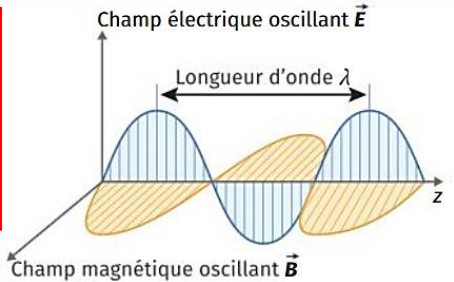


## I Le modèle ondulatoire de la lumière

### 1) La lumière, une onde électromagnétique

Initiée par **Christian Huygens** en 1678, la théorie ondulatoire n'a cessé d'être améliorée. En 1865, **James Maxwell** finalise le modèle et prédit l'existence des ondes électromagnétiques.

.....  
 .....  
 .....  
**Ces ondes peuvent se propager dans un .....  
 ou dans le ..... (contrairement aux ondes mécaniques).**



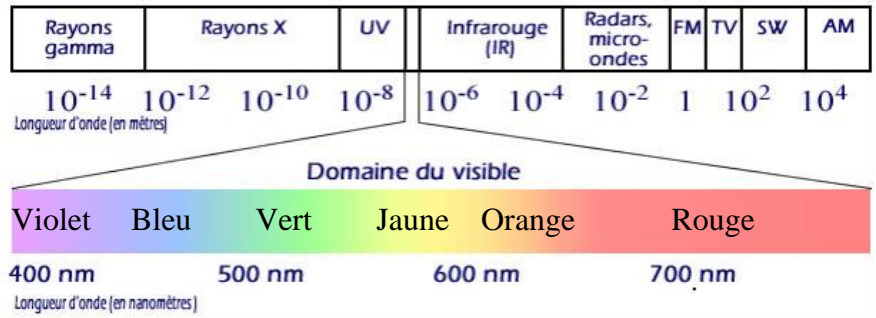
La célérité (la vitesse de propagation) dans le vide des ondes électromagnétiques est .....

Une onde électromagnétique est caractérisée par sa longueur d'onde et sa fréquence.

### 2) Longueur d'onde d'une onde électromagnétique

**La longueur d'onde est la .....  
 Elle se note ..... (« lambda » dans l'alphabet grec) et s'exprime en .....  
 Le plus souvent, on utilise le nanomètre (.....) ou le micromètre (.....).**

Selon leur longueur d'onde, les ondes électromagnétiques se répartissent en divers domaines, rassemblés sur le .....



La lumière, visible par l'œil humain, occupe une toute petite partie des ondes électromagnétiques :

**L'œil humain n'est sensible qu'à des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est comprise entre ..... (violet) et ..... (rouge). Il s'agit du .....  
 des ondes électromagnétiques. La ..... d'une lumière est reliée à sa .....**

### 3) Fréquence d'une onde électromagnétique

Il existe une relation entre la longueur d'onde et la fréquence pour les ondes électromagnétiques. En revanche, la notation de la fréquence n'est pas «  $f$  » comme en électricité (ou comme pour les ondes mécaniques).

**La fréquence traduit le ..... Pour les ondes électromagnétiques, elle se note ..... (« nu » dans l'alphabet grec) et s'exprime en .....  
 (symbole : Hz).**

La longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde électromagnétique, de célérité  $c$ , est la distance qu'elle parcourt pendant une période  $T$ . Sur le modèle de « vitesse =  $\frac{d}{\Delta t}$  », on a : c'est-à-dire :

En électricité, il y a une relation entre période et fréquence :  $T = \frac{1}{f}$ . On a donc ici : , d'où :

**Longueur d'onde  $\lambda$  et fréquence  $\nu$  sont inversement proportionnelles et unies par la relation suivante :**

- $\nu$  : fréquence de l'onde électromagnétique en hertz (symbole : Hz)
- $\lambda$  : longueur d'onde de l'onde électromagnétique en mètre (symbole : m)
- $c$  : célérité de la lumière :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Remarque : plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est ..... et réciproquement.

Exercice :

1) Certaines ondes du réseau 4G ont une fréquence de 2,60 GHz. Calculer la longueur d'onde associée.

