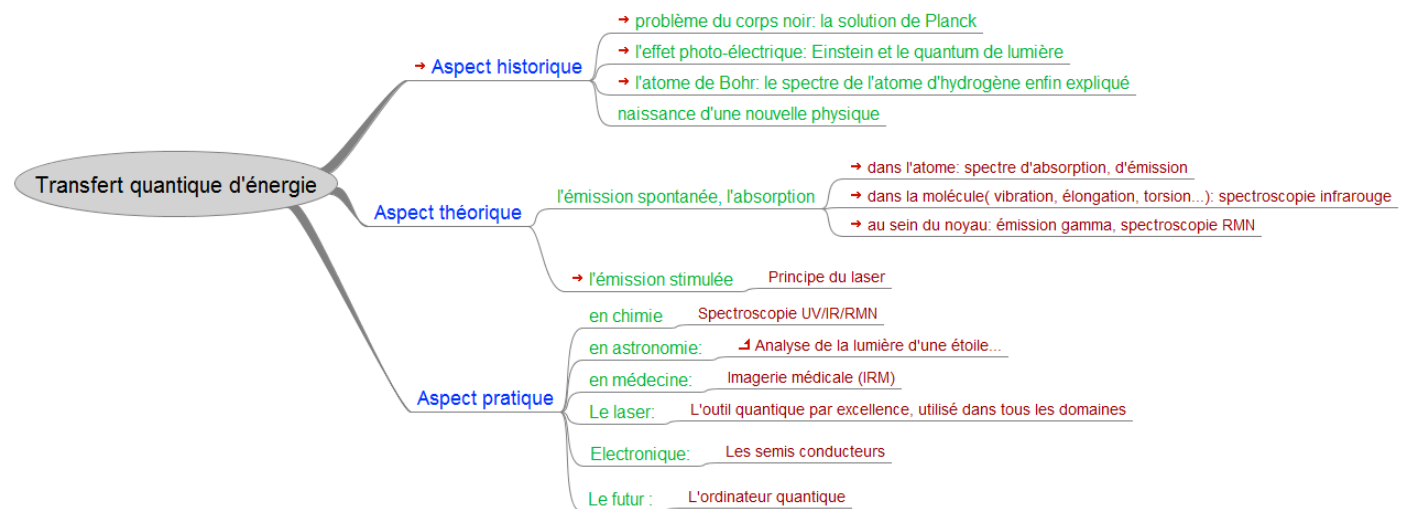


19-L- Transfert quantique d'énergie

Intro : Carte Mentale



Faire l'expérience de l'électroscope comme à Lakanal devant le Jury

Post Bac : Faire la démo du modèle de Bohr

[62] *Mécanique I*, J.P. Faroux : de façon assez surprenante, le modèle de Bohr y est traité très clairement

[33] *Mécanique quantique*, tome I, C. Cohen-Tannoudji



Mise en évidence de la quantification

1.2. Tentative d'interprétation semi-classique : l'atome de Bohr

[62] Condition de quantification à la main qui n'a pas de justification physique, mais on retrouve bien les constantes. Pour aller plus loin, il faut tenir compte de la nature quantique des électrons.

[33] Critique du modèle de Bohr : inégalités de Heisenberg, la notion de trajectoire n'a pas de sens, seulement densités de probabilité de présence dans tout l'espace.

1.2. Tentative d'interprétation semi-classique : l'atome de Bohr (D'après H prépa CHIMIE 1^{ère} année PCSI p 10)

Mécanique classique (modèle planétaire)

D'après le modèle de Rutherford, on se place dans le référentiel centré sur le noyau, on considère le mouvement circulaire uniforme (et dans le plan (Oxy) de l'électron.

