

Activité : MODELE QUANTIQUE DE LA LUMIERE

Deux théories sur la nature de la lumière s'affrontent dès le XVII^{ème} siècle pour modéliser la lumière. Le modèle ondulatoire se heurte à certaines observations expérimentales d'interactions entre matière et rayonnement. Comment peut-on interpréter l'effet photoélectrique et les spectres d'émission discontinus ?

OBJECTIF

Découvrir l'interaction lumière – matière

I. QUANTIFICATION DE L'ENERGIE

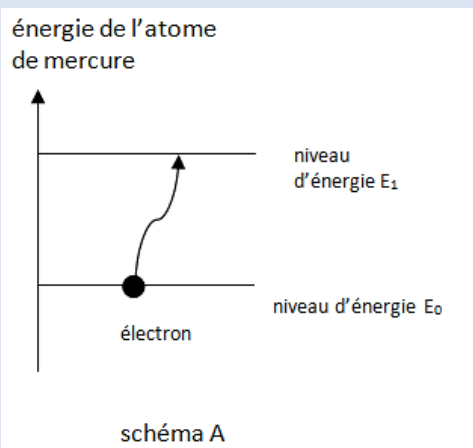
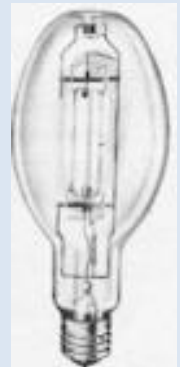
Doc1

Que nous apprend la lampe à vapeur de mercure ?

Une lampe à vapeur de mercure est une lampe à décharge émettant certaines radiations lumineuses.

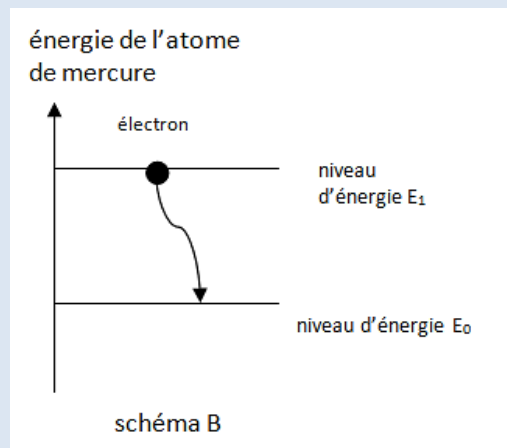


Cette lampe est constituée de deux électrodes placées à l'intérieur d'une ampoule transparente contenant l'élément mercure. En plein régime, la lampe est chaude et les atomes de mercure sont sous forme vapeur. Dans l'état fondamental de l'atome, les électrons occupent les niveaux de plus basses énergies. Un flux d'électrons libres est émis entre les électrodes. Ils entrent en collision avec les atomes de mercure qui sont alors excités. En fait, l'énergie transférée lors de collisions entre des électrons libres et des électrons des atomes de mercure fait migrer certains d'entre eux vers des niveaux d'énergie supérieurs. Comme l'atome tend toujours à retrouver l'état le plus stable, c'est-à-dire de plus faible énergie, l'électron va rapidement revenir (en une infime fraction de seconde en général) sur un niveau d'énergie inférieur : cette désexcitation spontanée se traduit par l'émission d'une radiation lumineuse qui emporte une énergie totale égale à la différence d'énergie entre le niveau d'énergie de départ et celui d'arrivée



Excitation de l'atome

Absorption d'énergie



Désexcitation de l'atome

Emission d'une radiation lumineuse

QUESTIONS

1. Attribuer à chacun des schémas un titre : excitation de l'atome de mercure ; désexcitation de l'atome de mercure.
2. Attribuer à chacun des schémas une légende: émission d'une radiation lumineuse ; absorption d'énergie.

