



## 2: Effet Photoélectrique et Effet Compton

## Série 1 (promotion 2022)

PhD: Hamza Ichou

**Exercice 1**

On éclaire la cathode d'une cellule photoélectrique avec deux radiations monochromatiques de longueurs d'ondes dans le vide  $\lambda_1 = 0.2537\mu\text{m}$  et  $\lambda_2 = 0.5890\mu\text{m}$ . Les énergies maximales des électrons éjectés par ces radiations sont respectivement  $E_1 = 3.14\text{ eV}$  et  $E_2 = 0.36\text{ eV}$ . Déduire une estimation expérimentale de :

1. La constante de Planck.
2. L'énergie minimale d'extraction des électrons.
3. La longueur d'onde maximale produisant un effet photoélectrique sur cette photocathode.

$$E_{\text{photon}} = h\nu$$

$$\nu_{\text{seuil}} = eV_0/h$$

$$E_{\text{photon}} = E_{e^-} + W_0$$

**Solution**

1. L'énergie du photon incident est égale à l'énergie d'extraction du métal + l'énergie cinétique de l'électron éjecté :

$$h.\nu = W + E_c \quad (0.1)$$

Ainsi, pour les deux radiations utilisées, on a :

$$h.\nu_1 = W + E_1 \quad (0.2)$$

$$h.\nu_2 = W + E_2 \quad (0.3)$$

on soustrayant les deux équations :

$$E_1 - E_2 = h.c\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) \quad (0.4)$$

$$h = \frac{E_1 - E_2}{c.\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)} \quad (0.5)$$

A.N :

$$h = 6.607.10^{-34} \text{ j.s} \quad (0.6)$$

2. L'énergie minimale d'extraction des électrons :

$$W = \frac{h.c}{\lambda_1} - E_1 = \frac{h.c}{\lambda_2} - E_2 \quad (0.7)$$

A.N :

$$W = \frac{h.c}{\lambda_1} - E_1 = 1.74\text{ eV} \quad (0.8)$$

3. L'énergie minimale du photon incident est celle qui suffit à extraire les électrons du métal sans énergie cinétique :

$$W = \frac{h.c}{\nu_0} = \frac{h.c}{\lambda_{max}} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{h.c}{W} \quad (0.9)$$

A.N :

$$\lambda_{max} = \frac{6.607.10^{-34}.3.10^8}{1.74 \times 1.6.10^{-19}} = 0.712\mu m \quad (0.10)$$

### Exercice 2

On dispose d'une photo cathode au césium éclairée par une lumière monochromatique.

1. La longueur d'onde seuil pour le césium est  $\lambda_0 = 0.66\mu m$ . Déterminer le travail d'extraction  $W_0$  d'un électron.
2. La lumière qui éclaire cette photocathode a une longueur d'onde  $\lambda = 0.44\mu m$ .
  - a) Déterminer l'énergie cinétique maximale d'un électron émis par la cathode.
  - b) Déterminer la vitesse de cet électron.
  - c) Déterminer la tension d'arrêt dans ces conditions.

### Solution

1. La longueur d'onde seuil est  $\lambda_0 = 0.66\mu m$ . Le travail d'extraction est donné par :

$$\lambda_0 = \frac{h.c}{W} \rightarrow W = \frac{h.c}{\lambda_0} \quad (0.11)$$

A.N :

$$W = 3.01.10^{-19} J = 1.88ev \quad (0.12)$$

2.a. On éclaire la photocathode de césium par une onde monochromatique de longueur d'onde  $\lambda=0.44 \mu$ . Nous avons vu au cours que l'effet photoélectrique a lieu lorsque la longueur d'onde d'onde est inférieure à la longueur d'onde seuil  $\lambda_0$  (ou  $\nu > \nu_0$ ). La longueur d'onde qui éclaire la photocathode  $\lambda=0.44 \mu m$  est inférieure à la la longueur d'onde seuil  $\lambda_0 = 0.66\mu m$ . Donc, l'effet aura lieu pour cette source de lumière.

