

# Thème 4 : Ondes et Signaux

## Chapitre 6 : Lumière : Onde et particule.

### Rappel :

- ☞ Célérité (vitesse) de la lumière :  $c = 3,00 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1}$  ( $300\,000 km \cdot s^{-1}$ )
- ☞ La lumière blanche peut être décomposée par un prisme ou un réseau .  
On obtient un spectre **continu**.
- ☞ Chaque couleur correspond à une **radiation** caractérisée par sa **longueur d'onde**  $\lambda$  (souvent en nm).

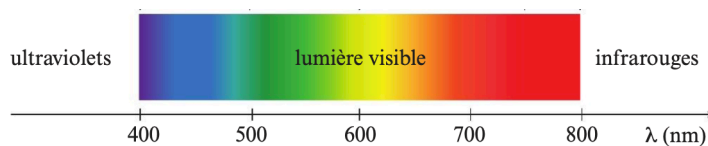


Fig 1 : Spectre de la lumière blanche

- ☞ Une espèce chimique excitée peut émettre de la lumière et on a un spectre de raie. Les radiations ( $\lambda$ ) émises sont caractéristiques de l'espèce.

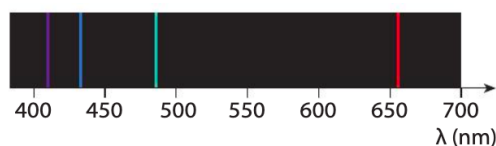


Fig 2 : Spectre d'émission de l'Hydrogène

# I. Dualité onde-corpuscule (particule)

La lumière peut se comporter comme une onde mais également comme un corps (objet, particule). On dit qu'il y a une dualité onde-corpuscule.

## 1. Modèle ondulatoire

☞ Une onde électromagnétique (OEM) est une vibration électrique et magnétique qui se propage de proche en proche. Elle transporte de l'énergie, mais pas de matière.

☞ Dans le vide (et dans l'air) :  $c = 3,00.10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (c dépend du milieu)

☞ Une OEM est périodique à la fois dans le temps et dans l'espace. Elle est caractérisée par :

\* Période temporelle T en s.

\* Période spatiale : Longueur d'onde  $\lambda$  en m. C'est la longueur parcourue par l'onde en une période soit :

$$\lambda = c \times T$$

Pour les OEMs au lieu de noter  $f$  pour la fréquence on note  $\nu$  (« nu »)

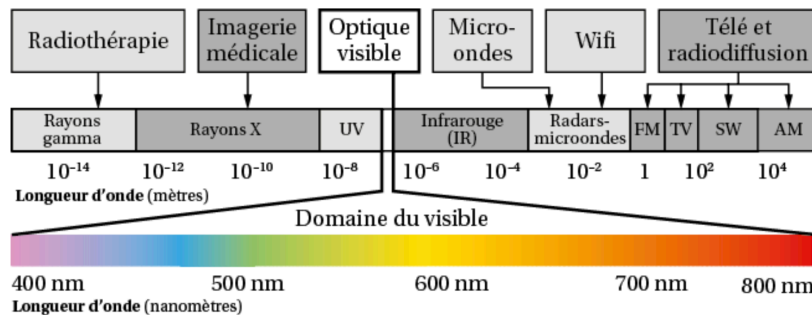
☞ La fréquence  $\nu$  et la période  $T$  sont reliées par la relation :  $\nu = \frac{1}{T}$

☞ On a donc :

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

$\begin{matrix} | & | & | \\ m & m \cdot s^{-1} & s \end{matrix}$ 
 $s^{-1}(Hz)$

☞ En fonction de  $\lambda$ , une OEM appartient à un domaine spécifique et correspond à un usage spécifique.



## 2. Modèle particulaire

☞ En **1905**, le physicien allemand Albert **Einstein** émet l'**hypothèse** que la lumière peut être décrite non pas comme une onde, mais comme constituée de petites particules de lumière appelées **photons**.



☞ Les **photons** sont les particules constitutives de la lumière. Ils ont une **masse nulle** et se déplacent à la **vitesse** de la **lumière**. Chaque photon porte (véhicule, transporte) une énergie  $E$  qui dépend de la fréquence  $\nu$  de la radiation lumineuse ou de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation :

Relation de Planck-Einstein

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Annotations:  $h$  (J.s),  $\nu$  (Hz),  $hc$  ( $m \cdot s^{-1}$ ),  $\lambda$  (m)

$h$  est la constante de Planck :  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  CS différents

Cette relation, appelée relation de Planck-Einstein, montre la nature à la fois **particulaire** (particule de masse nulle et d'énergie  $E$ ) et **ondulatoire** (fréquence et longueur d'onde) de la lumière. On parle alors de **dualité onde-particule**.

