

# **L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE**

## **LA DÉTERMINATION DE LA CONSTANTE DE PLANCK**

### **1. Le but de l'expérience**

L'étude de l'effet photoélectrique externe et le calcul de la constante de Planck( $h$ ).

### **2. Considérations théoriques**

L'effet photoélectrique externe représente l'émission d'électrons par la surface d'un métal sous l'action de la lumière.

L'effet photoélectrique a été observé pour la première fois en 1887 par Heinrich HERTZ. Dans l'émission thermoélectrique des électrons des métaux, l'énergie nécessaire à un électron pour quitter la surface du métal est donnée par l'agitation thermique; ça peut se passer aussi à des basses températures si le métal est illuminé avec une lumière de longueur d'onde suffisamment petite.

La longueur d'onde de la lumière doit être plus petite qu'une valeur critique, différente pour chaque matériel utilisé comme émetteur. La fréquence minimale correspondant est nommé fréquence de seuil de cette surface.

L'étude de cet effet a conduit à l'établissement de quelques lois:

1. L'intensité du courant photoélectrique de saturation est proportionnelle avec le flux de la radiation incidente.

2. L'énergie cinétique des photoélectrons émis est linéairement dépendante de la fréquence de la radiation incidente et indépendante de l'intensité de cette radiation.
3. Il y a une fréquence limite de la radiation incidente nommée "fréquence de seuil photoélectrique" (le seuil rouge de l'effet photoélectrique) sous lequel l'effet photoélectrique ne se produit plus; cette fréquence est dépendante de la nature de la surface irradiée.
4. L'effet photoélectrique est pratiquement instantané (moins de  $10^{-9}$ s).

Ces lois expérimentales sont en contradiction avec la théorie ondulatoire de la lumière qui ne réussit pas les expliquer assez satisfaisant. EINSTEIN a expliqué pour la première fois le phénomène photo-électrique en 1905 mais son hypothèse a été acceptée seulement dès 1916, quand MILLIKAN l'a confirmée par expérience. EINSTEIN a postulé, utilisant l'hypothèse de PLANCK, qu'un faisceau de lumière se compose de petites quantités d'énergie nommées *quanta de lumière* ou *photons*. Il a considéré que la radiation doit avoir ainsi un caractère corpusculaire et de cette façon la lumière se comporte comme un ensemble de corpuscules-les photons. L'énergie  $E$  d'un photon est proportionnelle avec sa fréquence  $\nu$  ou est égale à sa fréquence multipliée avec une constante, c'est-à-dire:

$$E = h\nu \quad (1)$$

où  $h$  est la constante de Planck ( $h=6,63 \times 10^{-34}$  Js) et  $\nu$  est la fréquence des radiations.

Un photon qui est absorbé cède sa énergie à un électron. Si cette énergie est assez grande pour libérer l'électron du champ des forces qu'il lie, il peut se libérer de la surface du métal. Parce que la probabilité qu'un électron absorbe simultanément deux photons est très petite chaque électron extrait prend son énergie d'un seul photon; la réciproque n'est pas

vraie parce que on ne peut pas dire que chaque photon absorbé produit l'extraction d'un électron. En ce cas l'équation de bilan énergétique d'Einstein s'écrit:

$$h\nu = L_{\text{ex}} + \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

(m - masse de l'électron).

C'est à dire que de l'énergie  $h\nu$  d'un photon, qui produit l'effet photoélectrique, une partie est consommée pour l'extraction de l'électron de la surface du corps ( $L_{\text{ex}}$ ) et l'autre part pour lui donner une énergie cinétique  $\frac{1}{2}mv^2$ .

Quand la fréquence de la radiation incidente est égale à la fréquence de seuil  $\nu_p$ , la vitesse des électrons émis est égale à zéro et la relation (2) deviens:

$$h\nu_p = L_{\text{ex}} \quad (3)$$

La détermination de l'énergie cinétique des électrons se fait d'habitude par la méthode du champ retardant qui consiste en faire les photoélectrons traverser un champ électrique dont le sens est dirigé d'une telle manière qu'il les arrête. À ce but la plaque de métal, sur laquelle la lumière tombe, doit être liée au pôle positif d'une source, (Fig. 1) et on lui met en face un électrode tamis (qui n'empêche pas le passage de la lumière) lié au pôle négatif de la source (le dispositif est, en fait, une cellule photoélectrique). Pour une valeur petite ou nulle de la tension appliquée  $V$ , les photoélectrons émis par le premier électrode arrivent au second et par le circuit passe un certain courant.

