

ONDE LUMINEUSE ET CONTRADICTIONS EXPÉRIMENTALES

ASPECT CORPUSCULAIRE DE LA LUMIÈRE, LE PHOTON

Objectifs : justifier de la nécessité d'introduire la notion de photon pour expliquer des phénomènes physiques tels que l'effet photoélectrique ou les spectres d'émission des atomes.

I. LUMIÈRE, PHOTONS ET ÉNERGIE

1. L'effet photoélectrique

L'expérience reproduite en classe n'explore pas tous les cas de figure historiquement étudiés mais permet de mettre en évidence le phénomène d'effet photoélectrique.

On dispose d'un électroscope sur lequel est fixée une plaque de zinc.

L'électroscope est composé d'une tige reliée à une aiguille pouvant pivoter sur son axe. Cet appareil permet d'évaluer qualitativement la charge électrique portée par la plaque selon le principe suivant : des charges électriques de même signe se repoussent. **L'AIGUILLE MOBILE S'ÉCARTE D'AUTANT PLUS DE LA VERTICALE QUE L'ÉLECTROSCOPE EST CHARGÉ.**

L'électroscope est initialement chargé **NÉGATIVEMENT** à l'aide d'une tige d'ébonite.

On observe son comportement lorsqu'on éclaire la plaque de zinc avec une lumière ultraviolette, de longueurs d'onde $\lambda = 365 \text{ nm}$ puis $\lambda = 254 \text{ nm}$. L'intensité lumineuse est comparable pour chacune des longueurs d'onde.

La vidéo de l'expérience est accessible en scannant le QR-Code ci-contre.



Photo 1 : Montage illustrant l'effet photoélectrique



QRCode 1 : Vidéo de l'expérience en classe

Observations en classe :

- x Les UV de longueur d'onde $\lambda = 365 \text{ nm}$ sont sans effet sur l'électroscope.
- x Les UV de longueur d'onde $\lambda = 254 \text{ nm}$ provoquent une décharge de l'électroscope.

Observations complémentaires lors des expériences historiques :

- x Dans le cas d'une longueur d'onde trop élevée, **L'AUGMENTATION DE L'INTENSITÉ DE LA SOURCE LUMINEUSE EST SANS EFFET ET NE PROVOQUE PAS L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE.**
- x Pour une longueur d'onde capable de provoquer l'effet photoélectrique, **L'AUGMENTATION DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE de la source AUGMENTE LE NOMBRE D'ÉLECTRONS ÉJECTÉS** mais est **SANS EFFET SUR LEUR ÉNERGIE.**
- x L'énergie des électrons éjectés est indépendante de l'intensité lumineuse mais dépend de la longueur d'onde de la lumière incidente : plus λ diminue, plus l'énergie des électrons éjectés est importante.



QRCode 2 : Einstein et l'effet photoélectrique

2. Notion de photon - Énergie associée

C'est l'introduction de la notion de **photon** par Einstein qui a permis d'expliquer complètement les phénomènes observés. Dans ce cadre, le photon peut être vu comme **UNE PARTICULE D'ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE, DE MASSE NULLE, SE PROPAGEANT À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE.**

La relation de Planck-Einstein permet d'exprimer l'énergie d'un photon :

$$E_{\text{photon}} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

- x E_{photon} : énergie du photon en **J (joules)**.
- x $h = 6,62606957 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \approx 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$: constante de Planck.
- x $c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$: vitesse de la lumière dans le vide.
- x ν : fréquence de la radiation lumineuse associée, en **Hz (hertz)**.
- x λ : longueur d'onde dans le vide de la radiation lumineuse associée en **m (mètres)**.

Applications : Calculer les énergies des photons de longueurs d'onde 365 nm et 254 nm.

Une unité d'énergie adaptée

Dans le système international d'unité, les énergies s'expriment en joules (J). Cependant, à l'échelle d'un photon ou d'un atome, le joule se révèle peu adapté.

On définit ainsi une autre unité d'énergie, l'**électronvolt (eV)**, définie comme l'énergie que possède un électron accéléré par une tension égale à 1 volt. Connaissant la charge élémentaire de l'électron $e = 1,602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$, on a la correspondance suivante entre l'électronvolt et le joule :

$$1 \text{ eV} \approx 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Photon et effet photoélectrique

L'effet photoélectrique correspond à l'éjection d'un électron d'un métal sous l'action de la lumière.

