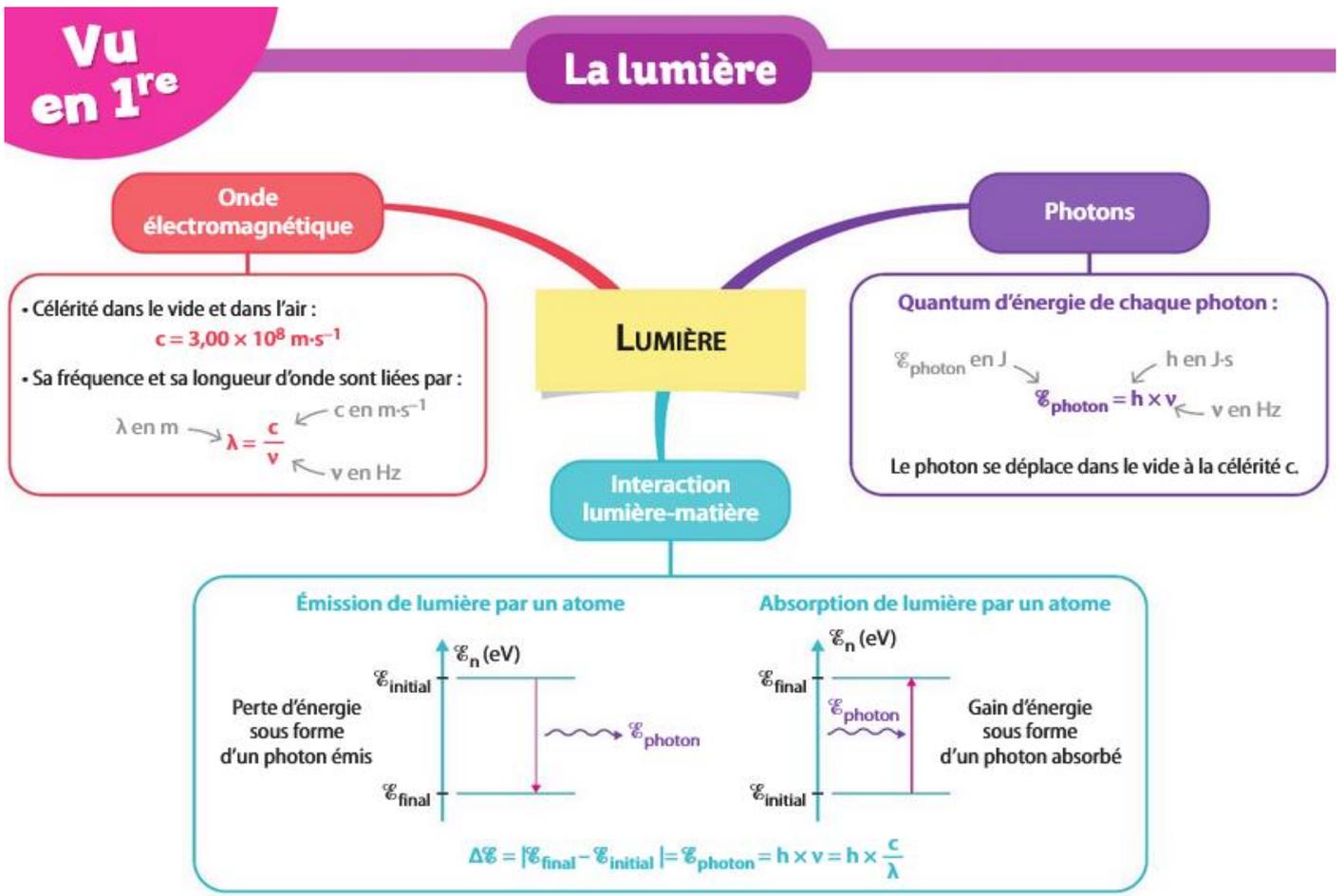


AVANT DE COMMENCER



[Pour se tester](#)



[Capsule](#)

CONTEXTE DU SUJET

La dualité onde corpuscule que vous avez vu l'an dernier en Première Spé a directement découlé de l'observation d'un phénomène bien singulier, l'effet photoélectrique. À la fin du XIX^e siècle, certains faits expérimentaux, notamment l'effet photoélectrique, ne s'expliquaient pas par la physique classique qui proposait uniquement un modèle ondulatoire de la lumière.

Partons donc à la découverte de cet effet à l'origine de la théorie corpusculaire de la lumière qui a révolutionné la physique quantique !

PREMIERE PARTIE : UN PEU D'HISTOIRE !