L'électron n'est soumis qu'à la force électrostatique due au noyau, on néglige son poids (et bien sûr, il n'y a pas de frottements)

Principe Fondamentale de la Dynamique : $m_e \vec{a} = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{u}_r}{r^2}$

Or ici on est dans le cas d'une accélération central(en coordonnées de Frenet) $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{u}_T + \frac{v^2}{R} \vec{u}_N$ avec $\vec{u}_r = \vec{u}_N$

$$m_e \left(\frac{dv}{dt} \vec{u}_T + \frac{v^2}{R} \vec{u}_N \right) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{u}_N}{r^2}$$

$$m_e \left(\frac{dv}{dt} \right) = 0 \text{ et } m_e \left(\frac{v^2}{R} \overrightarrow{u_N} \right) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\overrightarrow{u_N}}{r^2}$$

On a donc un mouvement circulaire uniforme $v=\text{cte}$ et $v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$

L'énergie totale est égale à $E = E_c + E_p$ avec E_p l'énergie potentiel dont dérive la force électrostatique

$$E = \frac{1}{2} m_e \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r} + \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$$

$$E = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$$

Ce modèle classique n'est pas cohérent : Les électrons sur des trajectoires circulaire ont une accélération non nulle or en physique classique une particule chargée accélérée rayonne de l'énergie de manière continue ; l'énergie de l'atome diminuerait donc de manière continue et l'électron devrait tomber progressivement vers le noyau central : L'atome serait un édifice instable !

Modèle de Bohr

Pour palier à ses incohérences Niels Bohr eut l'idée d'utiliser la quantification introduite par Planck : Il admit que, pour qu'une orbite circulaire soit stable, son rayon r et la vitesse v de l'électron devaient vérifier la relation :

$$\text{Quantification du moment cinétique : } m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \quad \text{avec } n \in \mathbb{N}^*$$

En prenant v calculé en classique $v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}}$ on obtient alors $r^2 = \frac{n^2}{m_e^2 v^2} \frac{h^2}{(2\pi)^2} = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$

La quantité $\frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$ est homogène à une longueur qu'on appelle rayon de Bohr (noté : $r_0 = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$)

Dans ce modèle les trajectoires stable de l'électron sont donc des cercles de rayon $r = n^2 r_0$

Puisque r est quantifié par n il en est de même pour E que l'on note E_n

$$E_n = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_0} \frac{1}{n^2 r_0} = \frac{-m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$$

→ 1^{ère} confirmation du modèle, on retrouve bien le rayon de l'atome d'hydrogène dans son état fondamental, $r_0 = 52,9\text{pm}$

L'Emission d'un photon d'un niveau p vers un niveau n ($n < p$) avec une énergie $E_p - E_n = h\nu$

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4}{8 c \epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{p,n}} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

avec n et $p \in \mathbb{N}^*$ et $R_H = \text{constante de Rydberg} = 10979708 \text{ m}^{-1}$

C'est Rydberg et Ritz qui ont montré que les longueurs d'onde de toutes les raies d'émission de l'atome d'H pouvaient se mettre sous cette forme et le modèle de Bohr vient d'en apporter la preuve mathématique.

Cependant le modèle de Bohr est loin d'être complet puisqu'il ne permet pas d'interpréter les spectres des atomes autres que l'atome d'H.

Pour aller plus loin, il faut tenir compte de la nature quantique des électrons. Critique du modèle de Bohr : inégalités de Heisenberg, la notion de trajectoire n'a pas de sens, seulement la densité de probabilité de présence dans tout l'espace.

Piste si on veut aller plus loin :

Evolution d'une particule quantique dans un puit de potentiel (Chapitre 34 j'intègre PC-PC*)

[8, 33] Idée : description ondulatoire de la matière, fct d'onde. Résoudre le problème du puits infini. Analogie avec la corde vibrante (même quantification du vecteur d'onde, ensuite la relation de dispersion diffère). Conclusion : c'est le confinement qui est à l'origine de la quantification de l'énergie.

Partie Péda .

Ce thème intitulé transferts quantiques d'énergie s'inscrit dans une progression, de la classe de seconde jusqu'en terminale S.

