

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



R. RINGUET · 2026 – 2027

Exercices 1 Lunette astronomique et photons

Les bases : lunette afocale, marche des rayons, grossissement — énergie d'un photon, flux, effet photoélectrique

7 exercices · niveau ●○○ · durée conseillée : 1 h 45 · calculatrice autorisée

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

- **Partie A** — reconnaître une lunette afocale, lire la marche des rayons issus d'un point objet à l'infini, placer l'image intermédiaire, exploiter $G = f'_{\text{obj}}/f'_{\text{oc}}$ et des caractéristiques commerciales.
- **Partie B** — calculer l'énergie d'un photon, un flux de photons, un rendement ; exploiter le bilan de l'effet photoélectrique et un diagramme de niveaux d'énergie. Le titre de chaque exercice indique la partie traitée.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

- **De Première** — lentille mince convergente de centre O et de distance focale $f' = \overline{OF'} > 0 : 1/\overline{OA'} - 1/\overline{OA} = 1/f'$, grandissement $\gamma = \overline{A'B'}/\overline{AB} = \overline{OA'}/\overline{OA}$, vergence $C = 1/f'$ (en δ). Un objet à l'infini a son image dans le *plan focal image*.
- **Lunette afocale** : un *objectif* de grande distance focale f'_{obj} et un *oculaire* de courte distance focale f'_{oc} , placés de sorte que $F'_{\text{obj}} = F_{\text{oc}}$. Un objet à l'infini vu sous l'angle θ donne dans ce plan focal commun l'image intermédiaire $A_1B_1 = f'_{\text{obj}} \tan \theta \approx f'_{\text{obj}} \theta$; le faisceau sortant de l'oculaire est *parallèle*, sous l'angle θ' tel que $\tan \theta' \approx \theta' = A_1B_1/f'_{\text{oc}}$. D'où $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}}$ et l'encombrement $L = f'_{\text{obj}} + f'_{\text{oc}}$; l'image finale est *renversée*. Angles en radians.
- **Photon** : masse nulle, célérité c , énergie $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$; une source de puissance P émet $N = \frac{P}{E_{\text{photon}}}$ photons par seconde.
- **Cellule photovoltaïque** : $\eta = \frac{P_{\text{élec}}}{P_{\text{lumineuse}}}$.
- **Effet photoélectrique** : émission d'électrons seulement si $\nu \geq \nu_0$ (soit $\lambda \leq \lambda_0$), quelle que soit l'intensité lumineuse ; $h\nu = W_{\text{ext}} + E_{c,\text{max}}$ avec $W_{\text{ext}} = h\nu_0 = hc/\lambda_0$.
- **Niveaux d'énergie** : $|E_p - E_n| = h\nu = hc/\lambda$.

Exercice 1 Partie A — Une lunette du commerce

●○○

La fiche technique d'une lunette d'initiation indique : « *lunette 60/700, livrée avec trois oculaires de 25 mm, 10 mm et 4,0 mm* », le premier nombre étant le diamètre de l'objectif en millimètres, le second sa distance focale en millimètres.

- 1.1 Calculer la vergence de l'objectif, puis celle de l'oculaire de 25 mm. Pourquoi la lentille de plus grande distance focale est-elle nécessairement l'objectif ?
- 1.2 Que signifie « la lunette est afocale » ? En déduire l'encombrement L pour chacun des trois oculaires, en centimètres.
- 1.3 Calculer le grossissement obtenu avec chacun des trois oculaires.
- 1.4 Le fabricant précise : « *grossissement maximal utile : 120* » ; au-delà, l'image est plus grande et plus sombre, sans détail supplémentaire. Lequel des trois oculaires est à proscrire ? Quelle distance focale minimale faut-il respecter ?
- 1.5 Saturne est vue à l'œil nu sous le diamètre apparent $\theta = 9,2 \times 10^{-5}$ rad. Calculer l'angle θ' obtenu avec l'oculaire de 10 mm et comparer au diamètre apparent de la Lune à l'œil nu ($9,0 \times 10^{-3}$ rad).

Exercice 2 Partie A — Marche des rayons et grossissement



La figure 1 représente une lunette afocale et trois rayons issus d'un point B situé à l'infini, dans une direction faisant l'angle θ avec l'axe optique.

