

Fiche de cours Lunette astronomique et photons

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 PARTIE A — RAPPELS SUR LA LENTILLE CONVERGENTE

Propriété. Une lentille mince convergente, de centre O et de distance focale $f' = \overline{OF'} > 0$, vérifie $1/\overline{OA'} - 1/\overline{OA} = 1/f'$ et donne le grandissement $\gamma = \overline{A'B'}/\overline{AB} = \overline{OA'}/\overline{OA}$; sa **vergence** est $C = 1/f'$, en dioptries (δ). L'image d'un objet à l'infini se forme dans le **plan focal image**.

Notation. Trois rayons se construisent sans calcul : par O, non dévié; parallèle à l'axe, il ressort par F' ; passant par F, il ressort parallèle à l'axe.

2 PARTIE A — LA LUNETTE ASTRONOMIQUE AFOCALE

Définition. Une **lunette astronomique** est formée de deux lentilles convergentes : l'**objectif**, de grande distance focale f'_{obj} , tourné vers l'objet, et l'**oculaire**, de courte distance focale f'_{oc} , côté œil. Elle est **afocale** lorsque $F'_{\text{obj}} = F_{\text{oc}}$: un objet à l'infini donne alors une image à l'infini, observable par un œil au repos.

Propriété — marche des rayons. Un objet à l'infini vu sous l'angle θ donne dans le plan focal commun une **image intermédiaire** réelle renversée $A_1B_1 = f'_{\text{obj}} \tan \theta \approx f'_{\text{obj}} \theta$; cette image étant dans le plan focal objet de l'oculaire, le faisceau **émergeant** est **parallèle**, incliné de $\theta' \approx A_1B_1/f'_{\text{oc}}$.

Théorème. Le **grossissement** de la lunette afocale vaut

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}} \quad (\text{sans unité, angles en radians}),$$

et son encombrement (distance entre les deux lentilles) vaut $L = f'_{\text{obj}} + f'_{\text{oc}}$. L'image finale est **renversée**.

Remarque. Caractéristiques commerciales « 60/700 » : diamètre de l'objectif 60 mm (il fixe la lumière collectée, donc la luminosité) et distance focale 700 mm. Changer d'oculaire change G ; un grossissement trop élevé assombrit l'image.

3 PARTIE B — LE PHOTON

Définition. La lumière est constituée de **photons**, particules de masse nulle se déplaçant à la célérité c , transportant chacune l'énergie

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{en J}), \quad h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}.$$

L'énergie s'exprime souvent en électronvolts : $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$, et $hc = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$ permet le calcul direct $E (\text{eV}) = 1,24 \times 10^3 / \lambda (\text{nm})$.

Propriété — flux de photons. Une source de puissance P émettant des photons d'énergie E en émet $N = P/E$ par seconde; une surface S soumise à l'éclairement $\mathcal{E} (\text{W}\cdot\text{m}^{-2})$ reçoit $P = \mathcal{E} S$.

Propriété — absorption et émission. Un atome n'absorbe ou n'émet qu'un photon dont l'énergie vaut exactement un écart entre deux de ses niveaux : $|E_p - E_n| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. D'où les spectres de raies, la LED (émission) et la cellule photovoltaïque (absorption).

4 PARTIE B — EFFET PHOTOÉLECTRIQUE ET RENDEMENT

Définition. L'**effet photoélectrique** est l'émission d'électrons par un métal éclairé. Elle n'a lieu que si la fréquence dépasse la **fréquence seuil** ν_0 (c'est-à-dire $\lambda \leq \lambda_0 = c/\nu_0$), *quelle que soit* l'intensité lumineuse : c'est le photon qui interagit individuellement avec un électron.

Théorème. Bilan énergétique, pour $\nu \geq \nu_0$:

$$h\nu = W_{\text{ext}} + E_{c,\text{max}}, \quad W_{\text{ext}} = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

où W_{ext} est le **travail d'extraction** du métal et $E_{c,\text{max}}$ l'énergie cinétique maximale de l'électron émis. Augmenter l'intensité lumineuse augmente le *nombre* d'électrons émis, pas leur énergie.