- Présentation rapide des objectifs du programme

PROGRAMME DE SECONDE

Les étoiles : l'analyse de la lumière provenant des étoiles donne des informations sur leur température et leur composition. Cette analyse nécessite l'utilisation de systèmes dispersifs.	
Notions et contenus	Compétences attendues
Les spectres d'émission et d'absorption: spectres continus d'origine thermique, spectres de raies. Raies d'émission ou d'absorption d'un atome ou d'un ion. Caractérisation d'une radiation par sa longueur d'onde.	Savoir qu'un corps chaud émet un rayonnement continu, dont les propriétés dépendent de la température. Repérer, par sa longueur d'onde dans un spectre d'émission ou d'absorption une radiation caractéristique d'une entité chimique. <i>Utiliser un système dispersif pour visualiser des spectres d'émission et d'absorption et comparer ces spectres à celui de la lumière blanche.</i> Savoir que la longueur d'onde caractérise dans l'air et dans le vide une radiation monochromatique. Interpréter le spectre de la lumière émise par une étoile : température de surface et entités chimiques présentes dans l'atmosphère de l'étoile. Connaître la composition chimique du Soleil.
Dispersion de la lumière blanche par un prisme. Réfraction. Lois de Snell-Descartes.	<i>Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures et pour déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i> Interpréter qualitativement la dispersion de la lumière blanche par un prisme.

PROGRAMME DE PREMIERE S

OBSERVER

Couleurs et images <i>Comment l'œil fonctionne-t-il ? D'où vient la lumière colorée ? Comment créer de la couleur ?</i>	
Notions et contenus	Compétences attendues
Sources de lumière colorée	
Différentes sources de lumière : étoiles, lampes variées, laser, DEL, etc. Domaines des ondes électromagnétiques. Couleur des corps chauffés. Loi de Wien. Interaction lumière-matière : émission et absorption. Quantification des niveaux d'énergie de la matière. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon. Relation $E = h\nu$ dans les échanges d'énergie. Spectre solaire.	Distinguer une source polychromatique d'une source monochromatique caractérisée par une longueur d'onde dans le vide. Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets. Exploiter la loi de Wien, son expression étant donnée. <i>Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et de comprendre la notion de lumière colorée.</i> Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Connaître les relations $\lambda = c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie. Expliquer les caractéristiques (forme, raies) du spectre solaire.

PROGRAMME DE TERMINALE S

Notions et contenus	Compétences exigibles
Transferts quantiques d'énergie Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser. Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.	Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie). Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.

Je choisis de présenter plus spécifiquement ce thème au niveau de la 1^{ère} S.

Je vais donc traiter deux activités pour introduire la quantification de l'énergie .

➤ Je situe ces activités dans la séquence « Source de lumière » :

Avec la loi de Wien, on aura abordé l'aspect énergétique du rayonnement lumineux, étudié plus en détail dans ce chapitre. On explique d'abord que le modèle ondulatoire de la lumière est insuffisant pour décrire les échanges d'énergie entre lumière et matière. Après avoir introduit le photon, on applique le modèle corpusculaire aux échanges d'énergie entre atomes et lumière. On fait ainsi le lien avec les notions spectrales abordées en seconde.

Ces deux activités seront suivies dans le cadre du programme par l'étude du spectre solaire (non présenté ici car hors sujet).

➤ Pré-requis de la classe de seconde :

- Les spectres de la lumière (2^{nde})
- Domaines des rayonnements visibles, U.V et I.R (2^{nde})

➤ Pré-requis de la classe de 1^{er} S :

- Avoir vu la notion de charge électrique.

Faire l'expérience de l'effet photo électrique avec l'électroscope.

Leur proposer de noter leurs hypothèses.

Quelle est l'origine de l'émission de lumière par une source froide ?

