

Le photon et l'effet photoélectrique

Le photon, l'effet photoélectrique, le bilan d'Einstein, le rendement d'une cellule photovoltaïque : **les cinq capacités exigibles et l'activité expérimentale** du programme.



1 Quatre parties, une vraie progression

Cours essentiel, méthodes pas à pas, QCM de tête, exercices corrigés. On démarre par le photon lui-même, on termine sur des sujets complets.

2 « Les erreurs qui coûtent des points »

Dans chaque partie, les erreurs à éviter dans ce chapitre, en X / ✓, avec le réflexe qui les évite. Et le barème d'une question type, décrypté sur un exemple.

3 Rien que le programme officiel

Les capacités exigibles de la partie couverte, et pas une de plus. **Chaque exercice est rattaché à une capacité ou à une notion du programme.**

4 L'essentiel pour réviser

Le formulaire des cartes sur une page, et la page qui donne le plan de réponse de chaque type de question. À photographier, à relire dans le bus.

4

parties
progressives

17

exercices corrigés
pas à pas

16

cartes
formules

10

méthodes
pas à pas

Conforme au programme de **physique-chimie de terminale, enseignement de spécialité** - annexe de l'arrêté du 19 juillet 2019, B.O. spécial n° 8 du 25 juillet 2019. Thème « Ondes et signaux », rubrique « **B) Décrire la lumière par un flux de photons** », activité expérimentale comprise. **Aucune capacité numérique ni mathématique** n'est demandée sur ce chapitre. Un test de positionnement en page 3 t'indique par où commencer.

« La lumière arrive par grains.
Chaque grain agit seul. »

Génies des Sciences

Méthodes & entraînement · Lycée

www.geniesdessciences.com

3 Par quelle partie commencer ?

CORRIGÉ FERMÉ

Seize questions qui balaient les quatre parties. Réponds **sur une feuille**, sans regarder les réponses. Ce test ne te note pas : il te dit seulement **par où commencer si tu ne peux pas tout reprendre**. Chaque question correspond à une capacité exigible du programme, ou à une notion de première qu'elle suppose.

01 Dans le vide, un photon se déplace :

- a** moins vite que c **b** à la vitesse c **c** plus vite s'il est plus énergétique

02 La masse du photon est :

- a** nulle **b** très petite, mais non nulle **c** égale à celle de l'électron

03 L'énergie d'un photon de fréquence ν s'écrit :

- a** $E = h/\nu$ **b** $E = h\lambda$ **c** $E = h\nu$

04 L'effet photoélectrique est l'éjection :

- a** de photons par un métal chauffé **b** d'électrons par un métal éclairé **c** d'ions par un métal éclairé

05 Sous la fréquence seuil d'un métal :

- a** aucun électron ne sort, quelle que soit l'intensité **b** il suffit d'éclairer plus fort **c** il suffit d'éclairer plus longtemps

06 Au-dessus du seuil, augmenter l'intensité lumineuse augmente :

- a** l'énergie de chaque électron éjecté **b** le nombre d'électrons éjectés chaque seconde **c** la fréquence seuil

07 Einstein a découvert l'effet photoélectrique en 1905.

VRAI **FAUX**

08 Le travail d'extraction W d'un métal est :

- a** l'énergie cinétique de l'électron sorti **b** l'énergie d'un photon **c** l'énergie minimale pour arracher un électron

09 Le bilan d'énergie de l'effet photoélectrique s'écrit :

- a** $E_{c,max} = h\nu - W$ **b** $E_{c,max} = W - h\nu$ **c** $E_{c,max} = h\nu + W$

10 La fréquence seuil vaut :

- a** h/W **b** W/h **c** $W \times h$

11 Un électronvolt vaut :

- a** $6,63 \times 10^{-34}$ J **b** $1,60 \times 10^{19}$ J **c** $1,60 \times 10^{-19}$ J

12 Un atome qui passe d'un niveau d'énergie à un niveau plus bas émet un photon.

VRAI **FAUX**

13 Une diode électroluminescente :

- a** absorbe des photons pour produire un courant **b** émet des photons quand un courant la traverse **c** convertit la chaleur en lumière

14 Les spectroscopies UV-visible et IR reposent sur :

- a** l'effet Joule **b** l'éjection d'électrons par un métal **c** l'absorption de photons par les molécules

15 Un photon de 0,8 eV arrive sur une cellule au silicium, dont le seuil vaut 1,1 eV :

- a** il libère un électron **b** il ne libère aucun électron **c** il libère un électron plus lent

16 Le rendement d'une cellule photovoltaïque compare :

- a** la puissance électrique fournie à la puissance lumineuse reçue **b** la tension à l'intensité **c** l'énergie d'un photon au travail d'extraction

QUESTIONS PARTIE SI TU RATES L'UNE D'ELLES...