**Calcul de  $E_c$**

Bilan énergétique

$$\begin{aligned} E_{photon} &= Ec_e + W \\ Ec_e &= E_{photon} - W \\ E_c &= h\nu - h\nu_0 \end{aligned} \quad (0.13)$$

$$E_c = h.c\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)$$

A.N :

$$E_c = 1.5.10^{-19} J \quad (0.14)$$

2.b. La vitesse de l'électron :

Par définition de l'énergie cinétique :

$$E_c = 1/2.m.v^2 \tag{0.15}$$

$$v = \sqrt{\frac{2.E_c}{m}} \tag{0.16}$$

A.N :

$$v = \sqrt{\frac{2.1.5.10^{-19}}{9.1.10^{-31}}} \tag{0.17}$$

$$v = 6.57.10^6 m/s \tag{0.18}$$

2.c. D'après le théorème de l'énergie cinétique. Il n'ya qu'un travail effectué. Le travail électrique résistif qui sert à annuler la vitesse des électrons.  $e.U_0$  est le travail nécessaire pour annuler le courant au sein de la plaque. Avec :  $W_{electrique} = +e.U_0$

Le potentiel d'arrêt  $U_0$  est défini comme la tension qui arrête l'émission des électrons. Considérons un électron partant d'un point A avec l'énergie cinétique max,cE , et qui se dirige vers B. Cet électron est freiné par la force électrique (due au champ électrique entre A et B) tel qu'il s'arrête juste devant B (vitesse nulle). Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et B :

$$\begin{aligned} \Delta E_c &= \sum W(F_{ext}) \\ 0 - E_{c,max} &= W(F_{electrique}) \\ &= +e.(V_A - V_B) = +e.U_0 \\ e.U_0 &= -E_{c,max} \end{aligned}$$

$U_0$  : est donc la tension pour laquelle l'énergie électrique est égale à l'énergie cinétique des électrons.

A.N :

$$U_0 = -\frac{E_{c,max}}{e} = -0.94V. \tag{0.19}$$

**Exercice 3**

On dispose d'une cellule photoélectrique dont le seuil d'extraction est 2.4 eV. Elle est éclairée par un faisceau polychromatique composé de deux radiation de longueurs d'ondes  $\lambda_1 = 430$  nm et  $\lambda_2 = 580$  nm.

1. Effet photoélectrique.
  - a. Définir l'effet photoélectrique.
  - b. Représenter la variation de l'intensité traversant la cellule en fonction de la tension à ses bornes,  $U_{AC}$ . Représenter le schéma du montage électrique permettant de réaliser ces mesures.
2. On éclaire la cellule à l'aide des deux radiations.
  - a. Les deux radiations permettant-elles l'effet photoélectrique ?
  - b. Quelle est la vitesse maximale des électrons qui sont arrachés à la photocathode ?
  - c. Définir et calculer le potentiel d'arrêt.

**Solution**

1.a. L'effet photoélectrique consiste en l'extraction des électrons d'un métal convenablement éclairé par une onde électromagnétique de fréquence  $\nu$  et une longueur d'onde  $\lambda$ . Pour que l'effet photoélectrique ait lieu, il faut que  $\nu > \nu_0$  ou  $\lambda < \lambda_0$ .

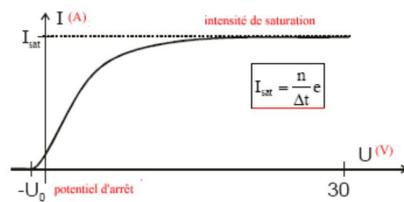
1.b. variation de l'intensité du courant en fonction de tension  $U_{AC}$  au bornes :

2.a. L'énergie d'extraction est donnée par :

$$W_0 = h.\nu_{seuil} = \frac{h.c}{\lambda_{seuil}} \tag{0.20}$$

$$\lambda_{seuil} = \frac{h.c}{W_0} \tag{0.21}$$

$$\tag{0.22}$$



A.N :  $\lambda_{seuil} = 517nm$  or  $\lambda_1 < 517nm$  donc, l'effet photoélectrique se produit pour cette longueur d'onde.