Dans un livre de sciences physiques, on trouve l'affirmation suivante : « L'énergie de l'atome de mercure est quantifiée c'est à-dire que l'atome de mercure possède un nombre fini de niveaux d'énergie entre son niveau fondamental d'énergie minimum et un niveau d'énergie maximum. »

3. Mettre en adéquation cette affirmation et le document 1. Pour cela, choisir les bonnes propositions :
Le spectre du mercure est un spectre d'émission :

- continu
- discontinu

car l'atome de mercure possède un niveau d'énergie minimum et en s'excitant les électrons ont pu :

- acquérir n'importe quelle valeur d'énergie comprise entre cette énergie minimum et une énergie maximum
- acquérir que certaines valeurs d'énergie comprise entre cette énergie minimum et une énergie maximum

et en se désexcitant, les électrons excités ont pu

- perdre n'importe quelle quantité d'énergie
- ne perdre que certaines quantités d'énergie

donc l'atome de mercure a émis

- que certaines radiations lumineuses
- toutes les radiations lumineuses d'énergie comprises entre 0 et $(E_{\text{maximum}} - E_{\text{minimum}})$

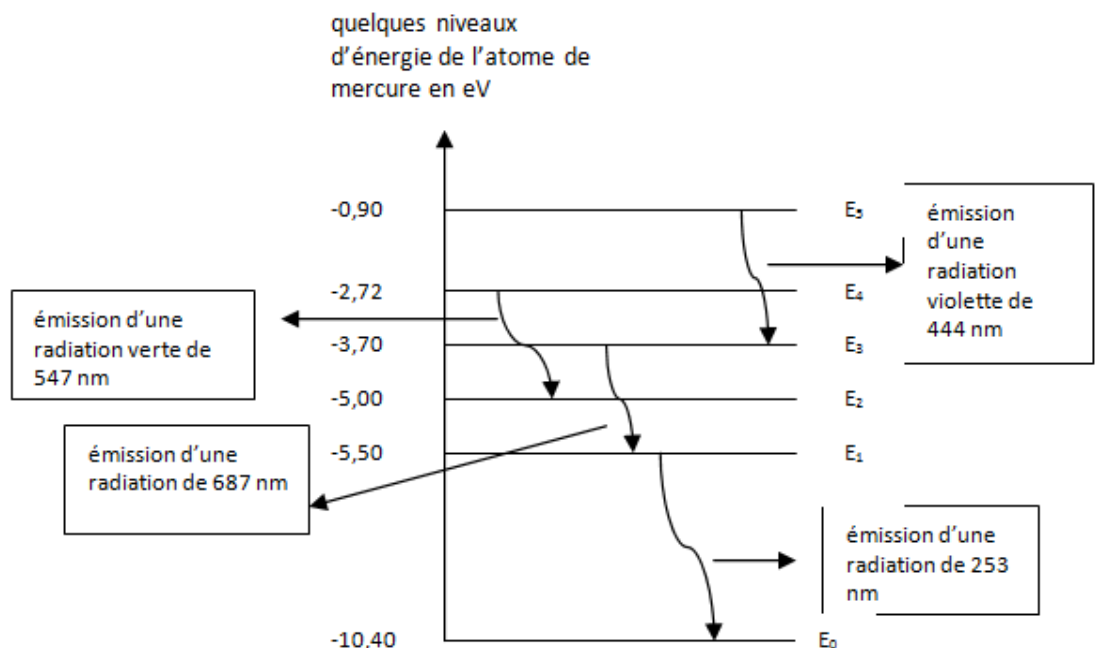
- ✓ L'énergie d'un atome est quantifiée. Elle ne peut prendre que certaines valeurs, appelées niveaux d'énergie
- ✓ Le diagramme de niveaux d'énergie d'un atome représente les niveaux possibles de cet atome. L'état de plus basse énergie correspond à l'état fondamental : c'est l'état stable de l'atome.

II. RELATION ENTRE LA PERTE D'ENERGIE D'UN ATOME ΔE ET LA FREQUENCE ν DE LA RADIATION LUMINEUSE EMISE

On donne le diagramme d'énergie d'un atome de mercure :

Donnée :