QUELQUES DOCUMENTS

Document 1 : Frise chronologique

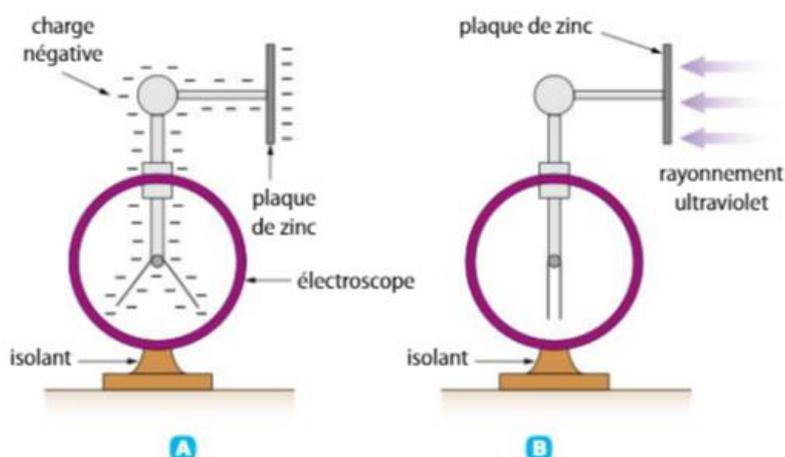


Document 2 : Expérience de Hertz et Hallwachs

En 1887 Heinrich Hertz (1857-1894) observe par hasard lors d'une expérience sur les ondes électromagnétiques, une influence de la lumière sur l'électricité. Avec son collaborateur, Wilhem Hallwachs (1859-1922), ils réalisent en 1888 le montage expérimental schématisé ci-contre.

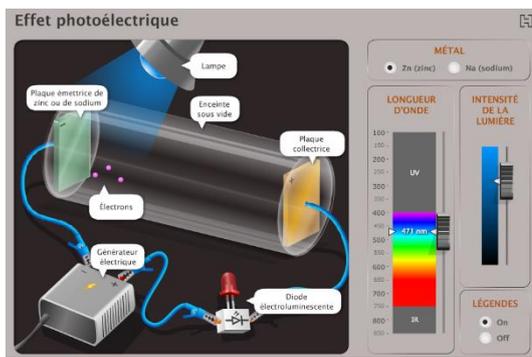
Voici les résultats de leurs expériences :

- lorsque l'électroscope est chargé négativement et la plaque éclairée par un rayonnement ultraviolet, il se décharge ;
- lorsque l'électroscope est chargé positivement et la plaque éclairée par un rayonnement ultraviolet, il ne se passe rien ;
- lorsque l'électroscope est chargé négativement et la plaque éclairée par un rayonnement visible, il ne se passe rien.

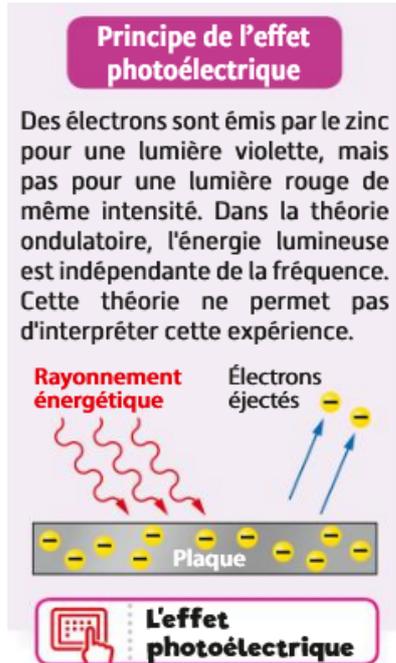


[Capsule vidéo](#)

Document 3 : Principe de l'effet photoélectrique et modèle corpusculaire



(à télécharger sur Moodle et à lire sur [projo](#))



Le modèle corpusculaire

À partir du modèle de Planck, Einstein propose un modèle corpusculaire de la lumière : une onde électromagnétique de fréquence ν est aussi un flux de particules appelées photons, d'énergie $h\nu$. Il affirme que c'est l'absorption de ces photons qui permet d'expliquer l'effet photoélectrique. Si l'énergie du photon absorbé est suffisante, l'électron est extrait. L'intensité lumineuse est liée au nombre de photons incidents mais pas à leur énergie. Il obtint pour cela le prix Nobel de physique en 1921.

ANALYSER ET VALIDER

1. Après avoir lus les documents et visionner la vidéo de l'expérience, compléter la définition de l'effet photoélectrique.

L'effet photoélectrique est l'émission d' [] d'un matériau sous l'effet d' []

2. Déterminer à l'aide de l'animation les fréquences pour le zinc et le sodium pour lesquelles l'effet photoélectrique se produit.