1 à 3	1	le photon et son énergie, sur lesquels tout le chapitre repose
4 à 7	2	les faits expérimentaux et leur histoire, à savoir raconter
8 à 11	3	le bilan d'Einstein, la question de calcul centrale du chapitre
12 à 16	4	absorption et émission, leurs applications, et le rendement d'une cellule photovoltaïque

★ Comment lire ton résultat

Les réponses sont en tête des corrigés, page 28 : ne les consulte qu'une fois tes seize réponses écrites.

14 à 16 : enchaîne les quatre parties dans l'ordre.

9 à 13 : commence par les parties où tu as raté une question, puis reprends les autres dans l'ordre.

8 ou moins : fais les quatre parties dans l'ordre, sans en sauter une seule. Le pack est construit pour ce parcours complet.





Le conseil du prof

Une phrase à ne jamais écrire : « une lumière plus intense a des photons plus énergiques ». C'est faux, et l'effet photoélectrique le dément : l'énergie cinétique maximale des électrons éjectés ne dépend pas de l'intensité. **L'intensité règle le nombre de photons, la fréquence règle l'énergie de chacun.** L'interprétation d'Einstein repose sur cette distinction.

3 L'électronvolt, l'unité à la bonne taille

COURS

F3 L'ÉLECTRONVOLT

PAR CŒUR

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

Un électronvolt est l'énergie gagnée par un électron, de charge $-e$, accéléré par une tension de 1 V : $1 \text{ eV} = e \times 1 \text{ V}$, où $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ est la charge élémentaire. Les photons transportent quelques 10^{-19} J , soit quelques électronvolts : des nombres plus lisibles. Des joules aux électronvolts, on divise par $1,60 \times 10^{-19}$; dans l'autre sens, on multiplie. Repère : **un photon visible transporte entre 1,6 eV (rouge, 800 nm) et 3,1 eV (violet, 400 nm).**

4 Les méthodes, pas à pas

MÉTHODE

1 Calculer l'énergie d'un photon

1 Je convertis λ en mètres.

Un nanomètre vaut 10^{-9} m .

2 J'applique $E = hc/\lambda$.

Chaque valeur avec son unité ; le résultat est en joules.

3 Je convertis en eV pour commenter.

Je divise par $1,60 \times 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{eV}^{-1}$, puis je compare à la fourchette du visible.

L'EXEMPLE RÉDIGÉ

LED bleue, $\lambda = 470 \text{ nm} = 4,70 \times 10^{-7} \text{ m}$:

$$E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{4,70 \times 10^{-7} \text{ m}} = 4,23 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{4,23 \times 10^{-19} \text{ J}}{1,60 \times 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{eV}^{-1}} = 2,6 \text{ eV, dans la fourchette du visible, côté bleu.}$$

2 Compter les photons d'une source

1 Je calcule l'énergie E d'un photon.

Avec la longueur d'onde de la source (méthode 1).

2 J'identifie la puissance lumineuse P.

C'est l'énergie lumineuse émise chaque seconde : $1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$. Ce n'est pas la puissance électrique consommée, qui est plus grande.

3 Je divise.

$N = P/E$ est le nombre de photons émis chaque seconde, en s^{-1} ; je commente son ordre de grandeur.

L'EXEMPLE RÉDIGÉ

Une LED orange émet une puissance lumineuse

$P = 0,20 \text{ W}$ à $\lambda = 590 \text{ nm}$:

$$E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{5,90 \times 10^{-7} \text{ m}} = 3,37 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$N = \frac{0,20 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}}{3,37 \times 10^{-19} \text{ J}} = 5,9 \times 10^{17} \text{ s}^{-1} : \text{près de six cents millions de milliards de photons chaque seconde.}$$



1 Confondre le rôle de ν et de λ

✗ « grande longueur d'onde, grande énergie » · ✓ l'énergie suit la **fréquence** : $E = h\nu$. Comme $\lambda = c/\nu$, une grande longueur d'onde correspond à une **petite** énergie : un photon rouge est moins énergétique qu'un photon violet.

Le réflexe : sur le spectre du cours, les deux axes varient en sens inverses : garde cette image en tête.

2 Mélanger joules et électronvolts

✗ soustraire des eV à des joules dans un même calcul · ✓ une seule unité par bilan : tout en joules, ou tout en eV. La conversion passe par $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Le réflexe : choisis l'unité en début de calcul et écris-la à chaque ligne : le mélange saute alors aux yeux.

