1 Quel est le lien entre raies spectrales et énergie de l'atome ?

1.1 Le photon

Depuis les travaux d'Albert EINSTEIN publiés en 1905, on considère que la lumière est constituées de corpuscules, les photons. On parle de **modèle corpusculaire**.

L'énergie de la lumière est transportée par des **photons**.

Chaque photon transport un **quantum d'énergie**, c'est-à-dire la plus petite unité d'énergie pouvant être échangée. Cette énergie, pour un photon de fréquence ν (ou de longueur d'onde dans le vide λ), vaut :

$$\mathcal{E} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

avec $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s pour la constante de Planck et $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m·s^{-1} pour la célérité de la lumière dans le vide.

Les valeurs des énergies des atomes exprimées en joule (J) étant extrêmement faibles, on utilisera comme unité d'énergie l'électron-volt (symbole eV) : 1 eV=$1{,}602 \times 10^{-19}$ J.

1.2 Quantification de l'énergie des atomes

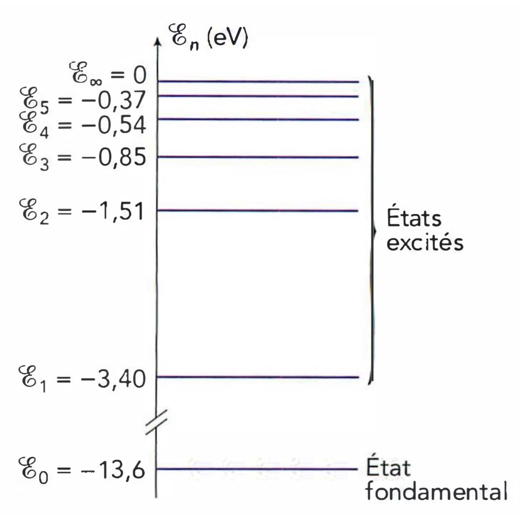

FIG. 1 – Diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.

Comme l'a postulé Niels BOHR en 1913, l'énergie d'un atome ne peut prendre que certaines valeurs.

Un atome ne peut exister que dans des états bien définis, chaque état étant caractérisé par un niveau d'énergie. On dit que l'énergie d'un atome est **quantifiée**.

Le **diagramme de niveaux d'énergie** (figure 1) d'un atome représente les niveaux d'énergie possibles de cet atome.

L'état de plus basse énergie correspond à l'**état fondamental** : c'est l'état stable de l'atome. Les autres états, d'énergie supérieure, sont qualifiés d'**états excités**. Il en existe une infinité. Dans l'état d'énergie nulle, l'atome est **ionisé**.

1.3 Émission de lumière

Lors de la séance 1 du chapitre 4, figure 4 du document 2 de la section 3 de la page 4 (soyons précis !), on a quatre raies spectrales d'émission pour l'hydrogène. N'est-ce pas cocasse ? Chaque raie correspond à une transition au cours de laquelle l'énergie de l'atome diminue de $|\Delta E| = |E_{\mathrm{p}} - E_{\mathrm{n}}|$.

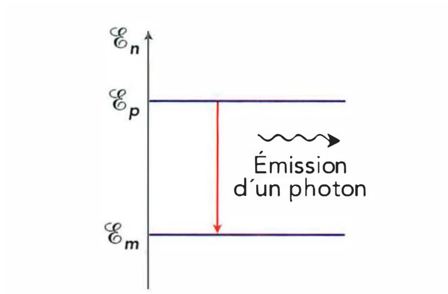

FIG. 2 – Transition énergétique avec émission d'un photon.

Au cours d'une transition d'un niveau à un niveau inférieur, l'énergie de l'atome diminue de $|\Delta E|$. L'atome émet alors un photon de même énergie. Cela se traduit par l'émission d'une radiation de longueur d'onde dans le vide λ telle que :

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

1.4 Mon tout premier exemple (émotion !)

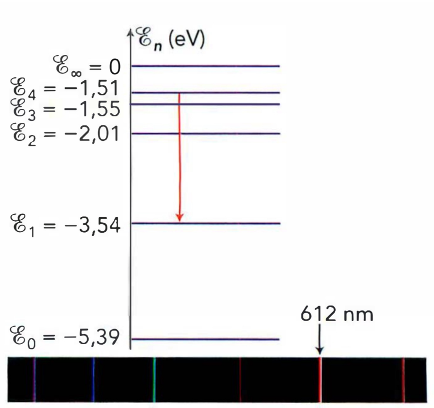

FIG. 3 – Transition énergétique pour l'atome de lithium.

Au cours de la transition du niveau 4 au niveau 1, l'énergie de l'atome de lithium diminue de $|E_4 - E_1|$.

Cela correspond à une raie d'émission de couleur rouge et de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 612$ nm.

Sauriez-vous retrouver cette valeur de λ par le calcul ?

2 Correction de la section 3 du chapitre 4 séance 1 page 4 – Atomes et photons

g. Discrète.

h. L'atome perd de l'énergie, son énergie diminue.

i .

