

# Physique-chimie – DS 3

- Calculatrices interdites.
- Toute A.N. sans **unité** ne comptera aucun point, et dégradera l'humeur du correcteur.
- Vérifiez l'**homogénéité** de vos relations.

## I Autour de la définition des unités du Système International \_\_\_

Les unités de mesure sont toutes définies à partir de sept unités de base : seconde, mètre, kilogramme, ampère, kelvin, mole, candela. Ces sept unités de base doivent être définies de façon précise et universelle : il faut en effet qu'un mètre ou un kilogramme signifie la même chose dans tous les laboratoires ou chez tous les commerçants. C'est le Bureau International des Poids et Mesures, situé en France près de Paris, qui est en charge de fixer ces définitions.

### I.1 La définition de la seconde

La définition de la seconde est "la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133".

Ainsi d'après cette définition, la durée d'une oscillation de l'atome de césium 133 est exactement de  $1/9\,192\,631\,770$  seconde.

#### Le césium 133

- 1 - Le numéro atomique du césium est 55. Donner la composition d'un atome de césium 133.
- 2 - Donner la configuration électronique d'un atome de césium dans son niveau fondamental. On donnera les noms des règles utilisées. On soulignera les électrons de valence.
- 3 - À quelle famille appartient le césium ? Quel est l'ion le plus stable qu'il tend à former ? Citer un autre élément appartenant à cette famille.

#### La seconde

La définition de la seconde est mise en œuvre à l'aide d'horloges atomiques au césium. La transition mentionnée dans la définition a lieu lorsqu'un des électrons de l'atome passe d'un niveau d'énergie  $E_1$  à un niveau d'énergie  $E_2$  inférieur, émettant ainsi un photon de fréquence  $\nu_0$ .

- 4 - D'après la définition de la seconde, quelle est la valeur numérique de la fréquence  $\nu_0$  ?
- 5 - Donner l'expression de  $\nu_0$  en fonction de  $E_1$ ,  $E_2$  et  $h$ .

#### D'autres horloges atomiques

D'autres atomes ou molécules peuvent être utilisés pour concevoir des horloges atomiques. Le premier prototype utilisait des molécules d'ammoniac  $\text{NH}_3$ .

- 6 - Donner le schéma de Lewis de cette molécule. Vérifier en expliquant que l'atome d'azote vérifie bien la règle de l'octet.

- 7 - Comment peut-on définir l'électronégativité ? Qui, de H ou de N, est le plus électronégatif ?
- 8 - On indique que les quatre atomes forment une pyramide à base triangulaire. La molécule est-elle polaire ? On fera un schéma sur lequel apparaissent les directions des moments dipolaires de chaque liaison, et le moment dipolaire total de la molécule.

C'est l'existence de ce moment dipolaire qui permet des oscillations de la molécule dans un champ électrique, et donc de concevoir une horloge.

## 1.2 La définition du mètre

La première définition universelle du mètre date d'après la révolution française. Un mètre était alors une fraction de la longueur du méridien terrestre. Puis il fut défini comme la longueur d'une barre de platine de référence, stockée à Paris. En 1960, le mètre a été redéfini comme étant un certain nombre de fois exact la longueur d'onde  $\lambda$  d'une radiation de l'atome de krypton.

- 9 - Donner la configuration électronique du krypton ( $Z = 36$ ).
- 10 - À quelle famille appartient-il ? Quel est l'intérêt des éléments de cette famille ?

Depuis 1983, "un mètre" est défini comme "la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de  $1/299\,792\,458$  de seconde". Ceci revient à fixer la valeur numérique de la vitesse de la lumière à  $299\,792\,458$  exactement lorsqu'exprimée en m/s.

## 1.3 La définition du kilogramme

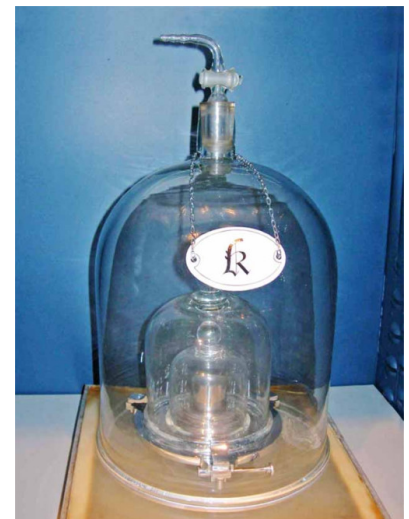
On considère un atome de masse  $m$  qui absorbe un photon de longueur d'onde  $\lambda$ . On note  $p'$  la norme de la quantité de mouvement du photon avant absorption.

Cet atome est initialement au repos, sa quantité de mouvement initiale est donc  $p_i = 0$ . Après absorption du photon, sa quantité de mouvement devient  $p_f = p_i + p'$ .

- 11 - Quelle est l'expression de la quantité de mouvement du photon avant son absorption par l'atome, en fonction notamment de  $\lambda$  ?
- 12 - En déduire l'expression de la vitesse de l'atome après absorption,  $v_f$ , en fonction de  $m$ ,  $\lambda$ ,  $h$ . Cette vitesse est appelée vitesse de recul.
- 13 - Application numérique pour  $m = 1 \times 10^{-27}$  kg,  $\lambda = 662,607015$  nm, et la valeur de  $h = 6,62607015 \times 10^{-34}$  J · s.

