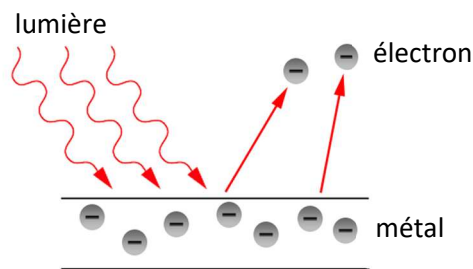
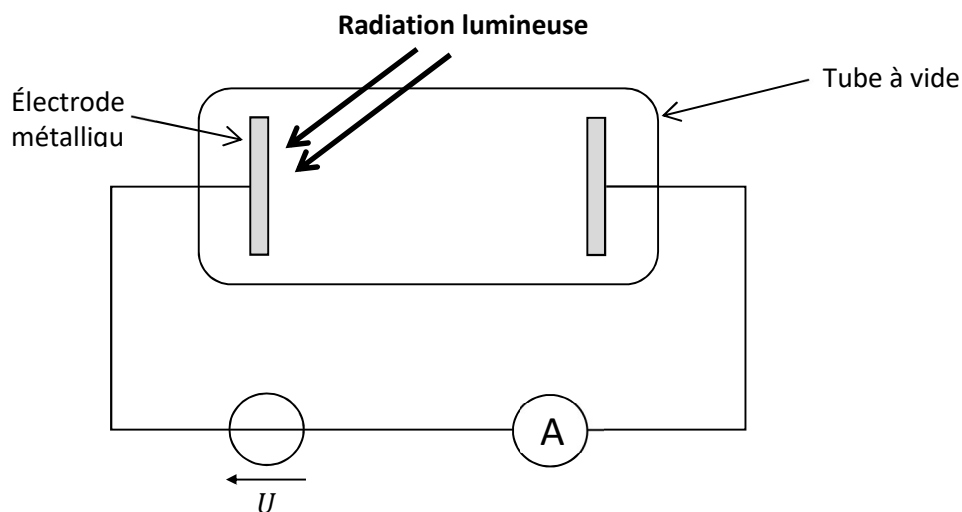


Analyse documentaire : Effet photoélectrique



Document 3 : Expérience de Philip Lenard sur l'effet photoélectrique



Principe de l'expérience de Lenard et grandeurs mesurées :

On place deux plaques métalliques (électrodes) face à face dans un tube à vide.

Sur une des deux électrodes, on envoie de la lumière, de fréquence et d'intensité réglable.

De plus, grâce à une source de tension, on peut aussi appliquer une tension réglable U entre les deux électrodes. Enfin, un ampèremètre permet de mesurer le courant qui circule dans le circuit.

Questions : répondez précisément et concisément en utilisant les documents fournis

- 1) Le terme « photon » a été introduit par le chimiste Gilbert Lewis en 1926. Comment Einstein appelait-il ces particules ?

Il les nommait des « quanta », particules transportant une quantité donnée d'énergie lumineuse (au singulier « quantum »).

- 2) Expliquez clairement quel aspect de l'effet photoélectrique est en contradiction avec une théorie purement ondulatoire de la lumière, et pourquoi l'introduction de la notion de photon résout le problème.

Il n'apparaît qu'au-delà d'une fréquence seuil, indépendamment de l'intensité du faisceau de lumière incident. On a donc une interaction particule à particule pour expliquer l'arrachement des électrons de la matrice métallique. Chaque photon représente un paquet individuel d'énergie $h.f$ (noté usuellement $h.v$) dépendant de la fréquence de la radiation. Cette valeur doit être suffisante : $h\nu > W_s$

3) Quel physicien avait, avant Einstein, émis l'idée que l'énergie lumineuse pouvait être constituée de particules individuelles ou « quanta » (de la même façon que la matière est constituée d'atomes).

Planck invente le terme de quanta pour arriver à une théorie satisfaisante du corps noir : un corps porté à la température T émet des rayons électromagnétiques quantifiés selon une loi de distribution discrète.

Planck n'a pas à proprement parler défini des photons véhiculant l'énergie lumineuse, comme le suggère l'expérience sur l'effet photoélectrique. Pour Planck, la quantification est située au niveau du corps noir et concerne l'échange de ce corps avec son environnement électromagnétique.