.....

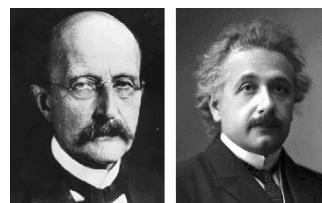
2) Un rayonnement possède une longueur d'onde dans le vide égale à 700 nm. Calculer sa fréquence  $\nu$ .

.....

## II Le modèle particulaire de la lumière : le photon

Bien que le modèle ondulatoire de la lumière et les lois de l'électromagnétisme formulées par Maxwell expliquent de nombreuses observations expérimentales, elles ne permettent pas d'interpréter certains phénomènes comme « la catastrophe ultraviolette » ou l'effet photoélectrique (arrachement d'électrons à un métal sous l'action d'un rayonnement de longueur d'onde suffisamment courte).

- En 1900, **Max Planck** émet l'hypothèse que l'énergie ne peut s'échanger entre la matière et la lumière que par « paquet ». Ces échanges sont dits quantifiés. La notion de quantum était née (au pluriel : des quanta).
- En 1905, pour expliquer l'effet photoélectrique, **Albert Einstein** reprend les idées de Planck et associe cette idée de quantum à une structure particulaire de la lumière, le **photon**. Cette explication lui valut le prix Nobel de Physique en 1921.



**M. Planck      A. Einstein**

**L'énergie  $E$  d'un photon est liée à la fréquence  $\nu$  de l'onde électromagnétique associée par la relation :**

- $E$  : énergie en joule (symbole : J)
  - $\nu$  : fréquence de l'onde en hertz (symbole : Hz)
  - $h$  : **constante de Planck**       $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
- Relation de Planck-Einstein*

Comme  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , on en déduit que

Donc :



Le joule est une unité beaucoup trop grande pour les énergies concernant les photons. On utilise l'**électron-volt** de symbole **eV**.       $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

Exercices :

1) Calculer, en J puis en eV, l'énergie des photons de fréquence  $\nu = 6,00 \times 10^{14} \text{ Hz}$  (lumière bleue).

.....

2) Calculer la longueur d'onde d'un photon d'énergie  $E = 1,91 \text{ eV}$ .

.....  
 .....

**Remarque n°1 :** La lumière présente simultanément un caractère ondulatoire (onde électromagnétique) et un caractère particulaire (composée de photons, particules d'énergie). On parle de la **dualité onde-particule**.

**Remarque n°2 :** plus la longueur d'onde d'un photon est petite, plus sa fréquence est ....., plus son énergie est .....

### III Interaction entre la lumière et la matière

#### 1) Les niveaux d'énergie dans l'atome

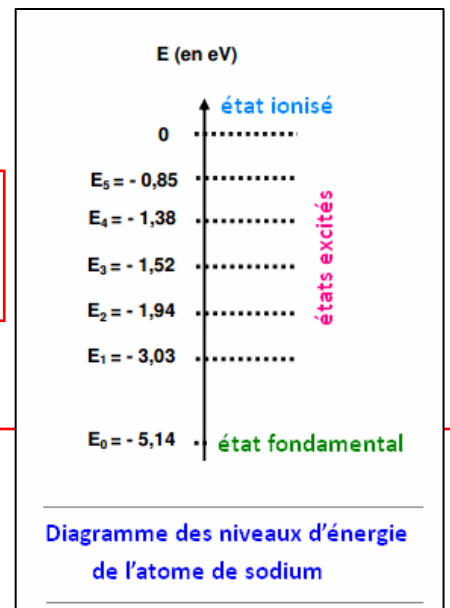
En 1913, pour expliquer la présence des raies d'émission de l'atome d'hydrogène, **Niels Bohr** émet l'hypothèse qu'un même atome possède plusieurs niveaux d'énergie, liés aux différentes configurations électroniques qu'il peut adopter.

**Les niveaux d'énergie d'un atome sont ..... : ils ne peuvent prendre que ..... qui dépendent de l'atome considéré.**

On a choisi par convention des valeurs d'énergie négatives, pour signifier que le système noyau-électron est lié.

