

**Compétences visées:**

- Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière.
- Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.
- Expliquer le fonctionnement d'une cellule photoélectrique et d'une cellule photovoltaïque.
- Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.
- Citer des applications (capteurs, LED, spectroscopies).

Exercices :

- Énergie d'un laser
- Seuil photoélectrique du Zinc
- Rendement d'un panneau solaire de toit
- Étude d'une cellule photoémissive - *Bac Centres Étrangers 2024*

[...]

Version Numérique :

Ce cours est disponible en **version numérique**.
Vous pouvez y accéder en scannant le **QR Code**
ci-contre :



I Le modèle particulaire de la lumière

A Le photon

Définition : Le Photon

La lumière peut être décrite comme un flux de particules sans masse appelées **photons**. Un photon se déplace à la célérité c dans le vide ($c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$) et transporte un quantum d'énergie.

Propriété : Énergie d'un photon

L'énergie E d'un photon est proportionnelle à la fréquence ν (ou f) de l'onde électromagnétique associée :

$$E = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$

avec :

- E : Énergie du photon en Joules (J).
- h : Constante de Planck ($h \approx 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$).
- ν : Fréquence de l'onde en Hertz (Hz).
- λ : Longueur d'onde dans le vide en mètres (m).

Attention : L'électron-volt

À l'échelle atomique, on utilise souvent l'**électron-volt** (eV) :

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Exercice 1 Petites conversions (★)

Un photon émis par une lampe à vapeur de sodium possède une énergie de $E = 2,11 \text{ eV}$.

Q1 Calculer cette énergie en Joules (J).

Le travail d'extraction d'un électron d'une plaque de césium est de $W = 3,36 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Q2 Exprimer cette énergie en électron-volts (eV).

✎ Exercice 2 Énergie d'un laser de télécommunication (★)

Dans les réseaux de fibre optique, on utilise couramment des diodes laser émettant dans l'infrarouge à une longueur d'onde $\lambda = 1550 \text{ nm}$.

Q1 Calculer la fréquence f de l'onde lumineuse associée à ce laser. (Donnée : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

Q2 Déterminer l'énergie E d'un photon émis par ce laser, d'abord en Joules (J), puis en électron-volts (eV).

Q3 Si le laser émet une puissance de $P = 2 \text{ mW}$, calculer le nombre de photons émis chaque seconde par la source.

II L'effet photoélectrique

A Différents matériaux

🔗 Propriété : Théorie des bandes : conduction et valence

Dans un matériau solide, les niveaux d'énergie des électrons se répartissent en deux bandes principales séparées par un intervalle énergétique appelé **gap** (ou bande interdite) :

- **La bande de valence** : c'est la bande de plus haute énergie où les électrons sont "liés" aux atomes. Ils ne peuvent pas se déplacer librement pour créer un courant.
- **La bande de conduction** : c'est la bande située au-dessus de la bande de valence. Lorsqu'un électron y accède, il devient **libre** et peut participer à la conduction électrique.

Un matériau est conducteur (ou semi-conducteur) lorsque les électrons reçoivent assez d'énergie (thermique ou lumineuse) pour franchir le **gap** et passer de la bande de valence vers la **bande de conduction**.

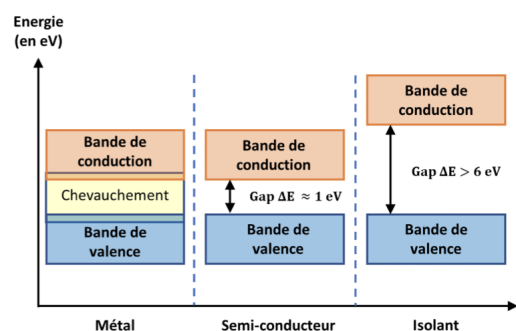


FIGURE 1 – Structure de bandes d'un semi-conducteur - *lyceedadulte*

B Définition et observation

Définition : Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est l'émission d'électrons par un matériau lorsqu'il est exposé à un rayonnement électromagnétique de fréquence suffisamment élevée.



Exercice 3

Seuil de détection d'un capteur CCD (★ ★)

Un capteur d'image (type CCD) possède un seuil de détection lié à l'énergie de gap du silicium. Pour qu'un photon soit détecté et transformé en électron, il doit posséder une énergie minimale de $E_{min} = 1,12 \text{ eV}$.

Q1 Convertir cette énergie E_{min} en Joules.

Q2 En déduire la longueur d'onde maximale λ_{max} que ce capteur peut détecter. À quel domaine du spectre électromagnétique cela correspond-il ?

