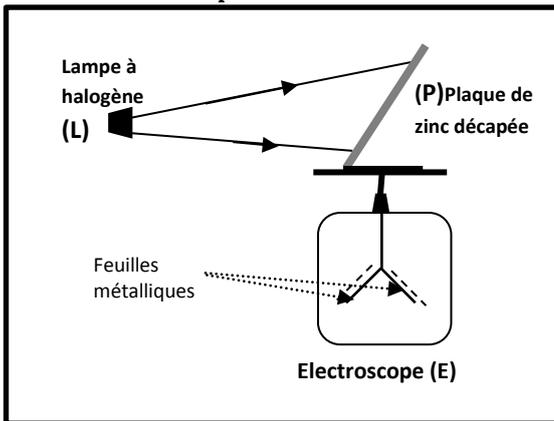


# EFFET PHOTOELECTRIQUE : MISE EN EVIDENCE ET INTERPRETATION.

## I. Expérience de Hertz

### a. Expérience 1 :



(E) et (P) sont initialement chargées négativement.  
On éclaire (P) avec une lampe (L) à vapeur de mercure qui émet une lumière riche en ultraviolet (U.V) : (E) se décharge et les deux feuillets métalliques retombent

### b. Expérience 2 :

(E) et (P) sont à nouveau chargés négativement. On interpose entre (E) et (P) un verre en plexiglas qui absorbe les rayons U.V mais laisse passer les autres radiations du visible : (E) ne se décharge pas quel que soit la durée de son exposition.

### c. Interprétation :

Expérience 1 : la lumière émise par la lampe (L) arrache à (P) des électrons. Les électrons expulsés laissent des charges positives. Ces charges positives attirent les électrons en excès et se recombinent à eux : ce qui entraîne la décharge de (E).

Expérience 2 : les U.V, rayonnement de longueurs d'onde inférieures à celles des rayons visibles, provoquent l'émission d'électrons par (P). Dans cette expérience les U.V étant absorbés, (E) ne se décharge pas.

L'émission d'électrons sous l'effet de la lumière peut se produire avec d'autres métaux tels que le Pt, Ag, Cu, K, Na, Ca ...

Remarque : l'extraction des électrons n'est pas possible avec n'importe quelle longueur d'onde.

### d. Définition :

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un métal lorsqu'il est convenablement éclairé par un rayonnement.

### e. Comment peut-on extraire un électron d'un métal?

Un métal est constitué par un réseau cristallin d'ions positifs entre lesquels circulent des électrons liés au réseau mais libres de se déplacer à l'intérieur de ce réseau. Pour extraire un électron, il faut lui fournir une énergie  $W_0$ , appelée **travail de sortie** ou **travail d'extraction**. ( $W_0$  représente l'énergie de liaison de l'électron au réseau métallique.)

## II. LOIS DE L'EFFET PHOTOELECTRIQUE

### a. Loi du seuil photoélectrique :

Pour un métal pur, l'effet photoélectrique ne se produit que si la fréquence  $\nu$  de la radiation incidente est au moins égale à une certaine valeur  $\nu_0$  caractéristique de ce métal et appelée fréquence seuil :

Si  $\nu \geq \nu_0$  ou  $\lambda \leq \lambda_0 \Rightarrow$  il y a effet photoélectrique.

Si  $\nu < \nu_0$  ou  $\lambda > \lambda_0 \Rightarrow$  pas d'effet photoélectrique.

Métal	Zinc	Cuivre	
Fréquence seuil en $10^{14}$ Hz	8,10	10,10	

**Exercice d'application :** une lumière dichromatique, constituée de deux radiations de longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , éclaire successivement une plaque de zinc et une plaque de cuivre. Laquelle des deux radiations produit l'effet photoélectrique ? et avec quelle plaque ?  
 $\lambda_1 = 600 \text{ nm}$  et  $\lambda_2 = 300 \text{ nm}$ .

### b. Loi d'instantanéité de l'effet photoélectrique :

L'émission photoélectrique est instantanée : si  $\nu > \nu_0$  pas de retard entre l'illumination du métal et l'émission des électrons. L'émission cesse dès que cesse l'éclairement du métal.

Si  $\nu < \nu_0$  il n'y a pas d'effet photoélectrique quelque soit la durée d'exposition du métal pur au rayonnement.

### c. Loi relative à l'énergie cinétique maximale des électrons

L'énergie cinétique maximale des électrons à l'extraction croît avec la fréquence de la radiation incidente.

Pour une radiation de fréquence donnée, cette énergie cinétique ne varie pas avec la puissance lumineuse.

## III. THEORIE D'EINSTEIN : LE PHOTON (QUANTIFICATION DE L'ENERGIE LUMINEUSE)

Une onde électromagnétique, comme toute onde, transporte de l'énergie. On peut s'attendre à ce qu'un faisceau de forte intensité apporte l'énergie nécessaire pour extraire des électrons d'un métal. Or l'étape 2 de l'expérience de Hertz montre qu'il n'en est pas toujours ainsi. L'énergie apportée, bien que quantitativement suffisante, ne l'est pas qualitativement.