1. Activité documentaire 1. La catastrophe ultraviolette (Nathan p : 80) + Fin de l'extrait de Jean-Michel Courty (Belin 1^{ère} S page 56) + Doc 2 (Nathan édition 2015 p 74)

Commentaires

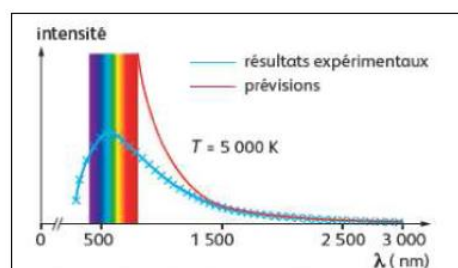
Pour établir un lien avec le rayonnement thermique rencontré au chapitre précédent, je propose l'exploitation de plusieurs documents d'histoire des sciences concernant l'évènement déclencheur de la découverte du photon, illustration intéressante de la façon dont progresse la connaissance scientifique. Des réponses aux questions, on attend que soit bien comprise l'importance de la distinction entre continuité et discontinuité des échanges d'énergie. De plus les étudiants s'aperçoivent qu'une découverte n'est que rarement lié au génie d'un seul homme.

Le modèle ondulatoire de la lumière résiste-t-il à toutes les épreuves expérimentales ?

En 1900, Lord John Rayleigh, en exploitant les lois qui régissent les ondes électromagnétiques, établit une loi qui permet de calculer, pour un corps chauffé, l'intensité lumineuse rayonnée suivant les différentes longueurs d'onde.

Pour les radiations allant de l'infrarouge au vert, l'expérience **corrobore la loi**. Mais pour le bleu, pour le violet, et plus encore pour l'ultraviolet, l'expérience est en contradiction flagrante avec la théorie (**figure 2**). Les équations prévoyaient en effet que l'intensité du rayonnement devait être extrêmement grande pour les petites longueurs d'onde.

C'est cet échec que les physiciens ont appelé la « catastrophe ultraviolette ».



2. Évolution de la puissance lumineuse émise par un corps chaud en fonction de la longueur d'onde.

Afin de surmonter cette « catastrophe », le physicien allemand Max Planck émet, quelques mois plus tard, une curieuse hypothèse : au lieu de considérer que les échanges d'énergie entre l'objet chauffé et le rayonnement qu'il émet se font de façon continue, Planck imagine qu'ils se font de façon discontinue, par paquets d'énergie. C'est comme si, au lieu de considérer que ces échanges d'énergie se faisaient à la manière d'un liquide s'écoulant d'un récipient à un autre, on remplaçait le liquide par des billes.

Planck a appelé ces paquets d'énergie des quanta (au singulier : quantum) ; plus tard, on les appellera des photons. Ces paquets n'ont pas tous la même « grosseur » : pour chaque radiation, l'énergie contenue dans un photon est inversement proportionnelle à sa longueur d'onde dans le vide.

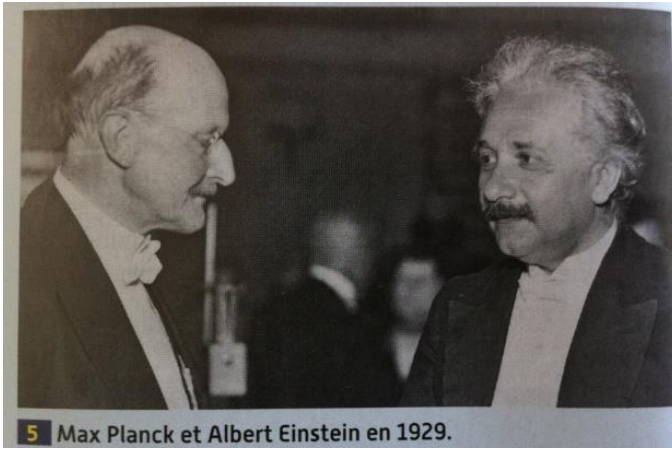
Cette intrusion brutale de la discontinuité dans le bel enchaînement de la physique traditionnelle va semer le désarroi parmi les physiciens et chez Planck lui-même. Elle lui paraît, au mieux, **un artifice de calcul**.

D'après *Le cantique des quantiques*, S. Ortolí et J.-P. Pharabod, Éditions La Découverte

De la catastrophe ultraviolette à l'émergence du photon.