Q3 Un photon "bleu" possède une longueur d'onde de 450 nm. Justifier, par le calcul, si ce photon est capable de déclencher le capteur.

C Bilan énergétique et travail d'extraction

Propriété : Bilan d'énergie d'Einstein

Lorsqu'un photon heurte un électron du métal, il lui cède toute son énergie. Une partie sert à arracher l'électron du métal (**travail d'extraction** W_{ex}), le reste devient l'énergie cinétique E_c de l'électron :

$$E_{\text{photon}} = W_{ex} + E_{c,\text{max}}$$

Soit :

$$h\nu = W_{ex} + \frac{1}{2}mv^2$$

**Exercice 4****Application directe de la relation d'Einstein (★)**

On éclaire une plaque de sodium, dont le travail d'extraction vaut $W_{ex} = 2,28 \text{ eV}$, avec une lumière ultraviolette de longueur d'onde $\lambda = 300 \text{ nm}$.

Q1 Calculer l'énergie E_{photon} d'un photon incident, en Joules puis en électron-volts.

Q2 Vérifier que l'énergie du photon est suffisante pour arracher un électron au sodium.

Q3 En utilisant la relation d'Einstein $E_{\text{photon}} = W_{ex} + E_{c,\text{max}}$, calculer l'énergie cinétique maximale $E_{c,\text{max}}$ des électrons émis, en eV puis en Joules.

Q4 En déduire la vitesse maximale v_{max} des électrons émis. On donne la masse de l'électron $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

Q5 On augmente l'intensité lumineuse sans changer la longueur d'onde. L'énergie cinétique maximale des électrons émis change-t-elle ? Justifier à l'aide de la relation d'Einstein.

**Données**

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} ; c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} ; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

 Définition : Fréquence seuil

L'effet photoélectrique n'a lieu que si l'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction ($E \geq W_{ex}$). Cela définit une **fréquence seuil** ν_0 :

$$\nu_0 = \frac{W_{ex}}{h}$$

Si $\nu < \nu_0$, aucun électron n'est émis, quelle que soit l'intensité lumineuse.



Exercice 5

Seuil photoélectrique du Zinc (★)

Le travail d'extraction pour le zinc est $W_{ex} = 4,31$ eV.

Q1 Convertir ce travail d'extraction en Joules.

Q2 Calculer la fréquence seuil ν_0 correspondante.

Q3 On éclaire le zinc avec une lumière de longueur d'onde $\lambda = 250$ nm. L'effet photoélectrique est-il observé ? Justifier.



Données

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} ; c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} ; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

III Applications et conversion photovoltaïque

Définition : Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque utilise l'effet photoélectrique au sein d'un semi-conducteur pour créer un courant électrique.

Propriété : Rendement d'une cellule

Le rendement η (êta) d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre la puissance électrique fournie P_{elec} et la puissance lumineuse reçue P_{lum} :

$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{lum}} = \frac{U \times I}{E_{clairement} \times S}$$

où S est la surface de la cellule et $E_{clairement}$ l'éclairement énergétique (en W.m^{-2}).

Exercice 6 Rendement d'un panneau solaire (★ ★)

Un panneau solaire de surface $S = 1,6 \text{ m}^2$ reçoit un éclairement de 800 W.m^{-2} . Il débite un courant de $8,5 \text{ A}$ sous une tension de 24 V .

Q1 Calculer la puissance lumineuse reçue par le panneau.

Q2 Calculer la puissance électrique produite.

Q3 En déduire le rendement η du panneau.

 Exercice 7 Chargeur Solaire - *Métropole 2024* (★ ★)

EXERCICE B – Chargeur solaire (10 points)

De nouveaux fabricants développent des solutions solaires portables pour répondre à la demande croissante de recharge de téléphone mobile. Le panneau photovoltaïque (figure 1) en est une illustration. Il s'agit d'un panneau solaire en silicium monocristallin réputé pour son rendement (ou efficacité) élevé, soit 22,4 % annoncé par le constructeur et défini dans des conditions normées d'éclairage.



Figure 1. Panneau photovoltaïque

On se propose de vérifier les performances de ce panneau photovoltaïque.

Par une journée ensoleillée, on réalise l'expérience de charge d'un téléphone mobile (figure 2 et figure 3). On mesure la tension U aux bornes du téléphone mobile et le courant I traversant le circuit : $U = 4,8 \text{ V}$ et $I = 0,84 \text{ A}$.