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

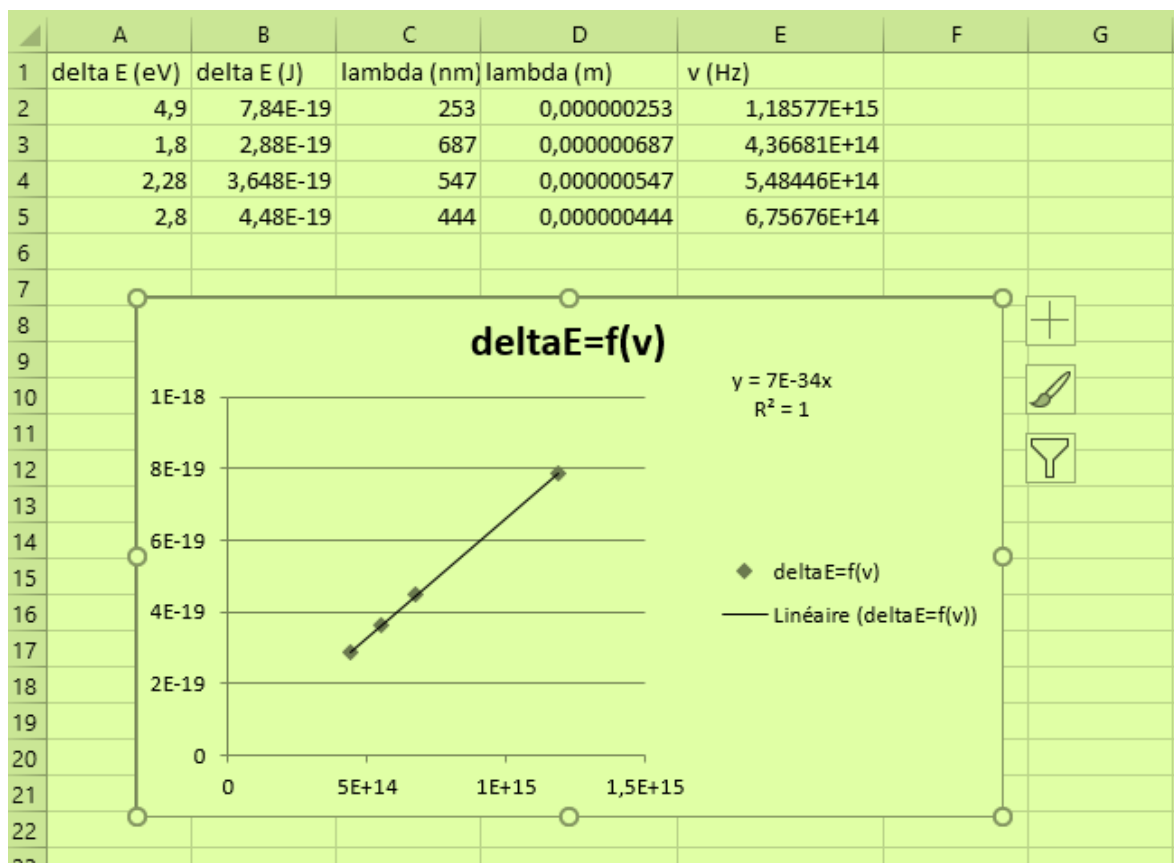


QUESTIONS

1. Pour les 4 passages de l'atome de mercure d'un niveau d'énergie à un autre appelés « transitions électroniques » décrites dans ce diagramme, compléter le tableau ci-dessous :

Transition électronique du niveau E ... à E.....	$ \Delta E $ en eV	$ \Delta E $ en J	λ émise en m	ν émise en Hz

2. A quelle transition électronique correspond la radiation rouge sur le spectre d'émission du mercure (document 1) ?
3. Tracer $|\Delta E| = f(\nu)$ avec $|\Delta E|$ en joules et ν en Hz. Trouver le coefficient directeur de la courbe que l'on notera h
4. Déterminer la relation qui relie la perte d'énergie $|\Delta E|$ en joules lors d'une transition électronique et la fréquence ν en Hz de la radiation émise
5. A quel domaine appartient la radiation produite par la transition de E_5 à E_0 ? Justifier.



$$h = 7 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$4. |E| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$5. E_5 \text{ à } E_0 : \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{7 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{9,5 \times 1,60 \times 10^{-19}} = 138 \text{ nm domaine des UV}$$

En se désexcitant, un atome perd une quantité d'énergie ΔE et émet une radiation lumineuse de fréquence ν et de longueur d'onde λ dans le vide ou dans l'air tel que :

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

avec $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ une constante appelée constante de Planck et c la célérité de la lumière dans l'air ou le vide $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

III. LE PHOTON : PARTICULE TRANSPORTANT DE L'ENERGIE

Doc2

Le photon

À la fin des années 1800, les scientifiques étudient la lumière émise par un gaz froid mais excité. Ils observent un spectre dont les raies sont caractéristiques des entités chimiques qu'il contient. En 1859, le physicien allemand Gustav Robert Kirchhoff baptise d'ailleurs ce type de spectre, « spectre d'émission ». Plusieurs chercheurs vont tenter d'expliquer comment de la matière peut générer un spectre de raies d'émission mais sans succès. C'est en 1900, que le physicien allemand Max Planck va fournir une partie de la réponse.