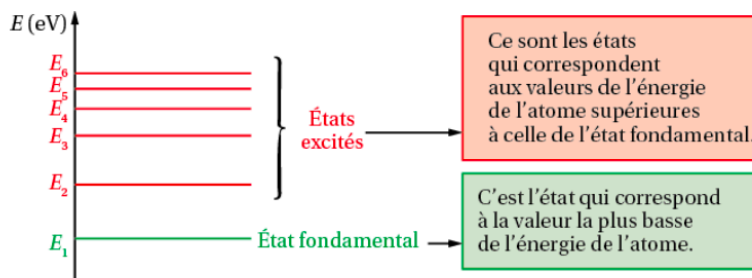
## II. Interaction lumière-matière



### 1. La quantification de l'énergie des atomes

☞ En **1913**, le physicien Danois Niels **Bohr** affirme : « L'atome ne peut exister que dans **certains états d'énergie** bien définis. » Ces niveaux d'énergie correspondent aux répartitions des électrons sur les couches électroniques. Ils sont bien déterminés et **caractéristiques** d'un atome donné. On dit que les niveaux d'énergie sont **quantifiés**.

☞ Le niveau d'énergie le plus bas d'un atome est appelé « **état fondamental** », les autres « **états excités** ».



☞ L'électronvolt (eV) est une autre unité d'énergie adaptée à la mécanique quantique. On a :  $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

C'est l'énergie cinétique d'un électron acquise sous un potentiel de 1V.

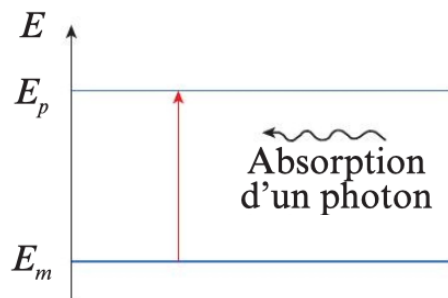
## 2. Émission et absorption de lumière par un atome

⚡ Quand un atome passe d'un niveau d'énergie à un autre c'est une transition.

⚡ On peut alors exprimer la variation de l'énergie de l'atome  $\Delta E$  de la façon suivante :  $\Delta E = E_{finale} - E_{initiale}$ .

⚡ Absorption : Si  $\Delta E > 0$  : l'atome **reçoit** de l'énergie de l'extérieur. L'atome gagne en énergie.

Cette transition peut-être provoquée par l'**absorption** d'un **photon** d'énergie  $\Delta E$ .



Le photon doit transporter la « bonne » quantité d'énergie ( $|\Delta E|$ ).

Grâce à la relation de Planck-Einstein on peut déterminer sa fréquence (ou sa longueur d'onde)

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \qquad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

Si on connaît  $\Delta E$  (diagramme), on peut donc calculer  $\lambda$  :

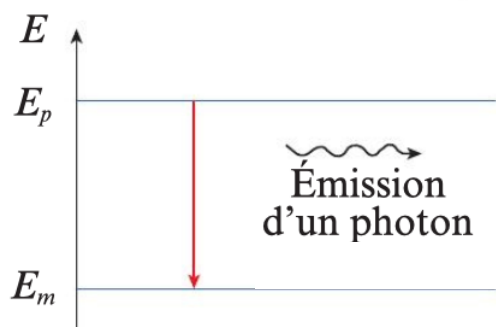
$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

Si la longueur d'onde du photon absorbé appartient au domaine du visible ( $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$ ), alors une raie noire sera présente dans le spectre.

**Exemple** : Spectre d'absorption de l'atome de sodium



⚡ **Émission** : Si  $\Delta E < 0$ , l'atome **cède** (perd) de l'énergie. Cette perte d'énergie provoque l'**émission** d'un **photon** d'énergie  $|\Delta E|$ .



$$|\Delta E| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$
$$\Leftrightarrow$$
$$\lambda = \frac{hc}{|\Delta E|}$$

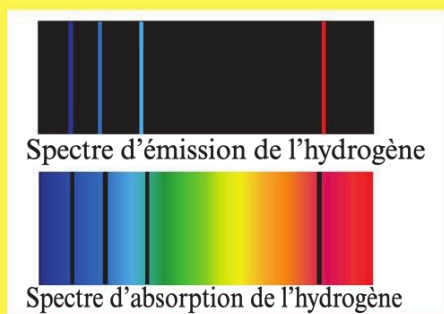
Si  $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$ , cette radiation correspond à une raie colorée dans le spectre d'émission de l'atome.

