Mécanique quantique – SMC (2014 – 2015)

Série N° 1

Exercice N°1 : Quantification

Est-ce qu'un système physique dont la *fréquence* est quantifiée est nécessairement quantique et possible seulement à l'échelle microscopique? Si non, pouvez-vous en nommer un exemple macroscopique (non-quantique)?

Réponde exercice N°1

Non. Ondes stationnaires: onde, tuyau (ouvert ou fermé), tambour, eau, etc.

Exercice N°2

Calculer l'énergie d'un photon si :

a) $\lambda = 400$ nm
b) $\lambda = 700$ nm

On donne : 1 eV = 1.6 10^{-19} J

Réponse de l'Exercice N°2

La lumière visible contient des photons dont l'énergie varie entre : 1.77 et 3.1 EV

$\lambda = 400\ nm \quad \rightarrow \quad E = 3{,}1\ eV$

$\lambda = 700\ nm \quad \rightarrow \quad E = 1{,}77\ eV$

Exercice N°3

L'intensité de la lumière solaire à la surface terrestre est environ 1400 W/m^2.
Si l'énergie moyenne d'un photon est 2 eV (λ = 600 nm), calculer le nombre de photons frappant une surface de 1 cm^2 à chaque seconde.

Réponse de l'Exercice N°3

Réponse à chaque seconde 1400 J/m² = 0,14 J/cm². Si N est le nombre de photons de 2 eV d'énergie qui possèdent au total 0,14 J (8,75 x 10 ^{17} eV).

On trouve N = 4,38 x 10^{17} photons (à chaque seconde).

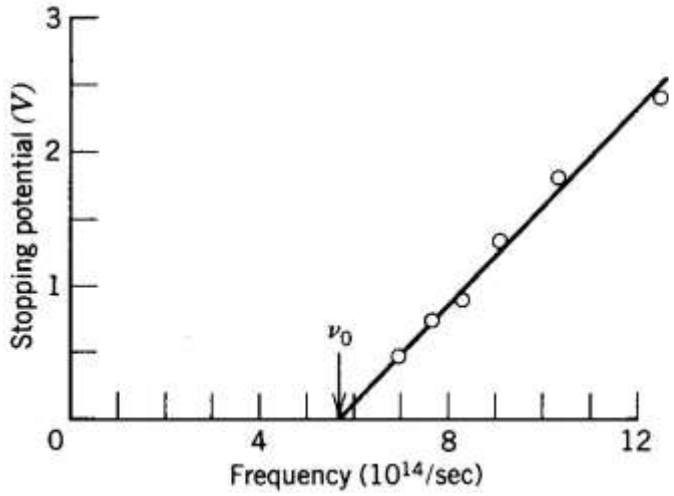
Exercice N°4 : Effet photoélectrique

En classe, nous avons effectué l'expérience de Millikan sur l'effet photoélectrique. Les mesures expérimentales obtenues par Millikan sont illustrées à la figure ci-dessous. (Facteur de conversion : 1 eV = 1.60 × 10^{-19} J)

A. Tracez un schéma simple du montage expérimental et expliquez brièvement le principe de fonctionnement de l'expérience et sa contribution à la physique quantique.

B. À partir des résultats ci-dessous, calculez la valeur de la constante de Planck, *h*, en J.s.

C. Que vaut le travail d'extraction W, en eV, du métal utilisé?



Réponse de l'Exercice N°4 : Effet photoélectrique

A. Montage expérimental

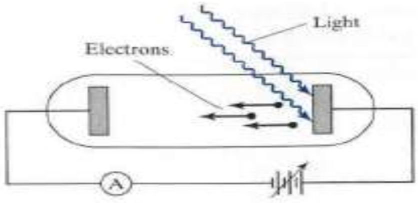


FIGURE 4.2
A photoelectric cell. The applied voltage can be adjusted in magnitude and sign.