**Le ..... est composé d'un axe vertical orienté vers le haut avec un trait pour chaque valeur d'énergie. Il est souvent gradué en électron-volt (eV).**

- **Le niveau de plus basse énergie est appelé « ..... ». C'est un ..... Il est noté  $E_0$  ou  $E_1$  (suivant la consigne de l'exercice).**
- **Les niveaux d'énergie supérieurs sont qualifiés « ..... ».**
- **L'énergie la plus élevée possible est égale à ....., elle correspond à un ..... L'atome est alors transformé en ion : il est .....**



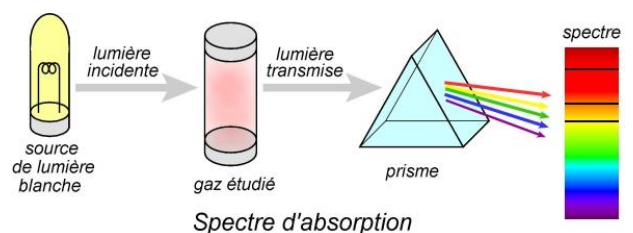
Ces diagrammes ont permis aux physiciens de comprendre les échanges d'énergie qui peuvent avoir lieu entre la lumière et la matière, à l'échelle de l'atome.

.....  
 .....

#### 2) Absorption de la lumière par un atome

Quand on éclaire un gaz atomique (constitué d'atomes identiques) avec de la lumière blanche, les atomes constituant le gaz absorbent certaines longueurs d'onde (couleur).

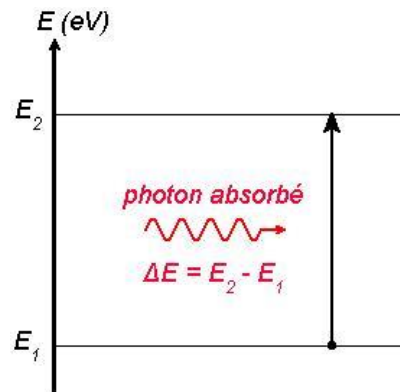
Le spectre obtenu contient le fond coloré de la lumière blanche et quelques raies noires correspondant aux longueurs d'onde absorbées. Il s'agit du .....



Un atome, sur un niveau d'énergie fixé noté  $E_1$ , peut ..... de l'énergie et .....  
 ..... noté  $E_2$ . On dit qu'il effectue une .....  
 ..... Cette énergie peut être fournie sous forme lumineuse (photons).

**Si un atome reçoit des photons dont l'énergie est exactement égale à la différence d'énergie entre son niveau de départ et le niveau supérieur, alors l'atome absorbe ces photons et passe sur le niveau d'énergie supérieur.**

La longueur d'onde du photon absorbé vaut alors :



On représente cette transition énergétique par une ....., qui va du niveau initial au niveau final.

Comme l'atome possède des niveaux d'énergie bien définis, il ne peut absorber que certains photons de longueur d'onde bien précise. Ceci explique l'observation des ..... dans le spectre de raies d'absorption.

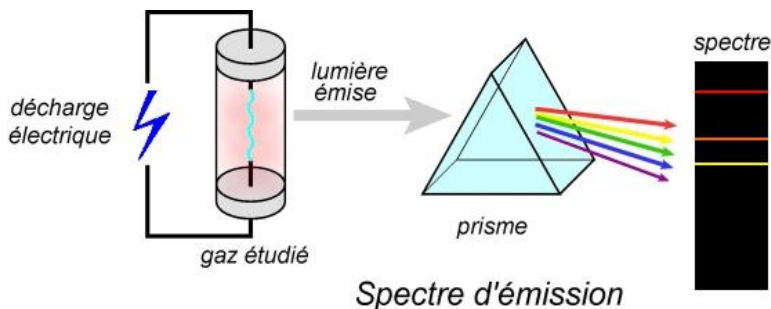
Remarque : si l'énergie des photons ne correspond pas à  $\Delta E_{1 \rightarrow 2}$ , alors le photon .....