**Exemple** : Spectre d'émission de l'atome de sodium



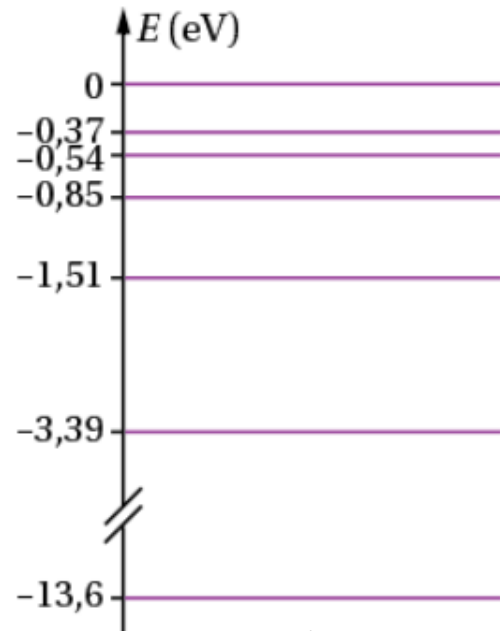
⚡ Les radiations émises ou absorbées sont **caractéristiques** d'un atome car elles dépendent des niveaux d'énergie de cet atome.

👍 **À noter**



Les spectres d'émission et d'absorption d'un même atome sont **complémentaires** : si on les superpose, on obtient le spectre complet de la lumière blanche.

## Exercice 1



$$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Le diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène est donné ci-dessus.

- Quelle est l'énergie, en électronvolts, de l'état fondamental ?
- Quelle est l'énergie, en joules, du 2<sup>ème</sup> état excité ?
- L'atome, initialement dans son état fondamental  $E_0$ , passe dans son 2<sup>ème</sup> niveau d'énergie excité. Calculer la variation d'énergie  $\Delta E_{0 \rightarrow 2}$  de l'atome.
- L'atome, initialement dans son 4e niveau d'énergie excité, passe dans son 1<sup>er</sup> niveau d'énergie excité. Calculer la variation d'énergie  $\Delta E_{4 \rightarrow 1}$  en énergie de l'atome.

## Exercice 2

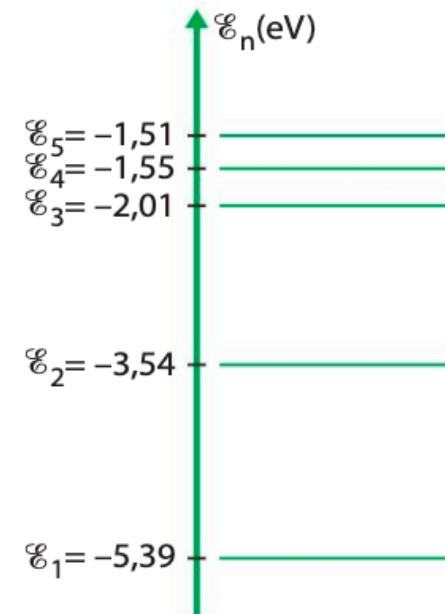
Le diagramme ci-contre représente quelques niveaux d'énergie de l'atome de lithium.

1. Identifier l'état fondamental et les états excités du lithium.
- 2.a. Déterminer l'énergie que doit transporter un photon pour amener l'atome de lithium de son état fondamental au niveau d'énergie  $\mathcal{E}_2$ .  
Exprimer cette énergie en électronvolt (eV) et en joule.  
b. Reproduire le diagramme de niveaux d'énergie de l'atome de lithium et représenter, à l'aide d'une flèche, cette transition.
- 3.a. Lors d'une désexcitation, l'atome de lithium émet une radiation de longueur d'onde  $\lambda = 611$  nm. Identifier la transition à laquelle cette radiation correspond.  
b. Représenter, à l'aide d'une flèche, cette transition sur le diagramme précédent.

### Données

•  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

•  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$



## 18 Lampe germicide

| Évaluer un ordre de grandeur ; effectuer des calculs.