La lumière (photons d'énergie $E = hf$) arrache des photoélectrons du métal (travail d'extraction ϕ). Il leur reste l'énergie cinétique $K_{max} = hf - \phi$. K_{max} est mesuré à l'aide d'un potentiel d'arrêt $eV_{max} = K_{max} = hf - \phi$. L'expérience a confirmé le concept de photon.

B. $V = \frac{h}{e} f - \frac{\phi}{e}$ montre que $h = e \times \text{pente} = (1.6 \times 10^{-19}) \frac{2.4 - 0}{(12 - 5.6) \times 10^{14}} \approx 6 \times 10^{-34}$ J s

C. $\phi = hf - eV = (6 \times 10^{-34})(5.6 \times 10^{14}) - 0 \approx 3.36 \times 10^{-19}$ J $= 2.1$ eV

Exercice N° 8 : Effet photoélectrique

1. Le seuil photoélectrique correspond à l'énergie minimale que doit avoir un photon pour arracher un électron au matériau éclairé. Cette énergie $h\nu_0$ est égale au travail ou énergie d'extraction W_0. On a donc $W_0 = h\nu_0 = hC/\lambda_0$.

$$\text{AN : } W_0 = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{0.6 \times 10^{-6}} = 3.3 \times 10^{-19} = 2.1\text{eV}$$

a. La longueur d'onde est inférieure à la longueur d'onde seuil donc elle correspond à une fréquence supérieure à la fréquence seuil ν_0 : ce faisceau est au-dessus du seuil photoélectrique. L'énergie du photon est convertie en énergie d'extraction et en énergie cinétique.

$$h\nu = W_0 + E_C \quad \Rightarrow \quad E_C = \frac{hC}{\lambda} - \frac{hC}{\lambda_0} \quad \text{AN} \quad E_C = 6.63 \times 10^{-20}\ \text{J} = 0.41\ \text{eV}$$

$$E_C = \frac{1}{2} m_e v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2E_C}{m_e}} \quad \Rightarrow \quad v = 3.82 \times 10^{5}\ \text{m/s} \ll C$$

: le calcul non relativiste est justifié.

b. L'énergie de repos et de $E_0 = m_e C^2$.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hC}{2E_C \times E_0} \qquad \lambda = 10\ \mathring{A} \qquad \text{(Rayons X plutôt mous)}$$

2. On écrit le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_C + \Delta E_P = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2} m_e v_i^2 = -eV_0 \quad \Rightarrow \quad V_0 = -\frac{E_C}{e} \quad \text{AN} \quad V_0 = -0.41\ \text{V}$$

3. Soit n_e le nombre d'électrons qui circulent par unité de temps et n_γ le nombre de photons illuminant la photocathode par unité de temps. Le rendement quantique est : $\eta = \frac{n_e}{n_\gamma}$

Or le courant est $I = n_e.e$ et la puissance lumineuse $P = n_\gamma.h\nu = n_\gamma.\frac{hC}{\lambda}$

D'où : $\eta = \frac{I}{e}\frac{hC}{P\lambda}$ AN $\eta = \frac{16.3 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-19}} \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{1 \times 0.5 \times 10^{-6}} = 4\ \%$

4. Pour $\lambda \ll \lambda_0 \quad \Rightarrow \quad E_C = \frac{hC}{\lambda}$ **AN** $E_C = 1.99 \times 10^{-14}\ \text{J} = 124\ \text{keV}$

Si on fait un calcul non relativiste $v = \sqrt{\frac{2E_C}{m_e}} \Rightarrow v = 2.09\times10^8 \ m/s = 0.7\ C\,!$

Un calcul relativiste est donc nécessaire.

$$\gamma = \frac{E_C + m_e C^2}{m_e C^2} \quad \text{or} \quad \gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}} \quad \text{donc} \quad \frac{v}{C} = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} = \frac{E_C^2 + 2E_C m_e C^2}{E_C + m_e C^2} = 0.6\ C$$

A.N. Soit v = 1,8.10^3 km/s.