2.b. On a :

$$E_c = E_{photon} + W \tag{0.23}$$

$$= \frac{h.c}{\lambda_1} - W \tag{0.24}$$

$$1/2mv^2 = \frac{h.c}{\lambda_1} - W \tag{0.25}$$

$$v = \sqrt{2/m.(h.c/\lambda_1) - W} \tag{0.26}$$

$$v = 4.1.10^5 m/s \tag{0.27}$$

$$\tag{0.28}$$

2.c. On a déjà défini le potentiel d'arrêt :

A.N :

$$U_0 = -\frac{E_c}{e} = -\frac{m.v^2}{2e} \tag{0.29}$$

$$U_0 = -0.49eV \tag{0.30}$$

$$\tag{0.31}$$

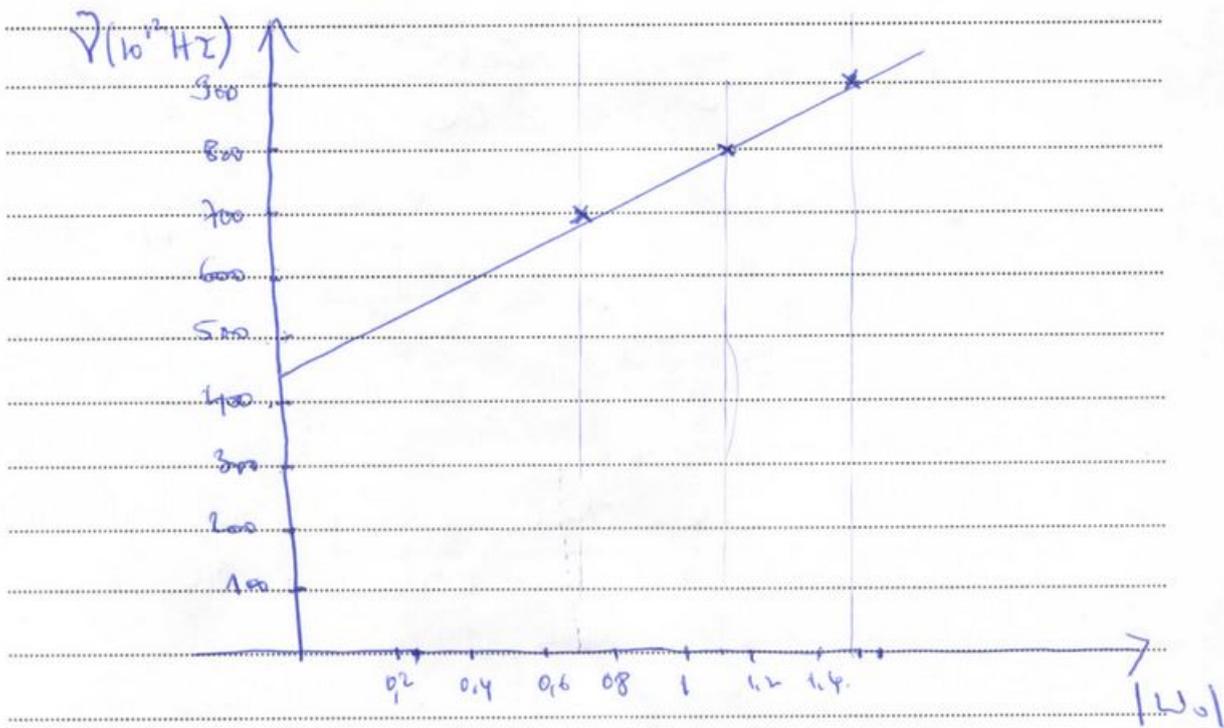
### Exercice 4

On dispose d'une cellule photoélectrique au potassium dont le travail d'extraction est  $W_0 = 2.2 eV$ . On détermine pour cette cellule, la tension d'arrêt en fonction de diverses fréquences d'éclairage. On obtient les résultats suivants : (On a indiqué dans le tableau la valeur absolue de la tension d'arrêt).

