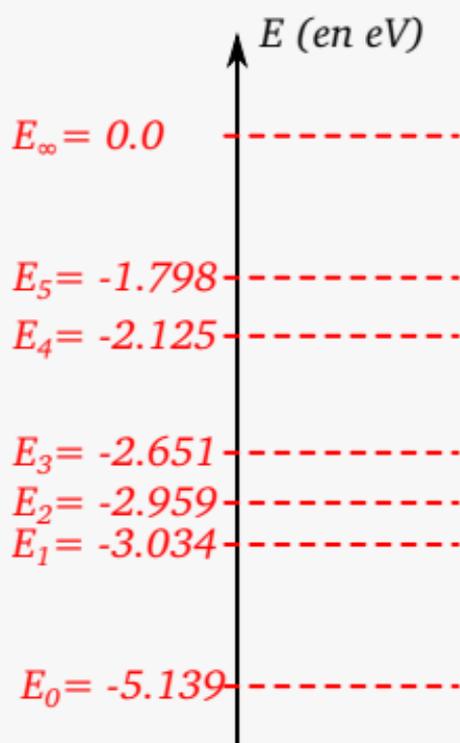


Figure 9

---

**d.** Déterminer la transition à laquelle cette émission correspond.

**e.** L'énergie du photon correspondant à l'émission de la raie jaune de l'hélium  $\lambda_{He} = 587.6 \text{ nm}$  est égale à  $2.110 \text{ eV}$ . Justifier que cette émission ne peut pas être attribuée au sodium.

## Correction

a. Voir figure 10.

b.  $\Delta E = h \times \nu$  et  $\lambda = c \times T$  et  $T = 1/\nu$   
donc

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

c.  $\Delta E = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} = 3.38 \times 10^{-19} \text{ J}$  soit  $\Delta E = 2.111 \text{ eV}$ .

d. Transition de  $E_1$  vers  $E_0$ .

e. Les photons n'ayant pas la même longueur d'onde dans le vide, ils ne peuvent pas correspondre à la même transition dans le même élément.

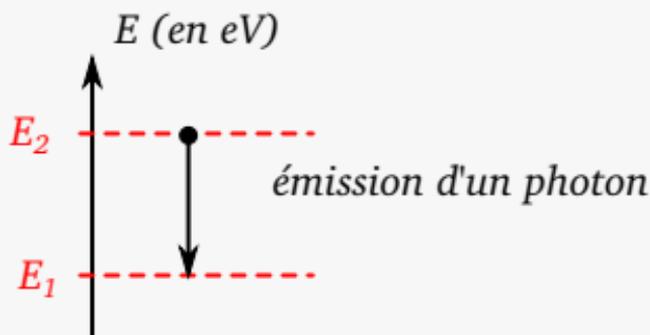


Figure 10