La naissance du photon (Belin p56)

La proposition de Planck est contraire à tout ce que l'on sait de la lumière à l'époque : elle semble résulter d'un tour mathématique artificiel plutôt que d'une réalité physique. À l'inverse de ses collègues, Albert Einstein comprend vite l'ampleur de ses conséquences. Il est « conduit à se demander si les lois de la production et de la transformation de la lumière n'ont pas également la même structure et si la lumière, elle aussi, est constituée de quanta d'énergie de ce type ». Il forge dès 1905 le concept de corpuscule de lumière, qui sera plus tard nommé « photon ».



Doc. 2 Explication de l'effet photoélectrique par Albert Einstein

L'énergie lumineuse est transmise aux électrons par paquets appelés photons.
L'énergie d'un photon ne dépend que de la longueur d'onde de la lumière reçue. Un électron ne peut être éjecté du métal que s'il reçoit une énergie suffisante.

1. Comprendre le texte

A partir de ces documents réalisez une carte mentale afin de répondre à la question de l'activité « **Le modèle**

ondulatoire de la lumière résiste-t-il à toutes les épreuves expérimentales ? »
(Vous pouvez la faire sous la forme d'une frise chronologique)

- J'envoie au moins 2 élèves aux tableaux pour présenter leur carte mentale au reste de la classe

Cela permet de voir différentes façons de faire

2. Interprétation et imagination (Demander aux élèves de faire une « expérience de pensée » « d'imaginer »)

- a. Imaginer et décrire les sensations que nous pourrions ressentir en prenant un « bain de soleil » si chaque photon de la lumière solaire contenait une énergie perceptible à notre corps. (on peut s'aider d'une analogie)
- b. Trouver un ou plusieurs exemples tiré(s) de la vie courante où des transferts peuvent se faire de façon continue ou discontinue.

Correction :

- a. On pourrait sentir une pluie de particules : gouttes d'eau ou grêlons pendant une averse ou grains de sable projetés par le vent. (Avec des gouttes plus ou moins grosses comme pour des photons plus ou moins énergétiques)
- b. un filet d'eau et une goutte à goutte... une pente ou un escalier ...

3. Pour aller plus loin (pour les bons élèves ou ceux qui ont fini en avance)

Entre la lumière rouge d'une lampe témoin au néon et celle d'une lampe UV de bronzage, laquelle transporte des photons de plus grande énergie ?

Correction : Le texte indique que l'énergie du photon est inversement proportionnelle à la longueur d'onde : c'est la lampe UV qui émet les photons de plus grande énergie.

L'idée est d'aller à chaque fois corriger entre les parties pour éviter « de toute manière je comprends rien alors j'attends la correction »

1. Activité 2 : Spectre et niveaux d'énergie (bordas p : 61)

Commentaires :

Les spectres d'origine thermique, comme celui de la lumière émise par une lampe à incandescence, sont continus. Le spectre de la lumière d'une source à luminescence (comme une lampe à décharge) est un spectre de raies (voir séquence précédente).

L'activité 2 permet d'expliquer les spectres de raies à l'aide de la quantification des niveaux d'énergie des atomes.

Cette activité est présentée par le manuel comme une « démarche d'investigation », néanmoins j'apporterai quelques modifications à cette activité de façon à ce que les élèves la traitent davantage comme une résolution de problèmes telles qu'elles peuvent être rencontrées dans la spécialité de terminale.

SPECTRES ET NIVEAUX D'ENERGIE

La quantification de l'énergie permet d'expliquer les spectres de raies.

Pour commencer (situation déclenchante)

À l'aide d'un spectroscopie, on peut visualiser les raies d'émission présentes dans le spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur d'hydrogène (Fig. 1).

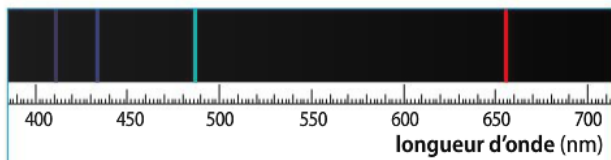


Fig. 1 Spectre d'émission de l'atome d'hydrogène.

Investigation

Comment expliquer l'existence d'un spectre de raies d'émission ?

Quelques idées (hypothèses)



Étude de document (recherche de validation)

L'énergie de la matière (par exemple d'un atome) ne peut prendre que certaines valeurs : on dit qu'elle est quantifiée.