$\nu$ (Hz)	$7.00 \cdot 10^{14}$	$8.0010^{14}$	$9.0010^{14}$
$ U_0 $ (V)	0.69	1.10	1.52

1. Tracer la courbe  $\nu = f(|U_0|)$ .
2. En déduire la valeur du seuil photoélectrique de cette photocathode. Ce résultat est-il en accord avec la valeur de  $W_0$ .
3. Déterminer la valeur de la constante de Planck ( $h$ ) à partir de la courbe réalisée. Cette valeur correspond-elle à la valeur admise ?

### Solution



C'est une équation de droite

$$\nu = a|W_0| + b$$

2 points de la droite :

$$\left. \begin{cases} \nu = 7 \cdot 10^{14} = a \cdot 0,69 + b \\ \nu = 8 \cdot 10^{14} = a \cdot 1,1 + b \end{cases} \right\} a = \frac{(8-7)10^{14}}{0,41}$$

$$\Rightarrow a = 2,41 \cdot 10^{14} \text{ et } b = 7 \cdot 10^{14} - 2,41 \times 0,69 \cdot 10^{14}$$

$$\Rightarrow b = 5,34 \cdot 10^{14}$$

or d'après le théorème d'énergie cinétique

$$E_c = eU_0 \Rightarrow U_0 = \frac{E_c}{e}$$

et  $E_c = e|U_0|$

on a également  $h\nu = W_0 + E_c$  avec  $W_0 = h\nu_0$

$$h\nu = h\nu_0 + e|U_0| \Rightarrow \nu = \frac{e}{h}|U_0| + \nu_0$$

$$\nu = \frac{e}{h} |U_c| + \nu_0 = 2,41 \cdot 10^{14} + 5,34 \cdot 10^{14}$$

$$\Rightarrow \boxed{\nu_0 = 5,34 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} \Rightarrow \boxed{W_0 = h\nu_0 = 3,5 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \\ \boxed{= 2,2 \text{ eV}}$$

(3) Détermination de  $h$  : constante de Planck à partir de la courbe réalisée.

la pente de cette courbe  $a = \frac{e}{h} \Rightarrow h = \frac{e}{a}$

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{2,41 \cdot 10^{14}} = 6,64 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Ce qui est très proche de la valeur réelle.

### Exercice 5

Une surface métallique est éclairée par la lumière UV de longueur d'onde  $\lambda = 0,150 \mu\text{m}$ . Elle émet des électrons dont l'énergie cinétique maximale à 4,8 eV.

à faire par vous même (Devoir).

- Calculer le travail d'extraction  $W_0$ .
- Quelle est la nature du métal.

### Exercice 6

- Décrire une cellule photoélectrique dite cellule photo-émissive à vide Dessiner un schéma de montage à réaliser pour mettre en évidence l'effet photoélectrique en utilisant cette cellule
- La longueur d'onde correspondante au seuil photoélectrique d'une photo-cathode émissive au césium est  $\lambda_0 = 0,66 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ .
  - Quelle est en joules et en eV l'énergie d'extraction  $W_0$  d'un électron ? Exprimer cette énergie en eV.
  - La couche de césium reçoit une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda = 0,44 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ . Déterminer l'énergie cinétique maximale  $E_c$  d'un électron émis au niveau de la cathode. L'exprimer en joules puis en eV.

à faire par vous même (Devoir).