La lampe germicide est une lampe spécifique qui émet des radiations avec une longueur d'onde de 253,7 nm. Elle est utilisée notamment pour tuer les bactéries, les virus, désinfecter les eaux, l'air dans les hôpitaux.

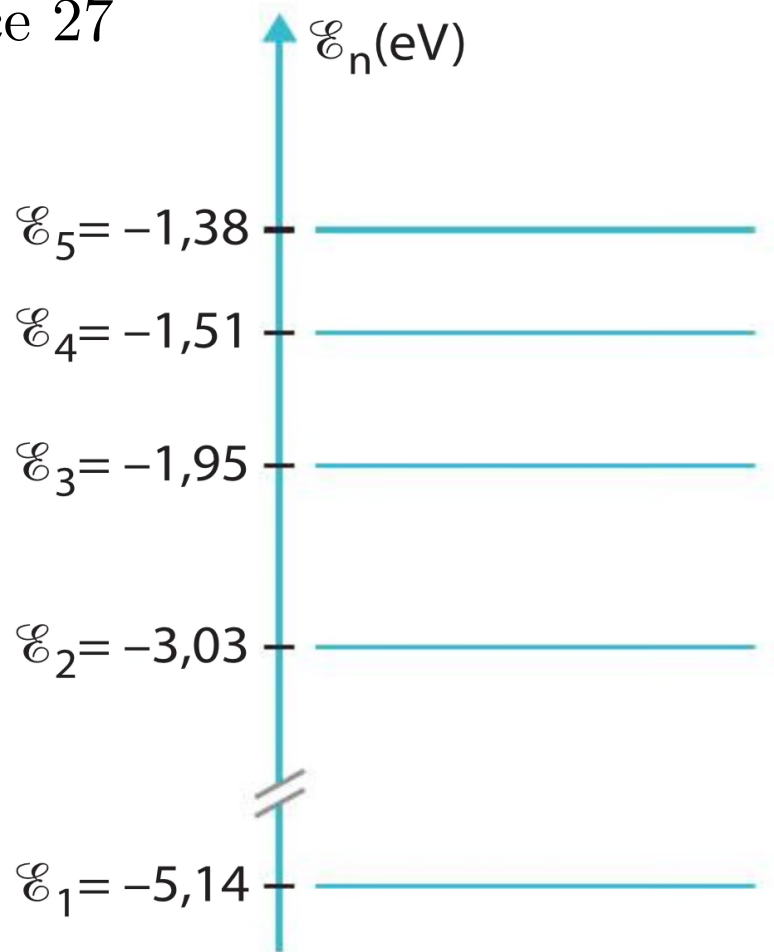
1. Déterminer l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la radiation émise.
2. Ces radiations appartiennent-elles au domaine infrarouge, ultraviolet ou visible ?
3. Calculer l'énergie des photons émis associés à ces radiations.

### Donnée

•  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$



## Exercice 27



> Diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium.

Recopier le diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'atome de sodium et y représenter la transition énergétique associée à la raie noire de longueur d'onde 589 nm.

## 24 Les feux d'artifice

Effectuer des calculs ; interpréter des résultats ; rédiger une explication.

Les feux d'artifice forment un spectacle lumineux et sonore très apprécié. Au cours de l'explosion, de petites billes appelées « étoiles » émettent des lueurs colorées et scintillantes à mesure



qu'elles s'éloignent du point d'explosion. Sur la photographie ci-dessus, beaucoup des « étoiles » qui ont explosé sont principalement composées de strontium. Les photons émis par le strontium sont responsables de certaines des couleurs visibles.

On donne ci-dessous le diagramme simplifié de quelques niveaux d'énergie de l'atome de strontium. Les flèches indiquent les transitions possibles.

