

# QUANTIQUE INTERACTION LUMIERE MATIERE

## 4 Décrire l'effet photoélectrique

| Effectuer des calculs.

Le tableau ci-dessous recense les fréquences minimales des radiations à partir desquelles on observe l'effet photoélectrique pour quelques métaux.

Métal	Fréquence (Hz)
Plomb Pb	$1,02 \times 10^{15}$
Potassium K	$5,52 \times 10^{14}$
Magnésium Mg	$8,82 \times 10^{14}$

1. Calculer les longueurs d'onde correspondant à ces fréquences.
2. Quel type de radiation (UV, visible, IR) permet d'observer l'effet photoélectrique quel que soit le métal du tableau ci-dessus ?

## 5 Interpréter l'effet photoélectrique

| Interpréter des observations.

En 1888, Wilhelm HALLWACHS observe qu'une radiation de longueur d'onde  $\lambda_1 = 330 \text{ nm}$  est capable de charger positivement une plaque de zinc, ce que ne permet pas une radiation de longueur d'onde  $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$ .

1. Expliquer pourquoi la plaque de zinc se charge positivement.
2. Calculer l'énergie des photons associés à chacune des radiations évoquées.
3. Proposer une explication à la constatation de W. HALLWACHS selon laquelle la radiation de longueur d'onde  $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$  ne permet pas à la plaque de zinc de se charger positivement.

**Donnée**

Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

## 7 Réaliser un bilan d'énergie

| Effectuer des calculs.

Un photon d'énergie  $\mathcal{E}_{\text{photon}} = 5,03 \text{ eV}$  extrait, par effet photoélectrique, des électrons à un morceau de fer métallique.

1. Écrire la relation entre l'énergie du photon incident  $\mathcal{E}_{\text{photon}}$ , le travail d'extraction  $W_{\text{extraction}}$  et l'énergie cinétique maximale  $\mathcal{E}_{\text{c max}}$  d'un électron arraché.
2. Calculer, en joule, l'énergie cinétique maximale de l'électron arraché.

**Utiliser le réflexe 1**

**Données**

- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ .
- Pour le fer :  $W_{\text{extraction}} = 4,67 \text{ eV}$ .

## 8 Calculer l'énergie d'un photon

| Utiliser un modèle pour prévoir.

Sous l'effet d'une radiation, des électrons sont extraits d'un morceau de titane avec une vitesse maximale de valeur  $v_{\text{max}} = 7,60 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



1. Donner la relation entre l'énergie du photon incident  $\mathcal{E}_{\text{photon}}$ , le travail d'extraction  $W_{\text{extraction}}$  et l'énergie cinétique maximale  $\mathcal{E}_{\text{c max}}$  d'un électron extrait.
2. Calculer l'énergie du photon associé à la radiation.
3. En déduire la longueur d'onde de la radiation.

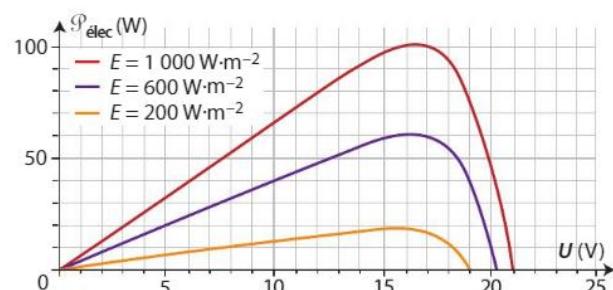
**Données**

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .
- Masse d'un électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .
- Pour le titane :  $W_{\text{extraction}} = 6,93 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

## 9 Calculer des rendements

| Extraire et organiser l'information.

Le graphique ci-dessous représente la puissance électrique disponible d'un panneau de cellules photovoltaïques de  $1,1 \text{ m}^2$  pour différents éclairements  $E$ .



1. Comment la puissance électrique disponible évolue-t-elle lorsque l'éclairement  $E$  diminue ?
2. Rappeler l'expression du rendement  $\eta$  pour un panneau de cellules photovoltaïques.
3. Calculer le rendement maximal pour les différents éclairements, puis conclure.

**Utiliser le réflexe 2**

## 13 Connaitre les critères de réussite

**Conservation de l'énergie**

| Extraire et organiser l'information.

Le graphique ci-dessous représente l'énergie cinétique maximale des électrons émis d'une plaque de zinc par effet photoélectrique, en fonction de la fréquence  $\nu$  de la radiation incidente.

- 1.a. Calculer la longueur d'onde seuil  $\lambda_s$  permettant d'obtenir l'effet photoélectrique avec le zinc.

- b.**  $\lambda_s$  correspond-elle à une longueur d'onde minimale ou maximale d'obtention de l'effet photoélectrique ?
- 2.** Pour une radiation de fréquence  $v = 1,1 \times 10^{15}$  Hz, calculer, à l'aide d'un bilan d'énergie, l'énergie cinétique maximale des électrons émis.
- 3.** Vérifier graphiquement le calcul précédent.