Définition. Le **rendement** d'une cellule photovoltaïque est $\eta = \frac{P_{\text{élec}}}{P_{\text{lumineuse}}}$ (sans unité, souvent en pourcentage).

■ DONNÉES — Valeurs de référence

$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ • $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ • $hc = 1,99 \times 10^{-25} \text{ J}\cdot\text{m} = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$
 • $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ • visible : 400 nm à 800 nm.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Construire la marche des rayons dans une lunette afocale et placer l'image intermédiaire.
- Établir et exploiter $G = f'_{\text{obj}}/f'_{\text{oc}}$; lire des caractéristiques commerciales.
- Calculer l'énergie d'un photon en joules et en électronvolts, et le nombre de photons émis ou reçus par seconde.
- Exploiter un diagramme de niveaux d'énergie pour une absorption ou une émission.
- Mener le bilan énergétique de l'effet photoélectrique ; calculer un seuil, une énergie cinétique, un rendement.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — grossissement d'une lunette

Lunette « 60/700 » ($f'_{\text{obj}} = 700 \text{ mm}$) équipée d'un oculaire de $f'_{\text{oc}} = 25 \text{ mm}$: $G = \frac{700}{25} = 28$ et l'encombrement vaut $L = 700 + 25 = 725 \text{ mm}$. Un cratère vu sous $\theta = 2,0 \times 10^{-4} \text{ rad}$ à l'œil nu est vu sous $\theta' = G\theta = 5,6 \times 10^{-3} \text{ rad}$.

★ EXEMPLE — énergie et flux de photons

Laser vert $\lambda = 532 \text{ nm}$ de puissance $P = 5,0 \text{ mW}$: $E = 1,24 \times 10^3 / 532 = 2,33 \text{ eV} = 2,33 \times 1,60 \times 10^{-19} \text{ J} = 3,73 \times 10^{-19} \text{ J}$, donc $N = P/E = 5,0 \times 10^{-3} / (3,73 \times 10^{-19}) = 1,3 \times 10^{16}$ photons par seconde.

★ EXEMPLE — effet photoélectrique

Un métal a pour travail d'extraction $W_{\text{ext}} = 2,30 \text{ eV}$: $\lambda_0 = \frac{1,24 \times 10^3}{2,30} = 539 \text{ nm}$ (lumière verte). Éclairé à $\lambda = 400 \text{ nm}$, le photon apporte $3,10 \text{ eV}$: l'émission a lieu, avec $E_{\text{c,max}} = 3,10 - 2,30 = 0,80 \text{ eV} = 1,28 \times 10^{-19} \text{ J}$. À 600 nm , aucun électron n'est émis, même avec un faisceau très intense.

★ EXEMPLE — rendement d'une cellule

Un panneau de surface $S = 1,6 \text{ m}^2$ reçoit l'éclairement $\mathcal{E} = 1,0 \times 10^3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et délivre $P_{\text{élec}} = 320 \text{ W}$: $P_{\text{lumineuse}} = \mathcal{E}S = 1,6 \times 10^3 \text{ W}$ et $\eta = \frac{320}{1,6 \times 10^3} = 0,20$, soit 20 %.

✗ PIÈGES

- Intervertir objectif et oculaire : $G = f'_{\text{obj}}/f'_{\text{oc}} > 1$, l'objectif a la plus grande distance focale (angles en radians).
- Oublier que l'image finale d'une lunette afocale est renversée, et qu'elle est rejetée à l'infini.
- Mélanger les unités dans $E = hc/\lambda$: soit tout en SI (J, m), soit E en eV avec λ en nm et $hc = 1,24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$.
- Croire qu'une lumière très intense arrache des électrons sous le seuil : seule la fréquence décide.
- Confondre E (énergie d'un photon) et P (puissance de la source) : le lien est le nombre N de photons par seconde.