

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · ONDES ET SIGNAUX · CHAPITRE 21



R. RINGUET · 2026 – 2027

Exercices 2 Lunette astronomique et photons

Application : maquette de lunette au laboratoire, observation planétaire, mesure de la constante de Planck, cellule photovoltaïque

5 exercices · niveau ●●○ · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- **Partie A** — régler et exploiter une maquette de lunette afocale, justifier l'approximation « objet à l'infini » avec la relation de conjugaison, choisir un oculaire et un grossissement à partir de diamètres apparents et d'un champ de vision.
- **Partie B** — exploiter une série de mesures de l'effet photoélectrique (régression, Python) pour déterminer h et W_{ext} , exploiter la caractéristique d'une cellule photovoltaïque, calculer un flux de photons très faible.

Le titre de chaque exercice indique la partie du chapitre à laquelle il se rapporte.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}} \quad \bullet \quad h\nu = W_{\text{ext}} + E_{c,\text{max}} \quad \bullet \quad \eta = P_{\text{élec}}/P_{\text{lumineuse}}$$

Exercice 1 Partie A — Une maquette de lunette sur le banc d'optique

●●○

Sur un banc d'optique gradué en centimètres, on dispose une lentille L_1 de distance focale $f'_1 = 500$ mm à la graduation 10 cm, puis une lentille L_2 de distance focale $f'_2 = 50$ mm (figure 1). Par la fenêtre, on vise le sommet d'un mât de hauteur $H = 1,80$ m planté à $d = 90$ m du banc.

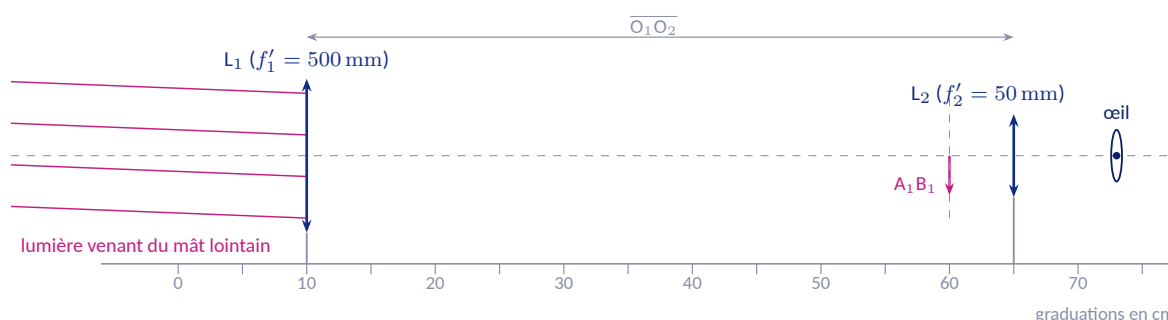


Figure 1 — La maquette sur le banc d'optique (schéma non à l'échelle)

- 1.1 L'axe optique étant dirigé vers le pied du mât, calculer l'angle θ sous lequel le mât est vu depuis L_1 , en radians. Justifier que l'on peut considérer le mât comme un objet « à l'infini » pour une lentille de 500 mm de distance focale.
- 1.2 Justifier que L_2 doit être placée à la graduation 65 cm pour que le système soit afocal. Où se forme alors l'image intermédiaire A_1B_1 ? Calculer sa taille, en millimètres.
- 1.3 En déduire l'angle θ' puis le grossissement G de la maquette.
- 1.4 *Contrôle de l'approximation.* Avec la relation de conjugaison appliquée à L_1 pour $\overline{O_1A} = -90$ m, montrer que $\overline{O_1A'} = 50,28$ cm. Calculer le grandissement, puis la taille exacte de l'image, et l'écart relatif avec la valeur de la question 1.2. Conclure.

- 1.5** Pour mesurer G , un élève vise une mire quadrillée lointaine, l'œil gauche à l'oculaire et l'œil droit ouvert, puis superpose les deux images : une case vue dans la lunette en recouvre exactement dix vues directement. Que vaut G ? Est-ce compatible avec la question 1.3?
- 1.6** L'élève remplace L_2 par une lentille de 20 mm : calculer le nouveau grossissement et la nouvelle position de L_2 .