Planck constate d'abord qu'en utilisant la physique de l'époque, il est impossible de venir à bout du problème. Il élabore alors une théorie révolutionnaire qui va marquer rien de moins que le début de la physique moderne et la fin de la physique qui l'a jusqu'alors précédée. Dans sa théorie, Planck affirme que les échanges d'énergie entre un rayonnement lumineux et la matière ne peuvent se faire que par petits paquets d'énergie qu'il nomme « quanta » et qu'on rebaptisera un peu plus tard « photons ». Une telle proposition est contraire à tout ce que l'on sait à l'époque. En effet, la lumière est alors considérée comme une forme d'énergie continue qui se propage sous l'apparence d'une onde électromagnétique et non comme une forme d'énergie discontinue et quantifiée, telle que le suppose l'existence des photons qui sont des particules.

Entre alors en scène le physicien allemand Albert Einstein, en 1905. Non seulement donne-t-il raison à Planck, mais il va plus loin : il propose qu'en plus de se comporter à l'occasion comme une particule (le photon), la lumière garde un caractère ondulatoire et qu'il faut véritablement la considérer à la fois comme une particule et comme une onde. De plus, Einstein établit que l'énergie d'un photon est liée à la longueur d'onde de sa radiation. Ainsi, selon lui, les ondes ayant de grandes longueurs d'onde (comme la lumière rouge) transportent peu d'énergie, tandis que celles qui ont de courtes longueurs d'onde (comme la lumière violette) véhiculent plus d'énergie.

En 1913, le physicien danois Niels Henrik David Bohr intègre les avancées de Planck et Einstein à son nouveau modèle de l'atome et explique comment la matière peut émettre de la lumière sous forme de particules. Selon lui, **les électrons orbitant autour du noyau, situés sur des couches électroniques de niveau d'énergie bien défini, entre lesquelles ils peuvent « sauter ».**

La quantité d'énergie véhiculée par un photon de longueur d'onde λ est donné par la relation, dans laquelle « h » correspond à la constante de Planck et « c » correspond à la vitesse de la lumière dans le vide.

1. Quelle est la théorie révolutionnaire de Max Planck sur l'interaction lumière-matière ?
2. Le modèle de l'atome étudié en classe de seconde correspond à celui établi par Niels Bohr. Quelle information, non abordée l'an dernier, Bohr fournit-il concernant la répartition des électrons ?
3. Comment s'appelle la particule de lumière qui transporte de l'énergie ?

1. Les échanges d'énergie entre un rayonnement lumineux et la matière ne peuvent se faire que par petits paquets d'énergie qu'il nomme « quanta »
2. Les électrons orbitant autour du noyau, situés sur des couches électroniques de niveau d'énergie bien défini, entre lesquelles ils peuvent « sauter ».
3. Le photon

On considère que toute radiation lumineuse peut être décrite comme une onde et /ou comme une **particule** appelée **photon** : c'est un corpuscule de masse **nulle** de charge **nulle**, qui se déplace à la célérité de la **lumière** (c). L'énergie transportée par un photon est donc $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

IV. L'ENERGIE D'ABSORPTION EST-ELLE EGALEMENT QUANTIFIEE ?

Dans une lampe à vapeur de mercure, un moyen d'exciter les atomes de mercure est de provoquer des collisions d'électrons libres avec ces atomes. Un autre moyen d'exciter des atomes de mercure est de leur envoyer des radiations électromagnétiques donc des photons.

Expérience : on envoie sur des atomes de mercure dans leur état fondamental d'énergie minimum E_0 des photons d'énergie E . On considère les niveaux d'énergie du diagramme d'énergie du paragraphe II.

3 cas se présentent :

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
	$E < (E_1 - E_0)$	$E = E_1 - E_0$	$E_2 - E_0 > E > E_1 - E_0$
Observation	Atome non excité	Atome excité	Atome non excité

Remplir le tableau suivant :

	Vrai ou faux
un photon ne peut céder que la totalité de son énergie	vrai
un photon ne peut pas céder une partie de son énergie	vrai
un photon est une particule insécable	vrai
un photon peut céder une partie de son énergie et repartir avec le surplus d'énergie	faux

- ✓ Un atome n'absorbe que les **photons** dont l'énergie $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ lui permet de passer exactement à l'un de ses **niveaux** d'énergie supérieur.
- ✓ Les échanges d'énergie entre le rayonnement et l'atome sont donc **quantifiés**