Avec l'animation on détermine la longueur d'onde limite :

Pour le zinc -> $\lambda = 286 \text{ nm}$ et on calcule $f = \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{286 \times 10^{-9}} = 1,05 \times 10^{15} \text{ Hz}$

Pour le sodium -> $\lambda = 540 \text{ nm}$ et on calcule $f = \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{540 \times 10^{-9}} = 5,56 \times 10^{14} \text{ Hz}$

3. Comment évolue le nombre d'électrons émis avec l'intensité du rayonnement incident ?

Plus on augmente l'intensité, plus le nombre d'électrons émis augmente

4. Pourquoi Hertz et Hallwachs ont-ils constaté que lorsque l'électroscope est chargé positivement et la plaque éclairée par un rayonnement UV, rien ne se passe ?

L'effet photoélectrique consiste en un arrachement d'électrons du matériau éclairé par la lumière, donc si la lame métallique de l'électroscope est chargée positivement, même si il y a arrachement d'électrons, l'excès de charges positives sera toujours présent donc on ne peut rien observer même si la fréquence seuil est atteinte.

5. En vous basant sur les documents mis à disposition, précisez l'apport de Max Planck et Albert Einstein dans l'explication de l'effet photoélectrique.

Si l'on considère la lumière comme une onde, en augmentant son intensité et en attendant suffisamment longtemps, on devrait pouvoir fournir suffisamment d'énergie au matériau pour en libérer les électrons. Or l'expérience montre que l'intensité lumineuse n'est pas le seul paramètre, et que le transfert d'énergie provoquant la libération des électrons ne peut se faire qu'à partir d'une certaine fréquence -> ça coince

La théorie de Planck fait l'hypothèse que lorsque la matière interagit avec une onde, il y a un échange d'énergie et que celui-ci est quantifiée (c'est le quantum d'énergie). La matière ne pourra interagir que pour des valeurs bien précises qui dépendent de la fréquence du rayonnement (c'est la théorie des quanta) -> Un rayonnement transporte de l'énergie par paquet -> on s'approche !

Einstein propose que ces paquets d'énergie soient en fait des « flux de particules de lumière » appelées photons qui transportent un quantum d'énergie. L'interprétation d'Einstein, l'absorption d'un photon, permet d'expliquer parfaitement toutes les caractéristiques de l'effet photoélectrique. Les photons de la source lumineuse possèdent une

énergie caractéristique déterminée par la fréquence de la lumière. Lorsqu'un électron du matériau absorbe un photon et que l'énergie de celui-ci est suffisante, l'électron est éjecté; sinon l'électron ne peut s'échapper du matériau. Comme augmenter l'intensité de la source lumineuse ne change pas l'énergie des photons mais seulement leur nombre (plus il y a de photons, plus il y a de lumière, plus c'est intense ; plus il y a de photons absorbés, plus il y a d'électrons éjectés), on comprend aisément que l'énergie des électrons émis par le matériau ne dépend pas de l'intensité de la source lumineuse -> on y est !

DEUXIEME PARTIE : INTERPRETATION DE L'EFFET PHOTOELECTRIQUE ET BILAN ENERGETIQUE

QUELQUES DOCUMENTS

Document 1 : Philipp Lenard et Einstein : un duo gagnant

1899-1902 – Philipp LENARD fait une série d'observations :

- les radiations UV arrachent des électrons aux métaux de manière quasi instantanée. Ce n'est pas toujours le cas des radiations visibles ;
- lorsque les électrons sont arrachés :
 - leur nombre est proportionnel à l'éclairement,
 - leur énergie cinétique est indépendante de l'éclairement,
 - leur énergie cinétique augmente quand la longueur d'onde de la radiation incidente diminue.

Le modèle ondulatoire de la lumière, admis à l'époque, ne permet pas d'expliquer ces phénomènes.



1905 – Albert EINSTEIN publie un article expliquant que la lumière pourrait être un ensemble de particules (plus tard nommées photons). Chaque particule possède une énergie inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ du rayonnement lumineux :

$$E_{\text{photon}} \text{ en J} = h \times \frac{c}{\lambda}$$

h en J·s c en m·s⁻¹ λ en m

- L'effet photoélectrique ne se manifeste que si l'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction d'un électron du métal noté $W_{\text{extraction}}$. L'énergie excédentaire est emportée par l'électron sous forme d'énergie cinétique.