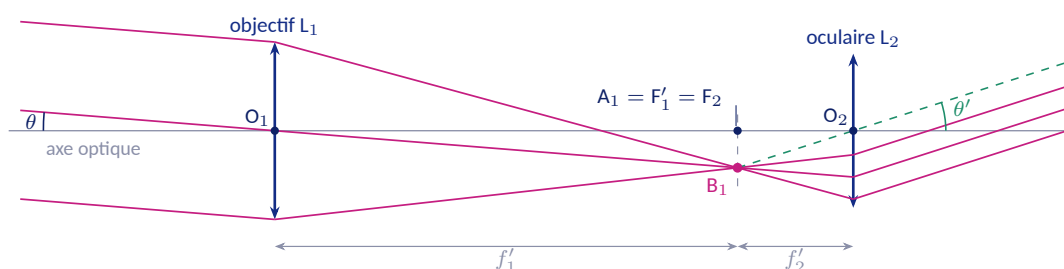


Figure 1 — Lunette afocale : marche de trois rayons issus d'un point B à l'infini (angles volontairement exagérés)

- 2.1 Pourquoi les trois rayons incidents sont-ils parallèles entre eux ? Que représente l'angle θ ? Où ces rayons se coupent-ils après l'objectif, et pourquoi ?
- 2.2 Pourquoi le faisceau sortant de l'oculaire est-il formé de rayons parallèles ? Où se trouve alors l'image définitive ?
- 2.3 Le rayon vert en pointillés n'appartient pas au faisceau réel : à quoi sert-il ? Justifier qu'il n'est pas dévié par l'oculaire.
- 2.4 L'image finale est-elle droite ou renversée ? Justifier à l'aide de la figure.
- 2.5 Cette lunette a pour caractéristiques $f'_1 = 900$ mm et $f'_2 = 25,0$ mm ; on observe la Lune, vue à l'œil nu sous $\theta = 9,0 \times 10^{-3}$ rad. Convertir θ en degrés, puis calculer la taille A_1B_1 de l'image intermédiaire, en millimètres.
- 2.6 En déduire l'angle θ' en radians puis en degrés, calculer θ'/θ et vérifier que ce rapport vaut f'_1/f'_2 .
- 2.7 La Lune étant à $d = 3,84 \times 10^5$ km de la Terre, en déduire son diamètre, en kilomètres.

Exercice 3 Partie B — L'énergie d'un photon



Le tableau ci-dessous rassemble cinq rayonnements électromagnétiques.

rayonnement	onde radio FM	infrarouge	visible (vert)	ultraviolet	rayons X
λ ou ν	$\nu = 100$ MHz	$\lambda = 1,0$ μm	$\lambda = 550$ nm	$\lambda = 250$ nm	$\lambda = 0,10$ nm
E (J)					
E (eV)					

■ **DONNÉES** $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s • $c = 3,00 \times 10^8$ m·s $^{-1}$ • 1 eV = 1,60 $\times 10^{-19}$ J • $hc = 1,99 \times 10^{-25}$ J·m = 1,24 $\times 10^3$ eV·nm

- 3.1 Rappeler les deux relations donnant l'énergie d'un photon, à partir de ν puis de λ , et montrer qu'elles sont équivalentes.
- 3.2 Recopier et compléter le tableau (deux chiffres significatifs). Aide : $E(\text{eV}) = 1,24 \times 10^3 / \lambda(\text{nm})$.
- 3.3 Classer ces rayonnements par énergie de photon croissante. Un photon de rayons X va-t-il plus vite qu'un photon d'onde radio ? Qu'est-ce qui les distingue alors ? Une liaison de l'ADN étant rompue par un photon de plus de 4,0 eV, quels rayonnements du tableau sont dangereux ?

Exercice 4 Partie B — Compter les photons



■ **DONNÉES** $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s • $c = 3,00 \times 10^8$ m·s $^{-1}$ • 1 eV = 1,60 $\times 10^{-19}$ J • $hc = 1,99 \times 10^{-25}$ J·m = 1,24 $\times 10^3$ eV·nm

- 4.1 Un pointeur laser vert émet $P = 1,0$ mW à la longueur d'onde $\lambda = 532$ nm. Calculer l'énergie d'un photon (en J et en eV), puis le nombre N de photons émis chaque seconde.