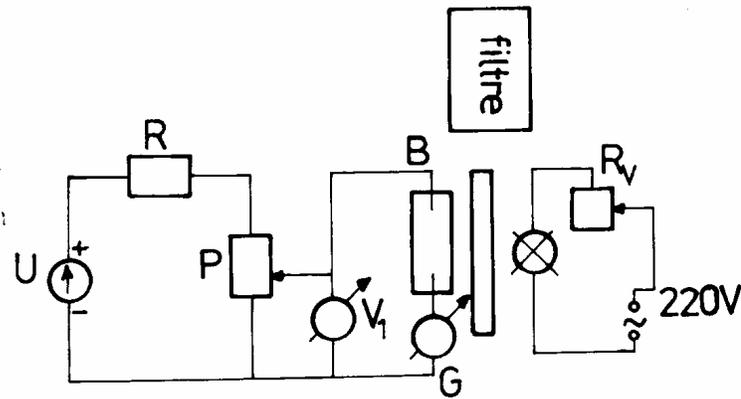


Figure 1

En agrandissant, petit à petit la tension, on obtiendra une certaine valeur  $V_0$  – le potentiel de freinage pour laquelle l'intensité du courant s'annule en résultant que la variation d'énergie produite par le champ,  $W=eV_0$ , est en équilibre avec l'énergie cinétique des électrons qui quittent la surface du métal,  $\frac{1}{2} mv^2$ :

$$eV_0 = \frac{1}{2} mv^2 \quad (4)$$

Avec (3) et (4), l'équation d'Einstein (2) s'écrit:

$$h\nu = h\nu_p + eV_0 \quad (5)$$

ou

$$\nu = \nu_p + \frac{e}{h} V_0 \quad (6)$$

### 3. Dispositif expérimental ( Fig. 1 )

Le dispositif est formé par:

- une lampe à vapeurs de Hg, utilisé comme source de lumière; sa tension d'alimentation est réglée à l'aide du réostat  $R_v$ ;

- une cellule photoélectrique à vide B, située dans une boîte noire (chambre obscure) pour n'être pas influencée par la lumière extérieure parasite;
- cinq filtres monochromatiques A,B,C,D,E qui sont utilisées pour sélectionner les radiations de Hg;
- un galvanomètre G à spot, pour mesurer l'intensité du courant dans le circuit de la cellule photoélectrique;
- une source de courant continu U;
- un voltmètre  $V_1$  pour mesurer la tension appliquée sur la cellule;
- un réostat R et un potentiomètre P qui permettent le choix du potentiel de freinage.

#### **4. Manipulation**

- La lampe à vapeurs de Hg doit être connectée à la réseau de 220V courant alternatif (c.a.) et puis on doit attendre 10 min. pour que la lampe entre dans le régime stationnaire.
- Entre la lampe et la cellule photoélectrique s'introduisent tour à tour, les filtres A, B, C, D, E. La fréquence de la radiation monochromatique qui correspond à chaque filtre est écrite dans le tableau numéro 1.
- A l'aide du potentiomètre s'établit la valeur du potentiel pour lequel le courant photoélectrique mesuré par le galvanomètre G s'annule.
- Les déterminations doivent être répétées 3-5 fois et puis considérer les valeurs moyennes des potentiels de freinage obtenus.

Tableau numéro 1

FILTRE	$\nu$ (Hz)	$V_0$ (V)
A	$5190 \cdot 10^{11}$	
B	$5494 \cdot 10^{11}$	
C	$6883 \cdot 10^{11}$	
D	$7412 \cdot 10^{11}$	
E	$8120 \cdot 10^{11}$	

### 5. Indications pour l'utilisation des données expérimentales

a) On trace sur une feuille de papier millimétrique le graphique  $\nu=f(V_0)$ ; ce graphique doit être une droite de pente:

$$m = \frac{e}{h} \quad (\text{voir l'équation (6)})$$

b) En considérant la charge de l'électron connue,  $e=1,61 \times 10^{-19} \text{C}$ , on détermine la constante de PLANCK,  $h$ .

c) Du même graphique on peut déterminer la valeur de la fréquence de seuil  $\nu_p$  comme l'intersection du prolongement de la droite avec l'axe Oy.

d) En utilisant l'équation (3) on peut déterminer le travail d'extraction  $L_{\text{ex}}$ .

e) Exprimez  $L_{\text{ex}}$  en eV ( $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{J}$ ) et trouvez la nature de la surface du photocatod.