Données

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.
- Masse de l'électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Document 2 : Les rayonnements issus de plaques de zinc et de cuivre

Dans ce tableau, la fréquence la plus petite permettant l'émission d'électron est appelée fréquence d'extraction ou fréquence seuil du métal considéré.

Métal	Longueur d'onde du rayonnement (nm)	Fréquence du rayonnement (Hz)	Énergie du rayonnement (J)	Émission d'électrons	Énergie cinétique des électrons émis (J)
Cuivre	200		$9,94 \times 10^{-19}$	Oui	$2,39 \times 10^{-19}$
	263		$7,55 \times 10^{-19}$	Oui	≈ 0
	400		$4,97 \times 10^{-19}$	Non	
Zinc	200			Oui	
	290			Oui	≈ 0
	500			Non	

Pour un métal donné, l'effet photoélectrique se produit lorsque la longueur d'onde de la radiation lumineuse mise en jeu est inférieure à une longueur d'onde seuil λ_s . A cette longueur d'onde, les électrons émis ont une vitesse quasi nulle.

ANALYSER

1. Comment la proposition d'Albert Einstein permet-elle d'expliquer l'observation de Philipp LENARD, selon laquelle les radiations UV sont davantage capables d'arracher des électrons aux métaux que les rayonnements visibles ?

Les UV sont des rayonnements à faibles longueurs d'onde. Selon Einstein, lorsque l'énergie du photon est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Donc pour des petites longueurs d'onde, l'énergie sera grande. Il faut une énergie suffisamment élevée pour arracher l'électron.

2. Calculer la valeur de la fréquence des rayonnements émis et les énergies correspondantes en Joule et compléter les colonnes 3 et 4 du tableau du document 2.

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$E = h\nu$$

	longueur d'onde en nm	Fréquence en Hz	E en J	émission d'électrons	Energie cinétique des électrons émis (J)
Cuivre	200	1,5E+15	9,94E-19	oui	2,39E-19
	263	1,14068E+15	7,55E-19	oui	0
	400	7,5E+14	4,97E-19	non	
Zinc	200	1,5E+15	9,945E-19	oui	
	290	1,03448E+15	6,8586E-19	oui	0
	500	6E+14	3,978E-19	non	

3. Déterminer les longueurs d'onde seuil puis l'énergie minimale nécessaire à l'émission d'électrons par absorption d'un rayonnement incident pour chaque métal. Cette énergie est appelée travail d'extraction, noté $W_{\text{extraction}}$.

4. En déduire la différence entre l'énergie absorbée pour le cuivre avec un flux de photons à 200 nm et le travail d'extraction

5. Comparer cette différence avec l'énergie cinétique des électrons émis.

6. Etablir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie du photon incident E_{photon} , celle transférée pour arracher un électron du métal $W_{\text{extraction}}$ et l'énergie cinétique des électrons émis E_c .

VALIDER

Une plaque de césium

| Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Du césium (photographie ci-contre) est éclairé par une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,44 \mu\text{m}$. La longueur d'onde seuil du césium pour l'effet photoélectrique est $\lambda_s = 0,64 \mu\text{m}$.

- Calculer le travail d'extraction $W_{\text{extraction}}$ pour le césium.
- Sans calcul, prévoir si un photon incident associé à la lumière monochromatique décrite ci-dessus possède suffisamment d'énergie pour arracher un électron de ce métal.
- Calculer l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c_{\text{max}}}$ de chaque électron éjecté.
- Calculer la valeur maximale v_{max} de la vitesse de chaque électron éjecté.

Données

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.
- Masse d'un électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.



$$1. W_{\text{extraction}} = h \times \frac{c}{\lambda_s} = 6,63 \times 10^{-34} \times \frac{3,00 \times 10^8}{0,64 \times 10^{-6}} = 3,11 \times 10^{-19} \text{ J}$$

2. Il faut des longueurs plus petites que la longueur d'onde seuil (pour avoir des énergies plus grandes). Ici c'est bon.

3. $E_{\text{photon}} = W_{\text{extraction}} + E_c$ soit $E_c = E_{\text{photon}} - W_{\text{extraction}} = h \times \frac{c}{\lambda_S} - W_{\text{extraction}} = 6,63 \times 10^{-34} \times \frac{3,00 \times 10^8}{0,44 \times 10^{-6}} - 3,11 \times 10^{-19}$
 $E_c = 1,41 \times 10^{-19} \text{ J}$

4. $v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,41 \times 10^{-19}}{9,11 \times 10^{-31}}} = 5,6 \times 10^5 \text{ m/s}$

Objectifs de l'activité	 Trop facile	 Avec une petite aide	 SOS ...
 Décrire l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique.			
 Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière.			
 Etablir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.			