

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



R. RINGUET · 2026 – 2027

Sujet type bac Lunette astronomique et photons

Deux exercices indépendants : une soirée d'observation de Saturne (partie A) — du photon au capteur d'une lunette (partie B)

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : /20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies ; toute expression littérale est établie avant l'application numérique et toute démarche, même partielle, est valorisée. Formulaire : écart normalisé $z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{u(x)}$, compatibilité admise si $z < 2$.

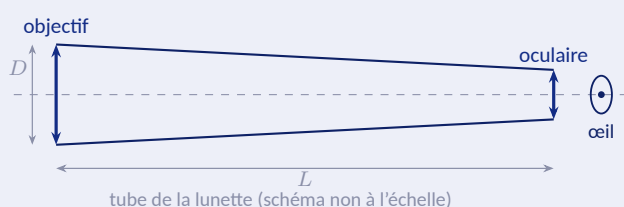
Exercice 1 Une soirée d'observation de Saturne

12 pts ●●●

Un club d'astronomie organise une soirée d'observation de Saturne avec une lunette astronomique. Il s'agit de choisir l'oculaire adapté, de prévoir ce qui sera visible, puis d'analyser de façon critique les indications du fabricant.

■ DONNÉES $1'' = 4,85 \times 10^{-6} \text{ rad}$

■ DOCUMENT 1 — La lunette du club



Objectif : diamètre $D = 102 \text{ mm}$, distance focale $f'_{\text{obj}} = 1\,000 \text{ mm}$. Trois oculaires interchangeables : 25 mm, 10 mm et 6,5 mm ; leur *champ apparent* vaut 52° , si bien que la portion de ciel réellement observée a un diamètre angulaire $52^\circ/G$. Le fabricant annonce un *pouvoir séparateur* de $1,1''$: deux détails séparés d'un angle plus petit ne peuvent pas être distingués l'un de l'autre, quel que soit le grossissement. Il annonce également « *grossissement maximal : 250* » grâce à une lentille additionnelle.

■ DOCUMENT 2 — Saturne le soir de l'observation

Distance Terre-Saturne : $d = 1,35 \times 10^9 \text{ km}$ • diamètre équatorial de la planète : $1,20 \times 10^5 \text{ km}$ • diamètre extérieur du système d'anneaux : $2,72 \times 10^5 \text{ km}$ • la *division de Cassini*, bande sombre qui sépare les deux anneaux principaux, a une largeur de $4,8 \times 10^3 \text{ km}$ • pour mémoire, la pleine Lune est vue à l'œil nu sous un diamètre apparent de $9,0 \times 10^{-3} \text{ rad}$.

Extrait du carnet d'observation : « Avec l'oculaire de 10 mm, la planète et ses anneaux tiennent très largement dans le champ. La division de Cassini n'est pas visible, même en passant à l'oculaire de 6,5 mm. »

Partie A — La lunette afocale

- 1.1 Rappeler ce qu'est un système afocal et où se forme l'image intermédiaire d'un objet situé à l'infini. Calculer la distance entre les centres optiques des deux lentilles lorsque l'oculaire de 10 mm est monté.
- 1.2 Réaliser un schéma de la lunette et y construire la marche de deux rayons issus d'un point objet B situé à l'infini, hors de l'axe optique. Faire figurer les foyers, l'image intermédiaire A_1B_1 , l'angle θ sous lequel l'objet

est vu à l'œil nu et l'angle θ' sous lequel son image est vue dans la lunette.

- 1.3** À partir de ce schéma, exprimer $\tan \theta$ puis $\tan \theta'$ en fonction de A_1B_1 et des distances focales. En déduire, dans l'approximation des petits angles, que $G = \frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}}$.
- 1.4** Calculer le grossissement obtenu avec chacun des trois oculaires, ainsi que l'encombrement correspondant de la lunette.

Partie B — Ce que l'on voit de Saturne

- 1.5** Calculer le diamètre apparent de la planète, puis celui du système d'anneaux, en radians et en secondes d'angle.
- 1.6** Calculer la taille, dans le plan focal image de l'objectif, de l'image intermédiaire du système d'anneaux. Exprimer le résultat en millimètres.
- 1.7** Avec l'oculaire de 10 mm, calculer l'angle θ' sous lequel l'observateur voit le système d'anneaux. Comparer au diamètre apparent de la pleine Lune vue à l'œil nu et commenter la sensation de l'observateur.
- 1.8** Calculer le champ réellement observé avec l'oculaire de 10 mm, en degrés puis en secondes d'angle. La première phrase du carnet d'observation est-elle justifiée ?
- 1.9** Calculer l'écart angulaire correspondant à la largeur de la division de Cassini. En le comparant au pouvoir séparateur annoncé par le fabricant, expliquer la seconde phrase du carnet d'observation. Un oculaire de plus courte distance focale changerait-il quelque chose ?

Partie C — Vérifier le grossissement, et lire la publicité d'un œil critique

Pour vérifier le grossissement de l'oculaire de 25 mm, les élèves visent une mire lointaine, un œil dans la lunette et l'autre ouvert, puis comptent combien de graduations vues directement sont recouvertes par une graduation vue dans la lunette. Cinq binômes obtiennent :

binôme	1	2	3	4	5
G mesuré	38,8	40,1	39,4	40,5	39,2

L'incertitude-type de type A sur la moyenne de n mesures vaut $u(\overline{G}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$, où s est l'écart-type expérimental de la série ; ici $s = 0,69$.