Pour expliquer l'effet photoélectrique, nous devons renoncer au **modèle ondulatoire la lumière**.

### a. L'hypothèse d'Einstein :

La lumière est composée de particules indivisibles appelées photons. Chaque photon d'une radiation monochromatique de fréquence  $\nu$

transporte un quantum d'énergie égal à  $E = h\nu = h\frac{C}{\lambda}$  où  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s représente la constante de Planck.

Le photon (ou *grain de lumière*) est une particule élémentaire relativiste associée à une onde électromagnétique.

On lui attribue une masse au repos nulle. Il a une charge électrique nulle. Il se déplace dans le vide à la vitesse  $C = 3.10^8\text{m/s}$ . Par le concept de photon Einstein donne à la lumière un aspect corpusculaire.

**L'effet photoélectrique est la manifestation de l'aspect corpusculaire de la lumière.**

**b. Interprétation de l'effet photoélectrique à l'aide du modèle corpusculaire.**

Considérons un photon d'énergie  $E=h\nu$  pénétrant dans un métal. Sur son parcours, il peut éventuellement rencontrer un électron et lui céder quasi instantanément toute son énergie. Le photon est complètement absorbé, il disparaît. Ainsi, contrairement aux phénomènes ondulatoires, l'énergie n'est pas échangée de façon continue, mais de façon discontinue par paquets entiers (= indivisibles), de contenu  $E=h\nu$  chacun: les quanta.

L'effet photoélectrique est une interaction entre un photon et un électron, où le photon cède toute son énergie.

**c. Existence d'un seuil photoélectrique**

Lorsqu'un électron absorbe un photon, trois cas sont envisageables :

**1<sup>er</sup> cas :** L'énergie du photon est égale au travail d'extraction de l'électron :  $h\nu = W_0 = h\nu_0 \Rightarrow \nu = \nu_0$ . L'énergie du photon suffit tout juste à expulser l'électron hors du métal.

**2<sup>ème</sup> cas :** L'énergie du photon est inférieure au travail d'extraction de l'électron  $h\nu < W_0 = h\nu_0 \Rightarrow \nu < \nu_0$ . L'énergie du photon incident est insuffisante pour extraire un électron du métal : l'effet photoélectrique ne se produit pas et l'électron reste prisonnier du réseau métallique.

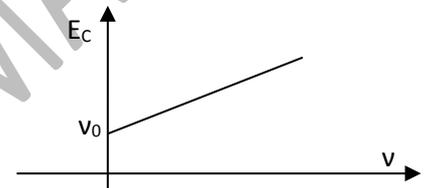
**3<sup>ème</sup> cas :** L'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction de l'électron  $h\nu > W_0 \Rightarrow \nu > \nu_0$ . L'électron capte l'énergie  $h\nu$ .

Une partie égale à  $W_0$  de cette énergie sert à libérer l'électron du réseau métallique; l'électron conserve l'excédent sous forme d'énergie cinétique  $E_c$  ; d'après Albert Einstein est une fonction croissante de la fréquence :

$$E_c = E - W_0 = h\nu - h\nu_0 : \text{Relation d'Einstein (Prix Nobel 1921)}$$

**Exercice d'application :** déterminer l'énergie cinétique maximale de sortie (en eV et J), ainsi que la vitesse d'un électron extrait de la surface d'une cellule métallique éclairée par des radiations vertes de longueur d'onde  $\lambda = 550 \text{ nm}$ .

**On donne :** masse électron  $9,1.10^{-31} \text{ kg}$  ;  $C=3.10^8\text{m.S}^{-1}$



Métal	Zn	Cs	Li	K	Na	Rb
$W_0$ en eV	4,31	1,89	2,39	2,15	2,27	2,13

**IV. DUALITE ONDE-CORPUSCULE**

Les physiciens ont acceptés les deux théories pour l'interprétation des phénomènes provoqués par la lumière :

- La théorie ondulatoire pour les interférences et la diffraction.
- La théorie corpusculaire pour l'effet photoélectrique.

Les aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière ne se manifestent pas simultanément dans une même expérience. Ces théories qui semblent contradictoires se complètent donc dans l'interprétation des phénomènes que la lumière provoque : c'est par le terme **dualité onde-corpuscule** que les physiciens ont concilié les deux théories pour dire qu'elles sont complémentaires mais pas les deux théories à la fois pour une interprétation.

**APPLICATION DE L'EFFET PHOTOELECTRIQUE**

Ce phénomène a permis de mettre au point des dispositifs tels que : les cellules photoélectriques ; les photodiodes ; les phototransistors ; les films photographiques et les cellules photovoltaïques.