4) Calculez la fréquence seuil de la lumière permettant une émission photoélectrique pour du Zinc, pour du Platine et pour du césium. Dans chaque cas, donner les longueurs d'ondes correspondantes puis indiquer de quel type de radiation il s'agit.

$W_s(\text{Zn}) = 4,3 \text{ eV}$. Arrachement des électrons dans le zinc à partir d'une fréquence seuil :

$$f_{s,\text{Zn}} = W_{s,\text{Zn}} / h = 4,3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} / 6,62 \cdot 10^{-34} = 1,04 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Soit pour une longueur d'onde : $\lambda_{\text{Zn}} = 288 \text{ nm}$ (UV) (il faut des longueurs d'onde inférieures à cette valeur).

De même :

$W_s(\text{Pt}) = 6,35 \text{ eV}$. Arrachement des électrons dans le platine à partir d'une fréquence seuil :

$$f_{s,\text{Pt}} = W_{s,\text{Pt}} / h = 6,35 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} / 6,62 \cdot 10^{-34} = 1,54 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Soit pour une longueur d'onde : $\lambda_{\text{Pt}} = 194 \text{ nm}$ (UV)

$W_s(\text{Cs}) = 6,35 \text{ eV}$. Arrachement des électrons dans le Césium à partir d'une fréquence seuil :

$$f_{s,\text{Cs}} = W_{s,\text{Cs}} / h = 2,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} / 6,62 \cdot 10^{-34} = 5,0 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Soit pour une longueur d'onde : $\lambda_{\text{Cs}} = 600 \text{ nm}$ (visible, orangé)

5) A votre avis, quelle est la valeur de la pente de la droite dans la courbe représentative de E_c en fonction de ν (doc. 3) dans l'expérience de Lenard.

$E_c = mv^2/2 = h.v - W_s$, donc le graphe $E_c = f(\nu)$ a pour pente $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

Concrètement, on mesurera E_c par le potentiel d'arrêt des électrons, c'est à dire la tension U qu'il faut appliquer entre les électrodes pour bloquer le passage du courant produit par l'effet photoélectrique. (voir question 6.).

La quantité de d'électrons arrachés sera elle directement liée à l'intensité électrique détectée par un micro-ampèremètre placé en série dans le circuit.

Ceci permet ensuite d'évaluer un rendement quantique, nombre d'électrons arrachés par seconde rapporté au nombre de photons incidents.

Notion non abordée ici, mais traitée dans l'exercice « Etude d'une cellule photoélectrique au potassium » sur la feuille d'exercices sur la physique quantique.

6) On réalise l'expérience de Lenard avec une plaque de Zinc, en utilisant une lumière ultraviolette de longueur d'onde 200 nm.

Y aura-t-il des électrons arrachés ?

Si oui, quelle sera leur énergie cinétique juste après avoir été arrachés.

Si on veut empêcher ces électrons d'atteindre l'autre électrode, quelle tension U faut-il appliquer entre les deux électrodes (cette tension s'appelle le « potentiel d'arrêt »).

Pour une longueur d'onde incidente $\lambda = 200 \text{ nm}$ (UV), $\nu = c / \lambda = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$. Sur du zinc.

$E = h \cdot \nu = 9,9 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6,2 \text{ eV} > 4,3 \text{ eV}$ des électrons seront donc arrachés.

$E_c = E - W_s = 1,9 \text{ eV}$.

Il y aura un potentiel d'arrêt de $U = 1,9 \text{ V}$, puisque l'énergie à dépenser pour stopper ces électrons correspond à la consommation de leur énergie cinétique par interaction électrique.

7) En plus de l'effet photoélectrique, quels autres phénomènes ont conduit à l'introduction du concept de photon ?

Le rayonnement du corps noir, dont l'étude théorique a été développée par Planck, a nécessité l'introduction de paquets d'énergie (donc de quanta) pour arriver à une description mathématiquement satisfaisante de l'émission de lumière par un corps porté à une température donnée.

Tous les phénomènes mettant en jeu des interactions individuelles de particules :

Les spectres d'émissions et d'absorption de la lumière par les atomes (voir TP goniomètre à réseau, où l'on a mesuré le spectre d'émission du sodium, observé celui du mercure et du cadmium).

La diffusion Compton, où la collision de photons de grande énergie (rayons x) sur des électrons amène des photons diffusés avec des directions et des valeurs de fréquence modifiées par rapport aux photons incidents.

Le phénomène de fluorescence...