**Données**

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s.
- 1 eV =  $1,60 \times 10^{-19}$  J.

**14** À chacun son rythme**Une histoire de rendement**

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Un fabricant de panneaux photovoltaïques fournit les indications suivantes :

**Caractéristiques**

Puissance électrique\* :  $P = 305$  W

Nombre de cellules : 60

Dimensions d'une cellule : 160 mm × 160 mm

\* Puissance maximale pour un éclairement  $E = 1\,000$  W · m<sup>-2</sup>.

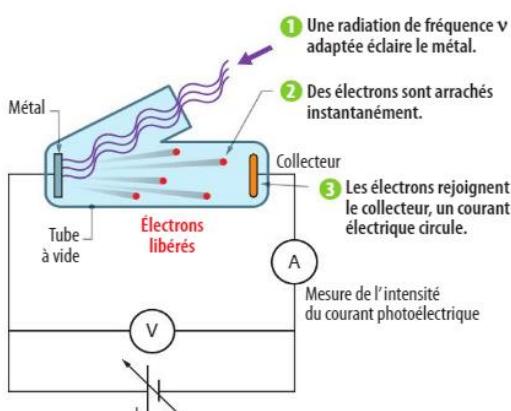
**Énoncé compact**

Calculer le rendement maximal de ce panneau photovoltaïque.

**15 Énergie cinétique des électrons**

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Afin de déterminer l'énergie cinétique des électrons arrachés d'un métal par effet photoélectrique, le physicien Philip LENARD utilisait un dispositif expérimental dont le principe est schématisé ci-dessous :



Une tension électrique est appliquée entre le métal et le collecteur. Il apparaît alors un champ électrique qui empêche les électrons de rejoindre le collecteur. La tension nécessaire pour que l'intensité du courant électrique soit nulle est appelée tension d'arrêt. Elle est notée  $U_a$ . L'énergie cinétique maximale des électrons émis par effet photoélectrique se calcule alors à l'aide de la relation :

$$\mathcal{E}_{c \max} = e \times U_a$$

avec  $\mathcal{E}_{c \max}$  en joule, e en coulomb et  $U_a$  en volt.

Une plaque métallique en cuivre est illuminée par une radiation de longueur d'onde  $\lambda$ . Dans le cas particulier d'une radiation ultraviolette telle que  $\lambda = 171$  nm, on trouve une tension d'arrêt  $U_a = 2,80$  V.

**1. a.** Calculer l'énergie cinétique maximale  $\mathcal{E}_{c \max}$  acquise par les électrons.

**b.** En déduire la valeur de la vitesse maximale  $v_{\max}$  des électrons émis par effet photoélectrique.

**2.** Rappeler la relation traduisant la conservation d'énergie dans le cas de l'effet photoélectrique.

**3.** Calculer le travail d'extraction  $W_{\text{extraction}}$  d'un électron pour le cuivre.

**4.** Observe-t-on l'effet photoélectrique pour le cuivre si on l'illumine avec une radiation de longueur d'onde  $\lambda = 350$  nm ?

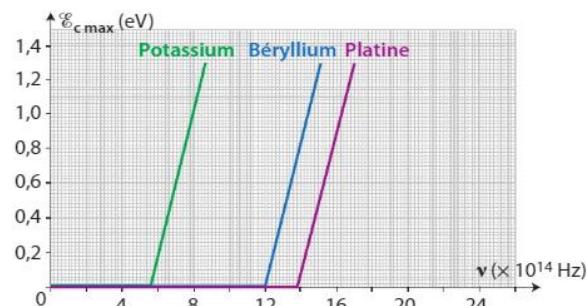
**Données**

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s.
- Charge élémentaire :  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C.
- Masse de l'électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg.

**17 Comparaison de l'effet photoélectrique**

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Voici, pour divers métaux, l'énergie cinétique maximale  $\mathcal{E}_{c \max}$  d'électrons arrachés par effet photoélectrique en fonction de la fréquence  $v$  de la radiation d'éclairement.



**1.** Pour quel(s) métal(métaux), l'effet photoélectrique se produit-il avec des radiations lumineuses du domaine du visible ?

**2. a.** Établir, par un bilan d'énergie, l'expression de l'énergie cinétique maximale des électrons en fonction de la fréquence de la radiation incidente.

**b.** Expliquer pourquoi les différentes courbes sont des droites qui ont le même coefficient directeur et des ordonnées à l'origine différentes.

**c.** Exploiter ces courbes pour déterminer la constante de Planck h et le travail d'extraction  $W_{\text{extraction}}$  d'un électron pour chacun des métaux.

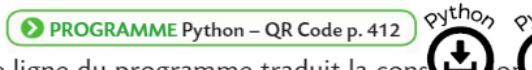
**Données**

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s.
- 1 eV =  $1,60 \times 10^{-19}$  J.