POUR UN MÉTAL, ON DÉFINIT LE TRAVAIL D'EXTRACTION COMME L'ÉNERGIE NÉCESSAIRE À L'ÉJECTION D'UN ÉLECTRON.

Pour la plaque de zinc utilisée dans l'expérience en classe, ce travail d'extraction vaut $W_e = 4,3 \text{ eV}$.

Justifier par un calcul l'inefficacité des UV à 365 nm et l'efficacité des UV à 254 nm.



II. ATOMES ET ÉMISSION LUMINEUSE

1. Allure du spectre d'un atome et interprétation énergétique

- 1 Rappeler les caractéristiques d'un spectre d'émission d'atomes.
- 2 Quelles conclusions a-t-on tirées de l'allure des spectres d'émission des atomes concernant la répartition des électrons autour du noyau ?
- 3 À quelle(s) condition(s) la configuration électronique d'un atome peut-elle changer ?

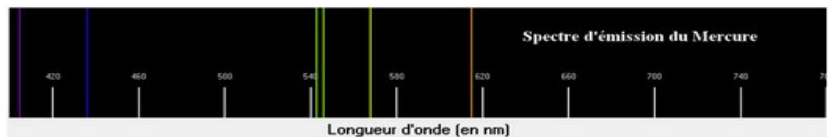


Illustration 1 : Spectre d'émission du mercure

2. Niveaux d'énergie et radiation lumineuse

La quantification des niveaux d'énergie des atomes stipule qu'un atome ne peut prendre que des énergies bien particulières, directement liées à la répartition de ses électrons sur les couches électroniques. On parle de niveaux d'énergie **DISCRETS**, par opposition à **CONTINUS**.

L'état d'énergie **le plus bas**, d'énergie E_0 , est appelé **l'état fondamental**.

On a $E_0 < E_1 < E_2 < E_3 < E_4$, où les niveaux $E_i (i > 0)$ correspondent aux **états excités** de l'atome.

L'énergie E_∞ correspond à **l'énergie d'ionisation**, c'est-à-dire l'énergie à fournir pour arracher un électron à l'atome.

La transition d'un niveau d'énergie à un autre s'accompagne de l'émission d'un photon de fréquence ν donnée. La relation de Planck-Einstein permet de relier le transfert d'énergie à la fréquence du photon émis ou absorbé.

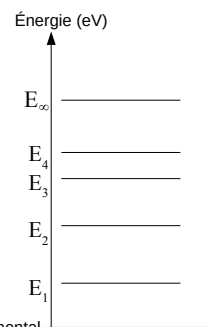


Illustration 2 : Diagramme énergétique d'un atome quelconque

$$\underbrace{\Delta E}_{\text{J}} = E_{\text{photon}} = \underbrace{h}_{\text{J}\cdot\text{s}} \times \underbrace{\nu}_{\text{Hz}}$$

- 1 Si on considère le caractère ondulatoire de la lumière, on peut définir la longueur d'onde λ associée à la vibration périodique. La longueur d'onde d'une onde périodique progressive est définie comme la distance parcourue par l'onde pendant une durée égale à une période T .
 - a Rappeler la vitesse de propagation de l'onde lumineuse ?
 - b En déduire l'expression de λ en fonction de la période T .
 - c Montrer qu'on peut écrire $\Delta E = \frac{h \times c}{\lambda}$.
- 2 **Applications à l'atome de mercure**

On donne les énergies de quelques niveaux de l'atome de mercure : $E_0 = -10,44 \text{ eV}$; $E_1 = -5,77 \text{ eV}$; $E_2 = -5,55 \text{ eV}$; $E_3 = -4,98 \text{ eV}$; $E_4 = -3,73 \text{ eV}$; $E_5 = -0,90 \text{ eV}$.

 - a Déterminer la fréquence ν et la longueur d'onde λ du photon émis lors de la transition $E_5 \rightarrow E_4$.
 - b Identifier la raie concernée sur le spectre de la figure 1.