### Observations:

Le rendement quantique de tout détecteur photoélectrique se définit comme le quotient entre le nombre de porteurs de charge électrique qui contribuent à la réponse du photodétecteur et le nombre de photons incidents.

Cette grandeur se note  $\eta$  et, pour les détecteurs photo-électriques qui ont comme réponse un courant électrique, il s'exprime par la relation:

$$\eta = \frac{\text{no. porteurs de charge}}{\text{no. photons}} = \frac{\frac{I \cdot \Delta t}{e}}{\frac{P \cdot \Delta t}{h}} = \frac{h\nu}{e} \cdot \frac{I}{P}$$

$I$  -intensité du courant électrique

$P$  -pouvoir radiante du champ électromagnétique incident sur le photodétecteur

$e$  -charge électrique élémentaire

$\nu$  -fréquence associée à un photon incident

$h$  -constante de Planck

$\Delta t$  -l'intervale de temps de l'interaction entre la radiation et la substance

active du photodétecteurs

La grandeur  $\eta$  est à dimensionnelle; un photodétecteur idéal satisfait la condition  $\eta = 100\%$ . Une autre grandeur physique qui caractérise le fonctionnement d'un photodétecteur est la responsabilité (la sensibilité). Elle se définit comme le quotient entre  $Y$ -la caractéristique du réponse du photodétecteur et  $X$  - la caractéristique à la radiation électromagnétique soumise à la détection :

$$s = \frac{Y}{X}$$

Quand l'expression de la responsabilité est considérée pour une certaine longueur d'onde elle est nommée responsabilité spectrale  $s(\lambda)$ .

Si le réponse du photodétecteur à l'action du champ électromagnétique qui a la pouvoir radiante  $P$  est un courant électrique avec l'intensité  $I$ , la responsabilité du photodétecteur s'exprime par:

$$s = \frac{I}{P} \quad [s]_{SI} = A \cdot W^{-1}$$

En ce cas, le rendement quantique du photodétecteur s'écrit:

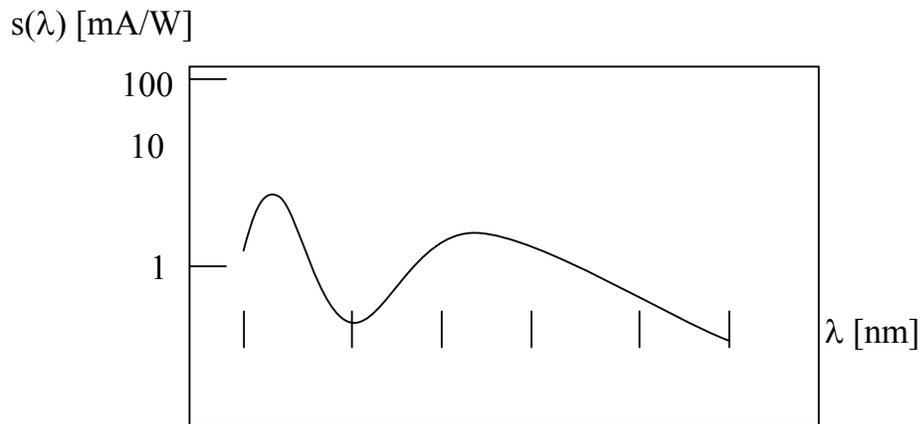
$$\eta = s \cdot \frac{hc}{\lambda e}$$

d'où en résulte que:

$$s = \eta \cdot \frac{\lambda e}{hc}$$

Chaque substance utilisée comme milieu photosensible dans les détecteurs photoélectriques est caractérisée par une courbe de dépendance de la réponsibilité spectrale de la longueur d'onde.

Le matériel du photocatode de la cellule photoélectrique à vid du montage de laboratoire est caractérisé par ce type de dépendance de  $s$  de  $\lambda$  (Fig. 2).



**Figure 2**

A l'aide des premiers trois filtres présent en ordre décroissante de la fréquence, on peut tracer une droite  $V=V(\nu)$ , et de la même manière avec les derniers deux filtres (présent dans la même ordre des fréquences) ; d'ici on peut déterminer deux valeurs de la constante de PLANCK et puis on doit faire la moyenne arithmétique de ces deux valeurs.