Le niveau d'énergie le plus petit correspond à ce qu'on appelle l'« état fondamental » : c'est un état stable de la matière. Les niveaux d'énergie supérieure, appelés « états excités », sont des états instables de la matière. Un atome excité (par décharge électrique, chauffage, absorption de lumière...) retourne spontanément à son état fondamental en émettant un photon.

Un diagramme d'énergie (Fig. 2) permet de représenter les différents niveaux d'énergie possibles.

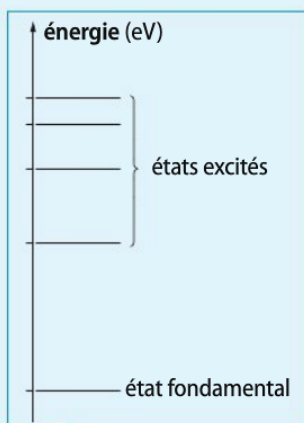


Fig. 2 Diagramme de niveaux d'énergie.

- 1 a. Calculer les énergies des cinq premiers niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.
b. Quelle est l'énergie de l'état fondamental ? Justifier.
c. Placer sur un diagramme ces cinq niveaux d'énergie.

- 2 Dans une lampe à vapeur d'hydrogène, les atomes sont excités par décharge électrique. On envisage par la suite le retour de l'atome excité à son état fondamental.

a. Donner l'expression littérale de la fréquence du photon émis lorsque l'atome retourne à l'état fondamental, en étant initialement dans le premier état excité.

b. En déduire l'expression littérale de la longueur d'onde de ce photon.

c. Reproduire et compléter le tableau suivant :

État initial de l'atome	1 ^{er} état excité	2 ^e état excité	3 ^e état excité	4 ^e état excité
Longueur d'onde du photon émis lors du retour à l'état fondamental				

d. Sur le diagramme de la question 1. c, représenter chaque retour d'état excité à l'état fondamental par une flèche verticale.

Données. Quantum d'énergie d'un photon : $\Delta E = h \cdot \nu$.
Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Pour conclure

- 3 a. Dans le spectre d'émission de la figure 1, retrouve-t-on les raies correspondant aux photons émis lorsqu'un atome d'hydrogène dans un état excité retourne à l'état fondamental ? Justifier.

b. Quelle est l'énergie d'un photon de la raie rouge ($\lambda = 656 \text{ nm}$) du spectre d'émission de l'hydrogène ? Cette énergie correspond-elle à la différence d'énergie entre deux états d'un atome d'hydrogène ? Si oui, préciser ces états et conclure.

c. À quels changements d'état correspondent les raies cyan ($\lambda = 486 \text{ nm}$) et bleue ($\lambda = 434 \text{ nm}$) du spectre de l'hydrogène ?

- 4 Comment peut-on justifier qu'une entité chimique possède un spectre de raies d'émission spécifique ?

Données. Relation entre longueur d'onde et fréquence : $\lambda = c/\nu$.
Vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dans le cadre de la physique quantique, il est possible d'établir une relation mathématique qui permet de calculer

Voici les modifications apportées à l'activité précédente.

Commentaires :

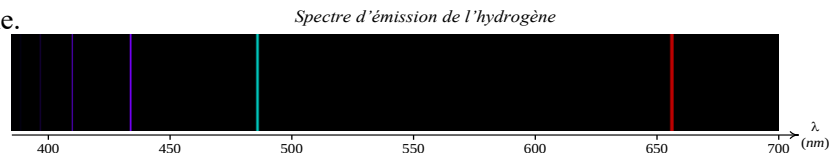
Les élèves ne sont plus guidés par un questionnaire . Ils disposent des documents pour répondre à la problématique posée (expliquer l'existence des spectres de raies). Par groupe de quatre ils doivent utiliser les documents et proposer une résolution du problème avec rédaction d'un compte rendu.

Ce type de travail, moins directif, nécessite plus de temps (2h) que l'activité présentée dans le manuel (1 h à 1h30 environ) mais a pour but d' initier les élèves à la résolution de problèmes proposé dans l'enseignement de spécialité en terminale S.