- 4.2 Une lampe à diode électroluminescente (LED) rouge consomme 8,0 W et convertit 25 % de cette puissance en lumière de longueur d'onde 620 nm. Calculer la puissance lumineuse émise, puis le flux de photons de la lampe.
- 4.3 Quelle puissance devrait émettre une source à 620 nm pour n'envoyer que mille photons par seconde ?

Exercice 5 Partie B — L'effet photoélectrique sur une plaque de zinc

●○○

Une plaque de zinc fraîchement polie est posée sur un électroscope chargé négativement. Lorsqu'on l'éclaire avec une lampe à vapeur de mercure, l'électroscope se décharge ; avec une lampe blanche très puissante, il ne se décharge pas. Travail d'extraction du zinc : $W_{\text{ext}} = 4,3 \text{ eV}$.

■ **DONNÉES** $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ • $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ • $hc = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$ • $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ • visible : 400 à 800 nm

- 5.1 Que se passe-t-il à la surface du métal ? Pourquoi l'électroscope se décharge-t-il ?
- 5.2 Convertir W_{ext} en joules, puis calculer la fréquence seuil ν_0 et la longueur d'onde seuil λ_0 du zinc. À quel domaine du spectre λ_0 appartient-elle ?
- 5.3 La lampe à mercure émet une raie intense à $\lambda = 254 \text{ nm}$. Calculer l'énergie du photon correspondant, puis $E_{c,\text{max}}$ des électrons extraits (en eV et en J) et enfin leur vitesse maximale.
- 5.4 La lampe blanche n'émet rien en dessous de 400 nm. Pourquoi, même avec une puissance 100 fois plus grande, l'électroscope ne se décharge-t-il pas ? En quoi est-ce inexplicable avec un modèle purement ondulatoire ?

Exercice 6 Partie B — Absorber ou émettre un photon

●●○

La figure 2 donne les premiers niveaux d'énergie de l'atome de mercure ; l'état fondamental correspond au niveau E_1 .

■ **DONNÉES** $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ • $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ • $hc = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$ • visible : 400 à 800 nm

- 6.1 Pourquoi dit-on que l'énergie de l'atome est *quantifiée* ? Quelle est l'énergie de l'atome au niveau E_1 , en joules ?
- 6.2 Calculer, en eV puis en J, l'énergie du photon émis lors de la transition $E_4 \rightarrow E_2$, ainsi que la longueur d'onde correspondante et son domaine.
- 6.3 Mêmes questions pour les transitions $E_3 \rightarrow E_2$ et $E_2 \rightarrow E_1$.
- 6.4 Un photon de longueur d'onde 300 nm peut-il être absorbé par un atome de mercure dans son état fondamental ? Justifier par un calcul.
- 6.5 Quelle énergie minimale faut-il fournir pour ioniser un atome de mercure dans son état fondamental, et à quelle longueur d'onde de photon cela correspond-il ?

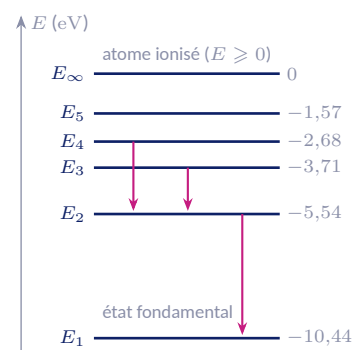


Figure 2 — Niveaux d'énergie du mercure et trois transitions

Exercice 7 Partie B — Le rendement d'un panneau photovoltaïque

●○○

Un panneau photovoltaïque de 1,70 m sur 1,00 m, placé face au Soleil, reçoit un éclairement $E_e = 1,0 \times 10^3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et débite une puissance électrique $P_{\text{élec}} = 340 \text{ W}$.

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

- 7.1 Calculer la puissance lumineuse reçue par le panneau, puis son rendement en pourcentage. Que devient le reste de la puissance reçue ?
- 7.2 En assimilant la lumière solaire à des photons de 600 nm, calculer le nombre de photons reçus chaque seconde par le panneau.
- 7.3 Une installation doit fournir 3,0 kW : combien de panneaux faut-il ? Que devient cette puissance quand l'éclairement tombe à $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$?