3 Prêter une masse au photon

✗ « le photon est très léger » · ✓ sa masse est **nulle**, pas petite : c'est ce qui lui permet de se déplacer à la vitesse c . « Léger » et « sans masse » ne sont pas synonymes.

Le réflexe : la carte d'identité tient en trois propriétés : masse nulle, vitesse c , énergie $h\nu$.

6 Le QCM express

DE TÊTE, SANS CALCULATRICE

1. Citer les trois propriétés du photon.
2. Donner les deux écritures de son énergie.
3. Valeur et unité de la constante de Planck ?
4. Que vaut un électronvolt en joules ?
5. Quel photon est le plus énergétique : rouge ou violet ?
6. Fourchette d'énergie d'un photon visible, en eV ?
7. Que transporte une lumière plus intense ?
8. Un photon UV et un photon IR : lequel dépasse 3,1 eV ?

Cache cette ligne pendant que tu réponds. **Réponses** : 1. masse nulle, vitesse c dans le vide, énergie $h\nu$ - 2. $E = h\nu = hc/\lambda$ - 3. $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ - 4. $1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ - 5. le violet - 6. entre 1,6 eV et 3,1 eV - 7. davantage de photons chaque seconde, pas des photons plus énergétiques - 8. le photon UV

7 Exercices

DU PLUS SIMPLE AU PLUS COSTAUD

Exercice 1 La carte d'identité, en pratique

★★★ □

Un pointeur laser rouge émet à $\lambda = 650 \text{ nm}$. Données : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$.

1. Rappeler la vitesse et la masse d'un photon de ce laser, dans le vide.
2. Calculer l'énergie d'un photon, en joules.
3. Convertir cette énergie en électronvolts.
4. Situer cette valeur dans la fourchette du visible, et commenter.



✓ Les corrigés détaillés

La rédaction modèle est à gauche, les remarques du correcteur à droite. Compare **ta rédaction**, pas seulement tes résultats : le correcteur note aussi les étapes du raisonnement.

✓ Les réponses du test de positionnement (page 3)

1. b - 2. a - 3. c - 4. b - 5. a - 6. b - 7. Faux (Hertz l'observe en 1887, Einstein l'interprète en 1905) - 8. c - 9. a - 10. b - 11. c - 12. Vrai - 13. b - 14. c - 15. b - 16. a

Comment lire un corrigé

Chaque réponse est écrite comme sur une copie : la donnée utilisée, le raisonnement, la relation, puis l'application numérique avec l'unité après chaque valeur, et une phrase qui répond à la question posée. **Ce n'est pas du remplissage** : le correcteur note ce qu'il peut suivre, et un résultat posé seul ne se suit pas.

Quand ta réponse diffère de la mienne, cherche d'abord **où** les deux chemins se séparent. C'est ce point précis qu'il faut retravailler, pas l'exercice entier. Avant de comparer, relis ta copie avec la check-list de la page 41.



Les valeurs intermédiaires sont imprimées avec un chiffre significatif de plus que le résultat final : refaire chaque calcul avec les seuls nombres imprimés redonne le même résultat. Seul le résultat final est arrondi.

Exercice 1 La carte d'identité, en pratique

1. Comme tout photon dans le vide,

il se déplace à $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et sa masse est nulle (F1).

2. $\lambda = 650 \text{ nm} = 6,50 \times 10^{-7} \text{ m}$. L'énergie d'un photon vaut $E = hc/\lambda$ (F2) :

$$E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{6,50 \times 10^{-7} \text{ m}} = 3,06 \times 10^{-19} \text{ J},$$

soit $E \approx 3,1 \times 10^{-19} \text{ J}$.

3. On divise par la valeur de l'électronvolt (F3) : $E = \frac{3,06 \times 10^{-19} \text{ J}}{1,60 \times 10^{-19} \text{ J} \cdot \text{eV}^{-1}} = 1,9 \text{ eV}.$

4. La fourchette du visible va de 1,6 eV (rouge) à 3,1 eV (violet).

Avec 1,9 eV, le photon du laser est dans le bas de la fourchette, du côté du rouge : c'est cohérent avec la couleur du laser.

Le nanomètre, première ligne du calcul

$650 \text{ nm} = 6,50 \times 10^{-7} \text{ m}$: sans cette conversion, le résultat est faux d'un facteur 10^9 .

La fourchette 1,6-3,1 eV, un contrôle

Tout photon visible doit y tomber : un résultat hors fourchette pour une couleur visible signale une erreur de puissance de dix.