- 1.10** Calculer la valeur moyenne $\overline{G}$ de la série, puis l'incertitude-type $u(\overline{G})$. Écrire le résultat de la mesure sous la forme $G = (\dots \pm \dots)$.
- 1.11** Calculer l'écart normalisé entre cette mesure et la valeur attendue pour cet oculaire, puis conclure sur la compatibilité des deux valeurs.
- 1.12** L'œil humain ne sépare pas deux points vus sous un angle inférieur à $1'$ environ. En déduire le grossissement à partir duquel l'œil exploite *tout* le pouvoir séparateur de la lunette. Le « grossissement maximal : 250 » annoncé par le fabricant apporte-t-il des détails supplémentaires ? Justifier.
- 1.13** À l'oculaire de 6,5 mm, l'image de Saturne paraît nettement plus sombre qu'à l'oculaire de 25 mm, alors que l'objectif collecte exactement la même quantité de lumière. Proposer une explication.

Exercice 2 Du photon au capteur de la lunette

8 pts ●●●

La lumière d'une étoile lointaine est trop faible pour être vue à l'œil nu : on la détecte avec une photodiode au silicium placée au foyer de la lunette précédente.

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

■ DOCUMENT 3 — Photodiode au silicium

Dans une photodiode au silicium, un photon ne libère un porteur de charge que si son énergie dépasse l'énergie de gap $E_g = 1,12 \text{ eV}$. Le rendement quantique η_q est la proportion de photons reçus effectivement convertis en électrons ; il dépend de la longueur d'onde (figure 1). À titre de comparaison, l'extraction d'un électron hors d'une plaque de tungstène, par effet photoélectrique, exige $W_{\text{ext}} = 4,5 \text{ eV}$.

L'étoile visée produit au sol un éclairement $E_e = 8,0 \times 10^{-13} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, assimilé à des photons de longueur d'onde 550 nm . L'objectif de la lunette a un diamètre $D = 102 \text{ mm}$; la pupille de l'œil, dans l'obscurité, un diamètre $d = 5,0 \text{ mm}$.

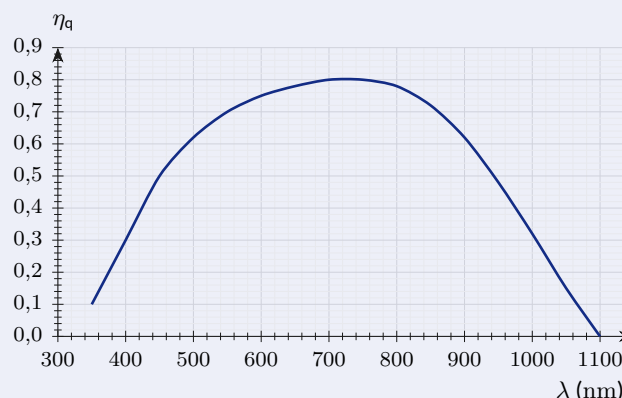


Figure 1 — Rendement quantique de la photodiode

- 2.1 Calculer l'énergie d'un photon de longueur d'onde 550 nm , en joules puis en électronvolts.
- 2.2 Montrer par le calcul qu'un tel photon ne peut pas extraire d'électron d'une plaque de tungstène, mais qu'il libère un porteur de charge dans le silicium. Calculer la longueur d'onde maximale détectable par la photodiode et vérifier la cohérence avec la figure 1.
- 2.3 Calculer l'aire de l'objectif de la lunette, puis la puissance lumineuse de l'étoile qu'il collecte. En déduire le nombre de photons qui atteignent la photodiode chaque seconde.
- 2.4 Relever sur la figure 1 le rendement quantique à 550 nm , puis calculer le nombre d'électrons libérés chaque seconde et l'intensité du courant correspondant. Un ampèremètre de laboratoire mesure au mieux 1 nA : commenter.
- 2.5 Le capteur accumule les électrons pendant une pose de 120 s avant que la charge totale ne soit mesurée. Calculer cette charge. Expliquer en quoi cette technique résout le problème soulevé à la question précédente.
- 2.6 Calculer le nombre de photons de l'étoile qui entreraient chaque seconde dans l'œil nu. Sachant que l'œil « intègre » la lumière pendant environ $0,1 \text{ s}$ et qu'il lui faut recevoir au moins une centaine de photons pour percevoir une source, expliquer pourquoi cette étoile est invisible à l'œil nu mais aisément détectée par la lunette.
- 2.7 Pour observer des étoiles encore dix fois moins lumineuses avec le même capteur et la même précision, on peut allonger la pose ou augmenter le diamètre de l'objectif. Indiquer, en justifiant par un calcul, la durée de pose nécessaire à diamètre constant, puis le diamètre d'objectif nécessaire à durée de pose constante.

Le programme ci-dessous calcule, pour différents diamètres d'objectif, le nombre d'électrons collectés pendant une pose de 120 s sur la même étoile.

```
1 from math import pi
2 Ee, lam, h, c = 8.0e-13, 550e-9, 6.63e-34, 3.00e8
3 rendement, pose = 0.70, 120.0
4 for D in [0.102, 0.150, 0.200, 0.300]:
5     S = pi * D**2 / 4
6     N = ... # ligne 6 à compléter : nombre d'électrons collectes
7     print(round(D, 3), round(N))
```

- 2.8 Compléter la ligne 6, puis calculer la valeur affichée par le programme pour $D = 0,200 \text{ m}$.
- 2.9 Retrouver, à l'aide de ce programme, la réponse donnée à la question 2.7 pour le diamètre d'objectif. Que faudrait-il ajouter au programme pour qu'il la détermine automatiquement ?