### 3) Emission de la lumière par un atome

Une décharge électrique permet d'exciter un gaz atomique. Le spectre obtenu ne contient qu'un nombre limité de raies colorées sur un fond noir. Il s'agit du .....

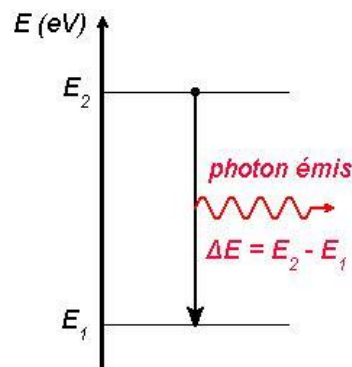
Un atome peut se retrouver dans un état excité, noté  $E_2$ , après une décharge électrique, un chauffage, une absorption de lumière, etc.

Il peut ..... cette énergie excédentaire et .....  
 ....., noté  $E_1$  en .....



**L'énergie du photon émis est exactement égale à la différence d'énergie entre son niveau de départ et le niveau inférieur.**

La longueur d'onde du photon émis vaut alors :



On représente cette transition énergétique par une ....., qui va du niveau initial au niveau final.

Comme l'atome possède des niveaux d'énergie bien définis, il ne peut émettre que certains photons de longueur d'onde bien précise correspondant à une transition énergétique possible. Ceci explique l'observation des ..... dans le spectre de raies d'émission.

Les longueurs d'onde des raies d'absorption correspondent exactement aux longueurs d'onde des raies d'émission.

Ces longueurs d'onde émises ou absorbées sont caractéristiques de chaque atome car elles dépendent des niveaux d'énergie de cet atome. C'est pourquoi il est possible d'.....

Remarque : La longueur d'onde ainsi que les constantes c et h sont toujours positives. La différence d'énergie doit donc toujours être positive, que l'on étudie l'émission ou l'absorption d'un photon par un atome.

Exercice : l'atome d'hydrogène

Les niveaux d'énergie (en eV) de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation :

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2}$$

1) Calculer les valeurs correspondant aux quatre niveaux d'énergie les plus bas (pour n = 1, 2, 3 et 4).

.....  
 .....  
 .....  
 .....

2) Placer les niveaux sur le diagramme ci-contre.

3) Quel niveau correspond à l'état fondamental ?

.....  
 .....

4) On considère la transition énergétique du niveau 3 vers le niveau 2.

a) Représenter cette transition sur le diagramme. S'agit-il d'un photon émis ou absorbé ? Expliquer.

.....  
 .....

b) Calculer la longueur d'onde du photon correspondant à cette transition.

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

c) A quel domaine de la lumière appartient la radiation correspondante ?

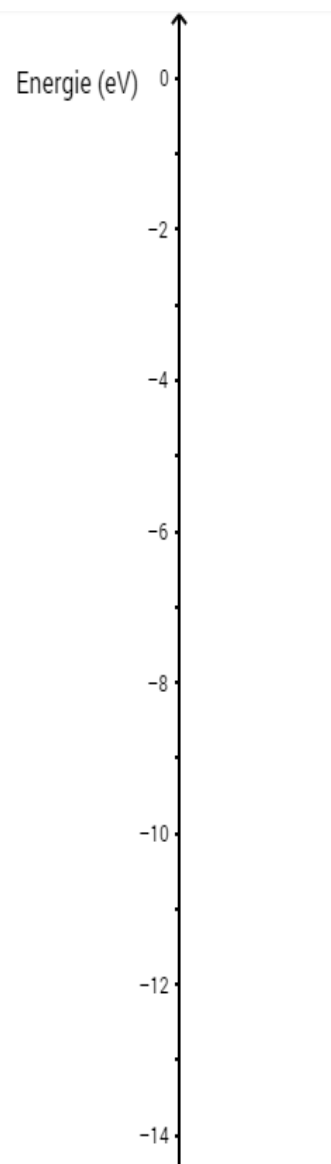
.....

5) L'atome absorbe un photon de longueur d'onde  $\lambda = 121,7$  nm.

a) Quelle transition entraîne cette absorption ?

.....  
 .....  
 .....

b) Représenter cette transition sur le diagramme.



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