Les notions évoquées sont loin d'être intuitives pour les élèves et le temps consacré à cette activité permet également de s'appropriier les relations concernant l'énergie qui seront reprises par la suite dans des applications.

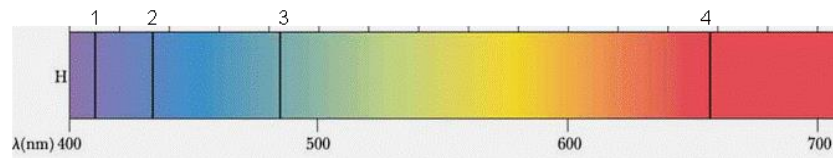
Situation déclenchante

A l'aide d'un spectroscope, on peut visualiser les raies d'émission présentes dans le spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur d'hydrogène.



Comment expliquer l'existence de ces raies ?

Si on compare le spectre d'émission de l'hydrogène avec son spectre d'absorption, que remarque-t-on ?



Pour les documents utiliser l'activité 2 page 75 (Nathan édition 2015)

Comment expliquer ce phénomène ?

Document 1 : Comment l'énergie lumineuse est-elle transportée ?

XX^{ème} siècle : Albert EINSTEIN (1889 -1955) et la théorie des QUANTA (1905)

Einstein comprend que les échanges d'énergie entre la lumière et la matière ne peuvent se faire que sous forme de « grains » ou « quanta » d'énergie bien déterminée.

Dualité onde-corpuscule de la lumière :

La lumière est à la fois une onde électromagnétique de fréquence ν et un faisceau de particules appelées photons transportant l'énergie E telle que :

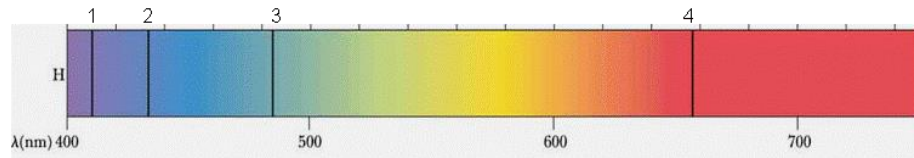


$$E = h \cdot \nu$$

Où $\left\{ \begin{array}{l} - h \text{ est la constante de Planck } h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} \\ - \nu \text{ est la fréquence de l'onde électromagnétique} \end{array} \right.$
associée au photon.

Que se passe-t-il quand un photon rencontre un atome ? Exemple de l'atome d'hydrogène.

Dans le cas de l'atome d'hydrogène. C'est l'élément le plus simple et le plus répandu dans l'univers. Son spectre d'absorption est le suivant :



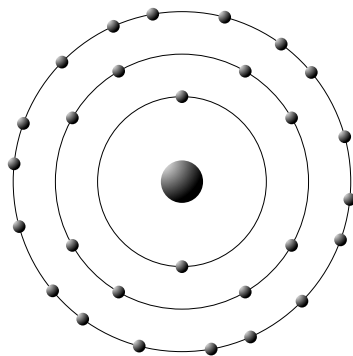
Certaines longueurs d'onde sont absorbées.

Quelles sont les énergies des photons associés aux radiations absorbées ?

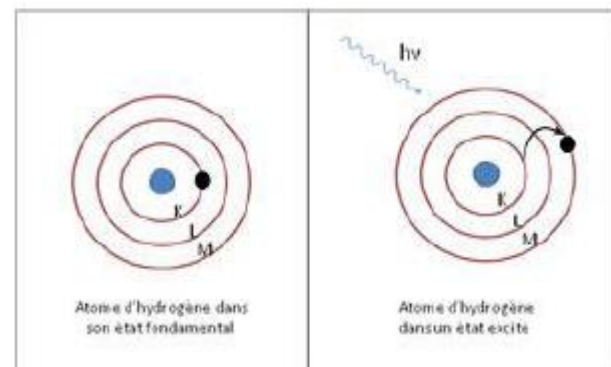
Document 2 :

Quand un atome absorbe de l'énergie lumineuse, il est excité ! Qu'est ce que cela veut dire ?