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

$$\mathcal{E} = \frac{6{,}63\times10^{-34} \times 3{,}00\times10^{8}}{656{,}3\times10^{-9}}$$

$$\mathcal{E} = 3{,}03\times10^{-19} \text{ J}$$

Cette énergie étant extrêmement faible, on l'exprime en électron-volt. Pour passer des joules aux électron-volts, on divise par la valeur d'un électron-volt en joule :

$$\mathcal{E} = \frac{3{,}03\times10^{-19}}{1{,}602\times10^{-19}} = 1{,}89 \text{ eV}$$

j . Voyez le diagramme de niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène en figure 1 ci-dessus : il s'agit du passage du niveau d'énergie $E_2 = -1{,}51$ eV au niveau d'énergie $E_1 = -3{,}40$ eV :

$$|E_2 - E_1| = 3,4 - 1,51 = 1{,}89 \text{ eV}$$

k. Les longueurs d'onde sont distribuées de façon discontinue car chaque longueur d'onde correspond à un changement de niveau d'énergie de l'atome. Cela est bien conforme à l'hypothèse de BOHR de quantication des niveaux d'énergie de l'atome.

3 Exercices du chapitre 4

4.1 **N° 2 p. 66 – Des calculs**

4.2 **N° 6 p. 66 – Radiothérapie**

4.3 **N° 12 p. 67 – Spectre Hg**

4.4 **N° 15 p. 66 – Un timbre**

4.5 **N° 16 p. 68 – Soleil**

4.6 **N° 18 p. 68 – Fraunhofer**

Chers élèves,

Il semblerait que la date du conseil de classe du premier trimestre soit fixée au mardi 5 décembre. Dans l'attente fébrile de ces joyeuses agapes, nous terminerons ce merveilleux premier trimestre par un sympathique devoir surveillé le jeudi 23 novembre, sur les chapitres 4, 5 et 6. Et promis, cette fois-ci, je n'oublie pas la loi de Wien du chapitre 2.

Dans l'attente de ces réjouissances partagées, je vous souhaite d'excellentes vacances de Toussaint !

P.-M. CHAURAND

4 Correction des exercices du chapitre 3 (fin)

3.9 N° 1 p. 24 : QCM

1. **b.** et **c.** : représentation simplifiée et idéalisée.
2. **b.** : l'image doit se former sur la rétine.
3. **c.** : la pupille est l'ouverture.
4. **a.** : lors de l'accomodation, le cristallin se déforme.

3.10 N° 2 p. 24 : Constitution de l'œil réel

1. **1** correspond à **b** : le cristallin ;
   2 correspond à **a** : la rétine ;
   3 correspond à **c** : l'iris (et non la pupille !).
2. L'image doit se former sur la rétine pour être vue de façon nette.

3.11 N° 18 p. 26 : Relation de grandissement

1. Le grandissement γ d'un système optique est le rapport de la grandeur $\overline{\mathrm{A'B'}}$ de l'image sur la grandeur $\overline{\mathrm{AB}}$ de l'objet :

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}}$$

2. Le grandissement γ est aussi lié aux positions de l'objet $\overline{\mathrm{OA}}$ et de l'image $\overline{\mathrm{OA'}}$ par rapport au centre O de la lentille :

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}}$$

3. **a.**

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} = \frac{-1,0}{2,0} = -0,50$$

Image deux fois plus petite, renversée.

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\mathrm{OA'}} = \gamma \cdot \overline{\mathrm{OA}}$$

$$\overline{\mathrm{OA'}} = -0,50 \times (-30)$$

$$\overline{\mathrm{OA'}} = 15 \text{ cm}$$

Image réelle, projetable sur un écran.

b.

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\mathrm{A'B'}} = \gamma \cdot \overline{\mathrm{AB}}$$

$$\overline{\mathrm{A'B'}} = 2 \times 1,5$$

$$\overline{\mathrm{A'B'}} = 3,0 \text{ cm}$$

Image droite, plus grande que l'objet.

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\mathrm{OA'}} = \gamma \cdot \overline{\mathrm{OA}}$$

$$\overline{\mathrm{OA'}} = 2 \times (-5,0)$$

$$\overline{\mathrm{OA'}} = -10 \text{ cm}$$

Image virtuelle, non projetable sur un écran.

c.

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\mathrm{A'B'}} = \gamma \cdot \overline{\mathrm{AB}}$$

$$\overline{\mathrm{A'B'}} = -1 \times 2,0$$

$$\overline{\mathrm{A'B'}} = -2,0 \text{ cm}$$

Image renversée, de même taille que l'objet (montage des $4f$).

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\mathrm{OA}} = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\gamma}$$

$$\overline{\mathrm{OA}} = \frac{20}{-1}$$

$$\overline{\mathrm{OA}} = -20 \text{ cm}$$

Objet réel.

d.