Exercice 2 Partie A — Une soirée d'observation de Jupiter



Un club d'astronomie utilise une lunette 90/900 (objectif : diamètre 90 mm, distance focale 900 mm) et dispose de deux oculaires, de 20 mm et de 9,0 mm. Le soir de l'observation, Jupiter (diamètre $1,43 \times 10^5$ km) est à $6,3 \times 10^8$ km de la Terre. Le champ apparent des deux oculaires vaut 50° : le champ réellement observé dans le ciel vaut alors $50^\circ/G$.

- 2.1** Calculer le diamètre apparent θ de Jupiter vu à l'œil nu, en radians puis en secondes d'angle ($1'' = 4,85 \times 10^{-6}$ rad).
- 2.2** Calculer le grossissement obtenu avec chacun des deux oculaires, puis l'angle θ' correspondant. Comparer chaque valeur au diamètre apparent de la pleine Lune vue à l'œil nu ($9,0 \times 10^{-3}$ rad).
- 2.3** Calculer le champ réellement observé avec chacun des deux oculaires, en degrés. Avec lequel la pleine Lune ($0,52^\circ$) entre-t-elle entièrement dans le champ?
- 2.4** Le satellite Io est à $4,2 \times 10^5$ km du centre de Jupiter. Calculer l'écart angulaire entre Io et Jupiter, en radians, puis celui vu avec l'oculaire de 20 mm. Io reste-t-il dans le champ?
- 2.5** L'observateur souhaite un grossissement de 150 : quelle distance focale d'oculaire faut-il? Une « lentille de Barlow » double la distance focale de l'objectif : montrer qu'associée à l'oculaire de 9,0 mm elle dépasse l'objectif visé.

Exercice 3 Partie B — Mesurer la constante de Planck



On éclaire la cathode d'une cellule photoélectrique par des radiations monochromatiques de fréquence ν et l'on mesure, pour chacune, l'énergie cinétique maximale $E_{c,\max}$ des électrons émis. Les cinq points obtenus sont reportés sur la figure 2 ; la modélisation affine y est tracée.

■ **DONNÉES** $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

- 3.1** À partir du bilan $h\nu = W_{\text{ext}} + E_{c,\max}$, montrer que $E_{c,\max}$ est une fonction affine de ν et exprimer son coefficient directeur et son ordonnée à l'origine.
- 3.2** Relever sur la figure la fréquence seuil ν_0 du métal de la cathode, puis expliquer pourquoi aucun point n'est mesuré en dessous de cette fréquence.
- 3.3** Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite, en eV·s puis en J·s. Comparer à la valeur de référence $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ en calculant l'écart relatif.
- 3.4** En déduire le travail d'extraction W_{ext} du métal, en électronvolts, puis la longueur d'onde seuil λ_0 . Ce métal convient-il à un détecteur de lumière bleue (450 nm) ? à un détecteur de lumière rouge (650 nm) ?

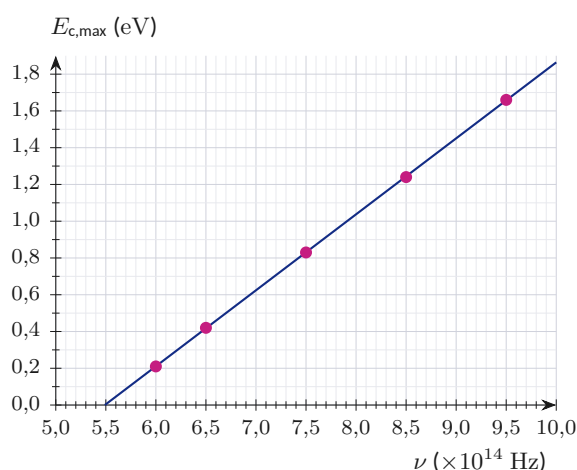


Figure 2 — Énergie cinétique maximale des électrons émis

Le programme ci-dessous détermine h en calculant, pour chaque point, la pente de la droite qui le relie au premier point, puis la moyenne de ces pentes.

```

1 nu = [6.0e14, 6.5e14, 7.5e14, 8.5e14, 9.5e14] # frequences, en Hz
2 Ec = [0.21, 0.42, 0.83, 1.24, 1.66] # energies, en eV
3 e = 1.60e-19
4 pentes = []
5 for k in range(1, len(nu)):
6     pentes.append(...) # ligne 6 a completer : pente, en eV.s
7 h_mesure = sum(pentes) / len(pentes) * e
8 print(h_mesure)