**19 Python****Programmons l'effet photoélectrique**

| Utiliser un langage de programmation.

Un programme permet de déterminer si une radiation de longueur d'onde choisie génère l'effet photoélectrique. Si l'effet photoélectrique est observé, le programme indique alors l'énergie cinétique maximale et la valeur maximale de la vitesse des électrons arrachés.



1. Quelle ligne du programme traduit la conservation d'énergie lors de l'effet photoélectrique ?
2. Mettre en œuvre le programme.
  - a. Pour une longueur d'onde de radiation incidente  $\lambda = 530 \text{ nm}$ , pour quels métaux l'effet photoélectrique est-il observé ?
  - b. Pour une radiation de fréquence  $v = 1,30 \times 10^{15} \text{ Hz}$ , déterminer pour quel élément chimique l'effet photoélectrique n'a pas lieu.
  - c. Pour le métal calcium et une radiation de longueur d'onde  $\lambda = 280 \text{ nm}$ , vérifier que les valeurs affichées pendant l'exécution du programme respectent la conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique.

**Données**

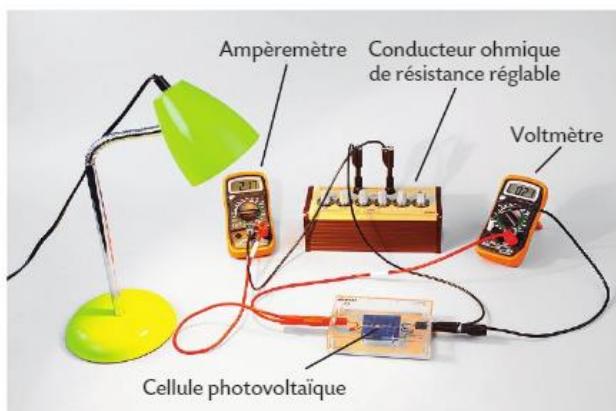
- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ .
- Masse de l'électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .

**Préparation à l'ECE**

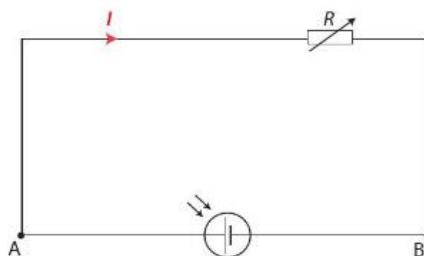
Le rendement d'une cellule photovoltaïque est un paramètre important à prendre en compte lors de la mise au point de dispositifs destinés à produire de l'électricité à partir de la lumière.

**Partie I Rendement d'une cellule**

Une cellule photovoltaïque est éclairée par une source fournissant un éclairement connu.



1. **RÉA** Le schéma électrique du montage est partiellement représenté ci-dessous. Le reproduire et le compléter en flétrant la tension  $U_{AB}$  aux bornes de la cellule photovoltaïque et en ajoutant les appareils de mesure nécessaires.



2. **RÉA** Pour deux éclairements différents, on obtient les résultats suivants.

Pour un éclairement de  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  :

$U_{AB} (\text{V})$	0,71	0,66	0,58	0,54	0,46	0,26	0,12	0
$I (\text{mA})$	0	20	40	52	70	77	78	80

Pour un éclairement de  $1\,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  :

$U_{AB} (\text{V})$	0,78	0,72	0,66	0,59	0,50	0,35	0,25	0
$I (\text{mA})$	0	40	80	120	150	155	158	160

Représenter sur un même graphique les caractéristiques  $I = f(U_{AB})$  de cette cellule pour les deux éclairements.

3. a. **RÉA** Compléter ces tableaux en calculant la puissance électrique  $P_{\text{elec}}$  de cette cellule dans chacune des situations.

- b. **RÉA** Représenter sur un même graphique la puissance électrique  $P_{\text{elec}} = f(U)$  pour les deux éclairements.

4. Pour chacun des éclairements :

- a. **RÉA** Calculer le rendement maximal de la cellule.
- b. **APP** Pour quelle tension aux bornes de la cellule le rendement maximal est-il obtenu ?
- c. **APP** Quelle est alors l'intensité du courant électrique fourni par chaque cellule ?

**Partie II Association de cellules**

1. **APP** On associe en série 10 cellules identiques à celle étudiée ci-dessus. Le montage est prévu pour fournir une puissance maximale.

Pour un éclairement de  $1\,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , quelle sera :

- a. la tension aux bornes de l'association ?
- b. l'intensité du courant traversant ?
- c. la puissance électrique fournie ?

2. **APP** Répondre aux mêmes questions pour 10 cellules associées en dérivation.

3. **ANA-RAIS** Quelle association privilégier ?

**Données**

Dimensions de la cellule :  $4,2 \text{ cm} \times 4,2 \text{ cm}$ .