En 1913, Niels Bohr propose un modèle atomique quantique dans lequel les électrons ont des orbites de rayons définis. Seules existent quelques orbites "autorisées", ainsi les échanges d'énergie quantifiés correspondent à des sauts entre les orbites définies, et lorsque l'électron est sur l'orbite la plus "basse", il ne peut aller plus proche du noyau ni s'écraser dessus.



Document 2 : Description du modèle de l'atome de Bohr



Document 3 :

L'énergie de la matière (par exemple d'un atome) ne peut prendre que certaines valeurs : on dit qu'elle est quantifiée.

Le niveau d'énergie le plus petit correspond à ce qu'on appelle l'« état fondamental » : c'est un état stable de la matière. Les niveaux d'énergie supérieure, appelés « états excités », sont des états instables de la matière. Un atome excité (par décharge électrique, chauffage, absorption de lumière...) retourne spontanément à son état fondamental en émettant un photon.

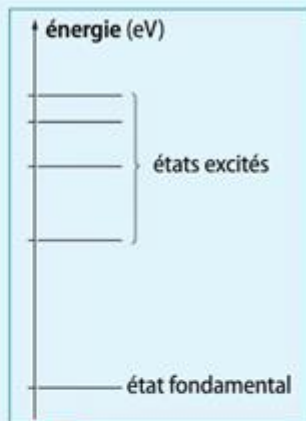


Fig. 2 Diagramme de niveaux d'énergie.

Un diagramme d'énergie (Fig. 2) permet de représenter les différents niveaux d'énergie possibles.

Dans le cadre de la physique quantique, il est possible d'établir une relation mathématique qui permet de calculer l'énergie du $n^{\text{ème}}$ niveau d'énergie E_n de l'atome d'hydrogène, l'atome le plus simple. Ainsi, $E_n = -E_0/n^2$, où $E_0 = 13,6 \text{ eV}$.

Les niveaux d'énergie d'un atome, notés $\mathcal{E}_n$, sont représentés sur un diagramme appelé « diagramme de niveaux d'énergie » (doc. 7). Au cours d'une transition d'un niveau à un niveau inférieur, l'énergie de l'atome diminue. On note $|\Delta\mathcal{E}|$ la valeur correspondant à cette diminution ($|\Delta\mathcal{E}| = |\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1|$ dans le document 7). $|\Delta\mathcal{E}|$ représente la valeur absolue de $\Delta\mathcal{E}$, c'est-à-dire sa valeur sans signe.

L'atome émet alors un photon transportant ce quantum d'énergie $|\Delta\mathcal{E}|$. Cela se traduit par l'émission d'une radiation de longueur d'onde dans le vide λ telle que :

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

Énergie en joule (J) ← Constante de Planck, en joule seconde (J·s); $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

← Vitesse de la lumière en mètre par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

← Longueur d'onde en mètre (m)

Remarque :

- L'unité de l'énergie dans le système international est le Joule. De manière plus usuelle on utilise ici l'électronvolt eV. C'est l'énergie acquise par un électron sous une différence de potentiel de 1 volt.

$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- Le niveau d'énergie $E = 0 \text{ eV}$ correspond à l'état ionisé. L'électron n'est plus attiré par le noyau, il est libéré.

Activité 3 (documentaire) : le spectre solaire (Bordas p : 62) (donnée à titre informatif)

Commentaires :

Les parties de la lave en fusion qui émettent une lumière jaune sont plus chaudes que celles qui émettent une lumière rouge car, d'après la loi de Wien (vue à la séquence précédente), la longueur d'onde à laquelle un maximum d'intensité lumineuse est émis par un corps noir est inversement proportionnelle à sa température. Or $\lambda_{\text{jaune}} < \lambda_{\text{rouge}}$.

L'activité 3 permet d'expliquer le spectre solaire à l'aide de la loi de Wien pour un corps noir et de la quantification des niveaux d'énergie de la matière.

Conclusion :