```

3.5 Compléter la ligne 6. Calculer « à la main » les deux premières pentes de la liste pentes.

3.6 Le programme affiche $6.638 \dots \times 10^{-34}$. Cette méthode est-elle plus fiable que la lecture graphique de la question 3.3 ? Citer un défaut de ce calcul par rapport à une régression linéaire sur les cinq points.

Exercice 4 Partie B — La caractéristique d'une cellule photovoltaïque



Un petit module photovoltaïque de surface $S = 200 \text{ cm}^2$ est éclairé par un projecteur fournissant un éclairement $E_e = 800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. On relève l'intensité I du courant débité en fonction de la tension U à ses bornes (figure 3).

4.1 Relever sur la figure l'intensité de court-circuit I_{cc} (pour $U = 0$) et la tension à vide U_{co} (pour $I = 0$). Quelle puissance électrique le module fournit-il dans ces deux situations ?

4.2 Calculer la puissance électrique fournie pour $U = 3,0 \text{ V}$, $U = 4,8 \text{ V}$ et $U = 5,4 \text{ V}$. En déduire le point de fonctionnement optimal du module et la puissance maximale $P_{\max}$.

4.3 Calculer la puissance lumineuse reçue par le module, puis son rendement au point de fonctionnement optimal.

4.4 Quelle résistance faut-il brancher aux bornes du module pour qu'il fonctionne au point optimal ?

4.5 Si l'éclairement est divisé par deux, I_{cc} l'est aussi tandis que U_{co} ne diminue que très peu : la puissance maximale est-elle divisée par deux, plus, ou moins ?

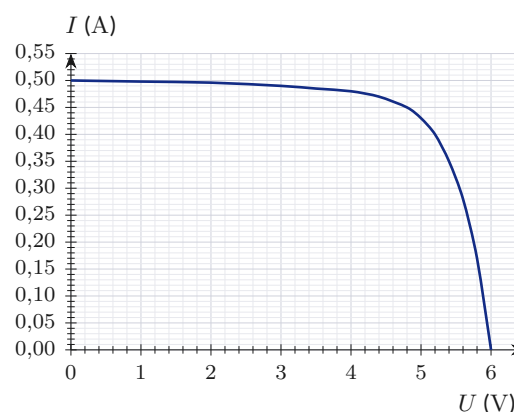


Figure 3 — Caractéristique $I = f(U)$ du module éclairé

Exercice 5 Parties A et B — Combien de photons la lunette collecte-t-elle ?



Une étoile envoie au sol un rayonnement d'éclairement $E_e = 1,5 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, que l'on assimilera à des photons de longueur d'onde 550 nm . On l'observe avec la lunette 90/900 de l'exercice 2, dont l'objectif a un diamètre $D = 90 \text{ mm}$; la pupille de l'œil a un diamètre $d = 5,0 \text{ mm}$.

■ **DONNÉES** $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ • $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ • $hc = 1,99 \times 10^{-25} \text{ J} \cdot \text{m}$

5.1 Calculer l'énergie d'un photon de cette lumière, en joules.

5.2 Calculer l'aire de l'objectif de la lunette, puis la puissance lumineuse qu'il collecte. En déduire le nombre de photons qui y parviennent chaque seconde.

5.3 Reprendre le calcul pour l'œil nu, puis montrer que le rapport des deux flux vaut $(D/d)^2$. Pourquoi dit-on que l'objectif d'un instrument est avant tout un « collecteur de lumière » ?

5.4 On place au foyer de la lunette un capteur CCD qui convertit 80 % des photons reçus en électrons. Combien d'électrons sont produits pendant une pose de 60 s ?

5.5 Une étoile dix fois moins lumineuse produirait, sur le même capteur et en 60 s, dix fois moins d'électrons. Expliquer pourquoi il faut alors allonger le temps de pose, et pourquoi le grain visible sur les images du ciel profond est une conséquence directe du caractère particulière de la lumière.