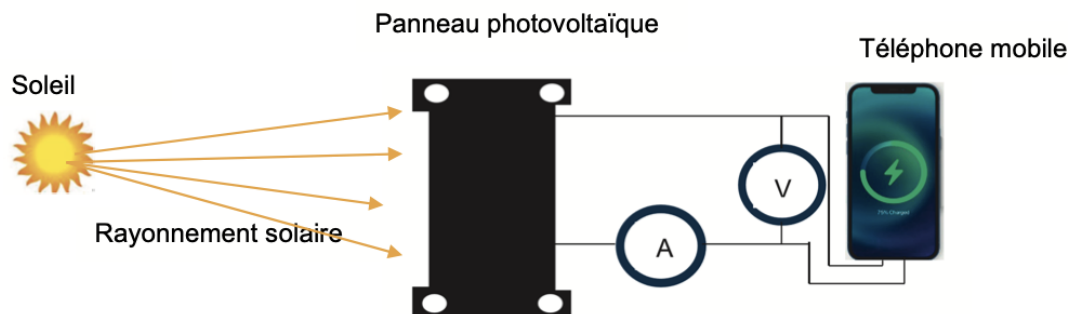


Figure 2. Schéma de l'expérience de charge du téléphone mobile à l'aide du panneau solaire. Un chronomètre permet de suivre l'évolution de la charge de la batterie au cours du temps

ALIMENTATION	
Batterie amovible	Non
Capacité de la batterie	3227 mAh
Recharge sans-fil	Oui

Figure 3. Extrait de la fiche technique du téléphone mobile

Données :

- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- le travail d'extraction nécessaire pour qu'un photon puisse extraire un électron est :

$$\Delta E = h \times f_s = 1,12 \text{ eV}$$

où f_s est la fréquence minimale du photon ;

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;

- Q1.** Décrire en quelques lignes le phénomène qui intervient dans la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique lors du fonctionnement du panneau photovoltaïque.
- Q2.** Calculer la fréquence seuil f_s et la longueur d'onde associée λ_s d'un photon pour extraire un électron.
- Q3.** Montrer alors que le rayonnement solaire convient pour le fonctionnement de ce panneau photovoltaïque.

Le tableau ci-dessous indique l'évolution, à intervalle de temps régulier $\Delta t = 2,0 \text{ min}$, du pourcentage de charge de la batterie de 50 % à 60 % dans l'expérience décrite en figure 2 :

Temps	0	Δt	$2 \times \Delta t$	$3 \times \Delta t$	$4 \times \Delta t$	$5 \times \Delta t$
Charge de la batterie	50 %	52 %	54 %	56 %	58 %	60 %

- Q4.** Estimer, en explicitant la démarche utilisée, la valeur de la durée nécessaire pour une charge complète à partir d'une batterie totalement déchargée.

Le relation entre la charge électrique transférée Q et la durée du transfert Δt_{charge} , pour une intensité électrique I , est donnée par la relation : $Q = I \times \Delta t_{\text{charge}}$.

- Q5.** Comparer le résultat avec les données de la fiche technique du téléphone mobile (figure 3).

Durant l'expérience, le flux lumineux Φ mesuré avec un solarimètre est de $570 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

- Q6.** Déterminer la valeur de $P_{\text{reçue}}$, la puissance lumineuse reçue par le panneau.
- Q7.** À l'aide des mesures réalisées durant l'expérience (figure 2), déterminer la valeur de P_{utile} , la puissance utile fournie par le panneau.
- Q8.** En déduire η , le rendement du panneau photovoltaïque. Comparer avec l'indication donnée par le fabriquant.

Grandeur	Définition / formule	Unité
Énergie d'un photon E	$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$	J
Conversion eV $\leftrightarrow$ J	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$	eV ou J
Puissance et nombre de photons	$P = N \times E$ (N photons par seconde)	W
Bande interdite (gap)	Écart d'énergie entre bande de valence et bande de conduction	J ou eV
Bilan d'énergie d'Einstein	$E_{\text{photon}} = W_{ex} + E_{c,\text{max}}$	J
Fréquence seuil ν_0	$\nu_0 = \frac{W_{ex}}{h}$	Hz
Condition d'émission	Effet observé si $\nu \geq \nu_0$ (ou $\lambda \leq \lambda_0$), quelle que soit l'intensité	—
Énergie cinétique maximale $E_{c,\text{max}}$	$E_{c,\text{max}} = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 = h\nu - W_{ex}$	J
Rendement d'une cellule photovoltaïque η	$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{lum}} = \frac{U \times I}{E_{clairement} \times S}$	— (sans unité)