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{OA'}}}{\overline{\mathrm{OA}}} = \frac{50}{-12,5} = -4,0$$

$$\gamma = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\overline{\mathrm{AB}}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{\mathrm{AB}} = \frac{\overline{\mathrm{A'B'}}}{\gamma}$$

$$\overline{\mathrm{AB}} = \frac{-4,8}{-4}$$

$$\overline{\mathrm{AB}} = 1,2 \text{ cm}$$

	$\overline{\mathrm{AB}}$ en cm	$\overline{\mathrm{A'B'}}$ en cm	γ	$\overline{\mathrm{OA}}$ en cm	$\overline{\mathrm{OA'}}$ en cm
a	2,0	-1,0	**-1,2**	-30	**15**
b	1,5	**3,0**	2	-5,0	**-10**
c	2,0	**-2,0**	-1	**-20**	20
d	**1,2**	-4,8	**-4**	-12,5	50

4. — L'image et l'objet sont dans le même sens dans le cas **(b)** ($\gamma > 0$) ;
— L'image est plus grande que l'objet dans les cas **(b)** et **(d)** ($|\gamma| > 1$) ;
— L'image est réelle dans les cas **(a)**, **(c)** et **(d)** ($\overline{\mathrm{OA'}} > 0$).

$\boxed{3.12}$ **N° 19 p. 26 : Rétroprojecteur ⋆**

1. a. Formule de conjugaison des lentilles :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OF'}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \overline{OA} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OF'}}}$$

b. Application numérique :

$$\overline{OA} = \frac{1}{\frac{1}{3{,}0} - \frac{1}{0{,}25}} = -0{,}27 \text{ m} = -27 \text{ cm}$$

2. a. Grandissement γ :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{3,0}{-0.27} = -11$$

b. $\gamma < 0$.

c. L'image est renversée par rapport à l'objet.

3. a. À partir de l'expression du grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad \Leftrightarrow \quad \overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'} \cdot \overline{AB}}{\overline{OA}}$$

b. Application numérique :

$$\overline{A'B'} = \frac{3,0 \times 0,01}{-0,27} = -0{,}11 \text{ m} = -11 \text{ cm}$$

$\boxed{3.13}$ **N° 26 p. 28 : L'appareil photographique**

1. a. Objet au PR à l'infini : $\overline{OA_1} \to \infty$ et $\overline{OA'} = 17$ mm, données de l'énoncé. Formule de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}}$$

$\frac{1}{\overline{OA_1}} \to 0$ donc :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{\overline{OF'_1}} \quad \Rightarrow \quad \overline{OF'_1} = \overline{OA'} = 17 \text{ mm}$$

Vergence du cristallin dans cette situation d'œil au repos :

$$C_1 = \frac{1}{\overline{OF'_1}} = \frac{1}{17\times10^{-3}} = 59\ \delta$$

b. Vergence C_2 pour l'œil en accomodation maximale :

$$C_2 = \frac{1}{\overline{OF'_2}} \quad \text{et} \quad \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{\overline{OF'_2}}$$

Objet au PP à 25 cm : $\overline{OA_2} = -25$ cm et $\overline{OA'} = 17$ mm, données de l'énoncé. Application numérique :

$$C_2 = \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA_2}} = \frac{1}{17\times10^{-3}} - \frac{1}{-25\times10^{-2}} = 55\ \delta$$

c. $\Delta C = C_1 - C_2 = 59 - 55 = 4\ \delta$.

2. a. Adoptons les mêmes notations que précédemment : $f'_1 = 35$ mm et $f'_2 = 70$ mm, donc :

$$C_1 = \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{35\times10^{-3}} = 29\ \delta$$

$$C_2 = \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{70\times10^{-3}} = 14\ \delta$$

b. $\Delta C = C_1 - C_2 = 29 - 14 = 15\ \delta$. Les variations sont d'un tout autre ordre de grandeur.

$\boxed{3.14}$ **N° 27 p. 28 : L'appareil photographique ⋆**

1. En mode *paysage*, si on considère que l'objet est à l'infini, le capteur doit être placé dans le plan focal de la lentille. Donc à une distance égale à la distance focale :

$$f' = \frac{1}{C} = \frac{1}{20} = 0{,}050 \text{ m} = 5{,}0 \text{ cm}$$

2. En mode *portrait*, $\overline{OA} = -2{,}00$ m, l'image A' doit se former sur le capteur pour avoir un sujet net, donc à une distance à calculer à l'aide de la formule de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = C \quad \Leftrightarrow \quad \overline{OA'} = \frac{1}{C + \frac{1}{\overline{OA}}}$$

Application numérique :

$$\overline{OA'} = \frac{1}{20 + \frac{1}{-2{,}00}} = 0{,}051 \text{ m} = 5{,}1 \text{ cm}$$

Il n'est pas nécessaire de beaucoup déplacer l'objectif.

3. a. L'objectif doit être légèrement éloigné du capteur.

b. La grandeur de l'image augmente lorsque l'objet se rapproche.

4. Au maximum $\overline{OA'} = f' + 5{,}0$ mm $= 5{,}5$ cm, donc :

$$\overline{OA} = \frac{1}{\frac{1}{\overline{OA'}} - C} = \frac{1}{\frac{1}{5{,}5\times10^{-2}} - 20} = -55 \text{ cm}$$