**1.** Comment nomme-t-on le niveau d'énergie numéroté 1 ? les niveaux d'énergie supérieure ?

**2.** Déterminer en électronvolt les quanta d'énergie transportés par les photons susceptibles d'être émis.

**3.a.** En déduire, en nanomètre, les longueurs d'onde des radiations émises.

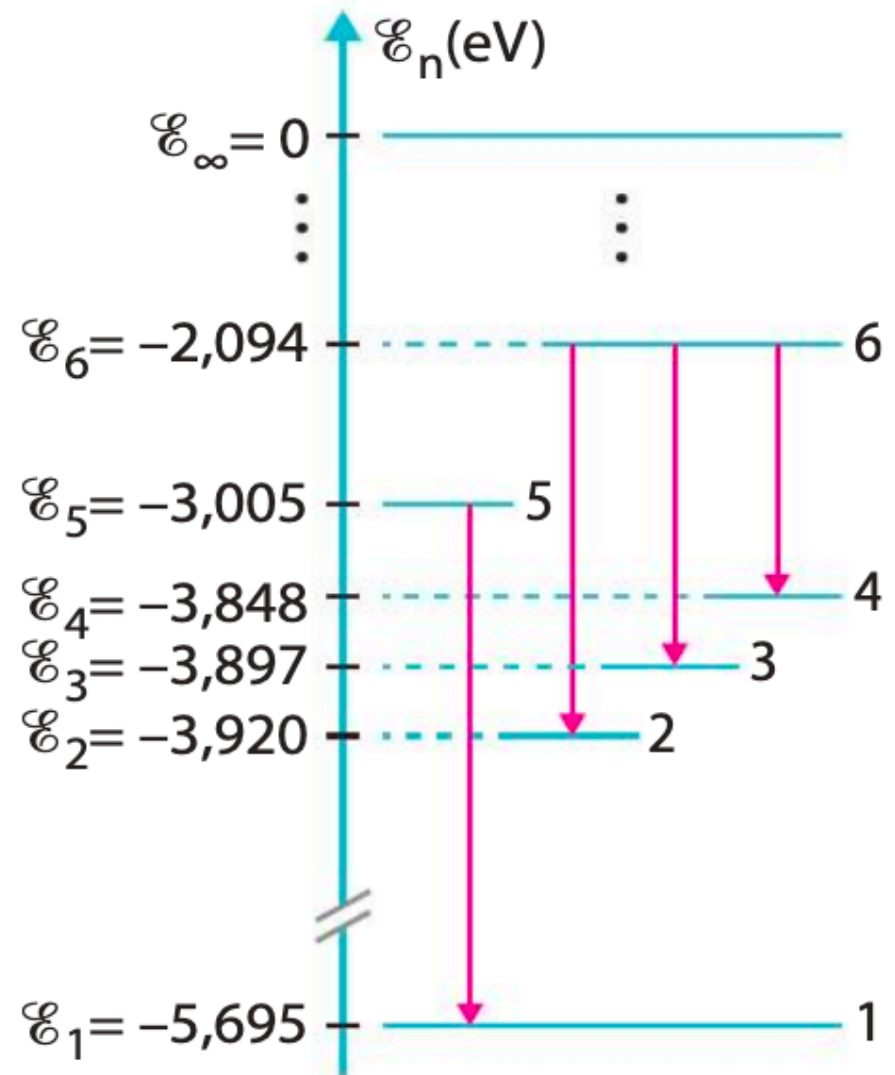
**b.** Peut-on alors attribuer au strontium certaines des couleurs observées sur la photographie ? Lesquelles ?

### Données

•  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

•  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
$\lambda$ (nm)	380 à 446	446 à 520	520 à 565	565 à 590	590 à 625	625 à 780



## 23 Exercice à caractère expérimental

### Identification de spectres

Effectuer des calculs ; exploiter l'information ; comparer à une valeur de référence.

Le spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure-cadmium est donné ci-dessous :



Pour identifier le spectre de chaque atome, on dispose des informations suivantes.

#### A Spectres des atomes présents dans la lampe

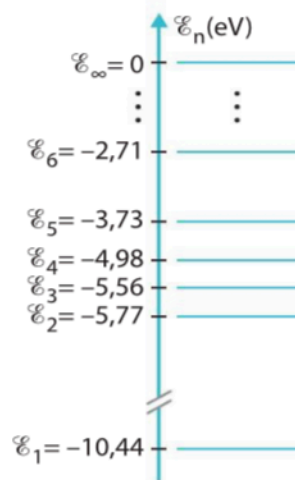


406 nm



643 nm

#### B Niveaux d'énergie de l'atome de mercure



1. Schématiser le montage permettant de projeter sur un écran le spectre de la lumière émise par la lampe étudiée.

2. Calculer l'énergie, en joule puis en électronvolt, du photon associé à chacune des deux radiations dont la longueur d'onde est indiquée sur les spectres **A**.

3. Une de ces radiations correspond à la variation entre les niveaux d'énergie  $E_2$  et  $E_6$  de l'atome de mercure. Identifier la raie correspondante à cette transition énergétique.

4. Faire correspondre à chaque atome, de mercure ou de cadmium, le spectre qui lui appartient.

#### Données

•  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

•  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$



1.