### Application à la définition du kilogramme

Depuis 1889 l'unité "un kilogramme" est définie comme "la masse du prototype international du kilogramme", ce prototype étant un cylindre en alliage de platine-iridium stocké dans les locaux du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) près de Paris. On le nomme le PIK (photographie ci-contre). Cette définition est assez simple à comprendre : pour connaître la masse d'un objet, il suffit de la comparer à celle du PIK.



Cette définition posait cependant des problèmes importants de précision, et n'était pas pratique car il fallait calibrer des masses de référence par comparaison au PIK et les envoyer dans chaque pays. En

2019 cette définition a changé. Un kilogramme est maintenant défini en fixant la valeur numérique de la constante de Planck à la valeur *exacte*  $6,62607015 \times 10^{-34}$  lorsque  $h$  est exprimée en  $\text{J} \cdot \text{s}$  (c'est-à-dire en  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Pour comprendre cette nouvelle définition, nous reprenons l'expérience précédente d'absorption de photons par un atome. On suppose la masse  $m$  de l'atome inconnue. L'atome absorbe un photon de longueur d'onde  $\lambda = 662,607015 \text{ nm}$ . On mesure une vitesse de recul  $v = 10 \text{ m/s}$ . Ceci permet une mesure de masse.

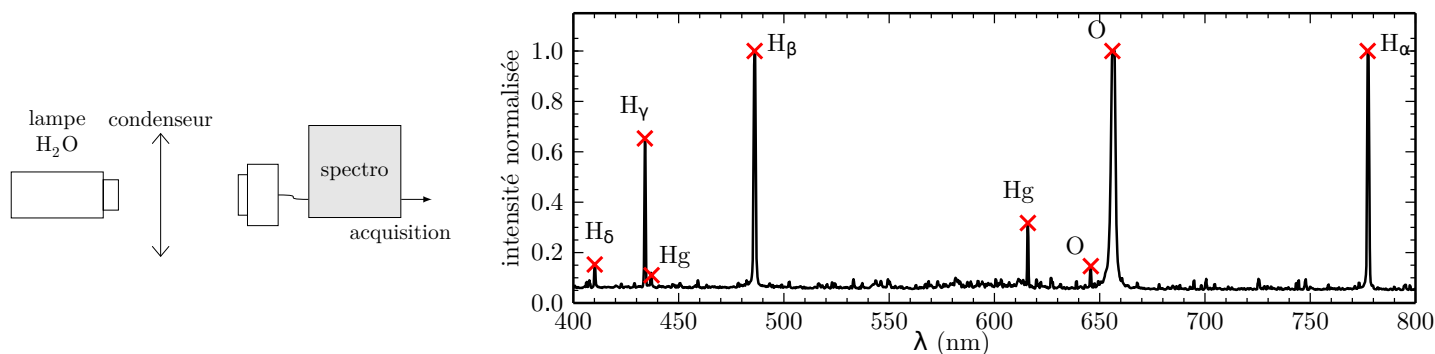
14 - Quelle est la masse de cet atome ?

## I.4 Les autres unités

Pour information, depuis 2019 l'ampère est défini en fixant la valeur numérique de la charge de l'électron  $e$ , le kelvin en fixant la valeur numérique de la constante de Boltzmann  $k_B$ , et la mole en fixant la valeur numérique de la constante d'Avogadro  $N_A$ .

## II Spectre de l'hydrogène

Le spectre de l'hydrogène est constitué de nombreuses raies regroupées en séries : série de Lyman dans l'UV, de Paschen dans l'IR, de Balmer dans le visible, etc., nommées en fonction de leurs découvreurs. Nous donnons ci-dessous le spectre visible d'une lampe à vapeur d'eau, qui permet entre-autres d'obtenir quatre raies de l'atome d'hydrogène (on voit également deux raies de l'oxygène et deux raies du mercure (Hg)).



La mesure précise de la position de ces raies permet d'en déduire la valeur de constantes physiques importantes, comme par exemple la constante de Rydberg, qui par la suite permet d'en déduire les valeurs d'autres constantes. Ceci a été utilisé avant la redéfinition du kilogramme de 2019 pour mesurer  $h$  précisément, avant de fixer sa valeur numérique.

Pour cela, on utilise la théorie quantique, qui permet d'obtenir les niveaux d'énergie électronique de l'atome d'hydrogène, soit dans le modèle le plus simple :  $E = -\frac{E_0}{n^2}$  avec  $E_0$  une constante et  $n = 1, 2, 3, \dots$

Ces raies visibles appartiennent à la série de Balmer, dont on va supposer que le niveau d'énergie d'arrivée est  $n_0 = 2$ , et le niveau de départ  $n = 3, 4, 5, 6$ .

On donne  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

15 - Donner l'expression de  $1/\lambda_n$  en fonction de  $E_0$ ,  $h$ ,  $c$  et de  $n$ .  $\lambda_n$  est-il croissant ou décroissant lorsque  $n$  augmente ?

16 - On souhaite maintenant vérifier que la formule trouvée à la question précédente est bien vérifiée expérimentalement. Il faut faire ceci à l'aide d'une régression linéaire issue des données du spectre ci-dessus.

Comment mettre la loi de la question précédente sous la forme  $y = a_{\text{théo}}x + b_{\text{théo}}$  ?

17 - Le graphique ci-dessous donne le résultat de la régression linéaire, avec  $a_{\text{exp}} = -14,5 \mu\text{m}^{-1}$  et  $b_{\text{exp}} = 2,9 \mu\text{m}^{-1}$ .

Le modèle linéaire est-il validé ? En déduire la valeur expérimentale de  $R_H = E_0/(hc)$ .

