

Mines Physique 1 PC 2003 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Benoît Lobry (Professeur en CPGE) ; il a été relu par Karol Kozłowski (ENS Lyon) et Stéphane Ravier (ENS Lyon).

Ce problème aborde différents aspects de la physique lunaire. Il est court et demande assez peu de développements calculatoires. De très nombreuses questions qualitatives font appel au sens physique attendu des candidats de la filière PC.

- La première partie est essentiellement qualitative. Elle repose sur des considérations d'optique géométrique et ondulatoire élémentaires.
- La deuxième nécessite une bonne compréhension du phénomène de polarisation. Elle fait appel aux connaissances acquises lors du TP-Cours sur la polarisation de lumière.
- Dans la troisième, on envisage le comportement thermodynamique de la Lune. C'est la partie la plus classique du problème. Là encore, des questions qualitatives nécessitent une bonne compréhension physique des phénomènes mis en jeu.
- Enfin, la quatrième partie permet d'expliquer l'absence d'atmosphère lunaire en s'appuyant sur le calcul de la vitesse de libération lunaire.

La formulation des questions qui, sans être difficile, est parfois laconique, demande une bonne maîtrise du cours et un certain recul de la part du candidat. Cela en fait un bon problème de révision.

INDICATIONS

Première partie

- 2 Considérer que la lumière lunaire provient de l'infini.
- 5 Envisager le milieu de la nuit lunaire sur la face cachée quand le Soleil, la Terre et la Lune sont alignés. Faire un schéma représentant deux alignements consécutifs en prenant en compte la rotation de la Terre autour du Soleil et évaluer la période qui les sépare pour en déduire la durée du « jour » lunaire.
- 6 Tracer sur un schéma les quatre rayons qui sont tangents à la fois à la Terre et au Soleil afin d'y repérer les zones de pleine lumière, de pénombre et d'ombre.

Deuxième partie

- 8 Commencer par envisager le cas d'une lumière polarisée rectilignement, puis celui d'une lumière naturelle non polarisée. L'éclairement est proportionnel au carré du module du champ électrique.
- 9 Une lame demi-onde réalise la symétrie par rapport à son axe rapide de l'état de polarisation incident. Pour une lumière polarisée rectilignement, représenter dans un plan (Myz) l'axe rapide de la lame et la direction de polarisation de la lumière puis paramétrer les différents angles.
- 10 Envisager l'existence de nombreuses petites cavités sur la surface poussiéreuse de Lune.

Troisième partie

- 12 Justifier que le modèle surévalue les transferts thermiques par rayonnement.
- 16 Décomposer le mouvement de la surface lunaire dans le référentiel de Copernic en trois sous-mouvements et évaluer les vitesses associées.
- 17 Appliquer $\Delta E_c + \Delta U = W_{\text{ext}} + Q$ au système {Lune + météorite}, supposé isolé pendant l'impact, avec $\Delta U = \Delta H$ dans le vide. Supposer que la Lune est beaucoup plus massive que la météorite et que la température initiale du sol lunaire est $T_{s,L} = 290 \text{ K}$ comme à la question 19.
- 19 Partir de $\Phi(r) + p_L dV = \Phi(r + dr)$ pour un volume dV d'épaisseur dr .
- 20 Considérer que $T(r) > T_f$ dans le noyau liquide.
- 22 Évaluer la diminution de p_L au cours de 3 périodes radioactives.
- 23 Envisager la conséquence de l'effet Joule associé aux courants induits.

Quatrième partie

- 25 Pour calculer v_1 , considérer que l'objet s'échappe dès que $E_m \geq 0$. Comparer v_1 à v sans oublier la signification statistique de v .

I. DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA TEMPÉRATURE LUNAIRE

1 D'une part, l'absorption et les turbulences atmosphériques dégradent la qualité de l'image obtenue par un télescope terrestre. D'autre part, l'astronomie terrestre est tributaire de l'absence de couverture nuageuse et de lumières parasites. Un site astronomique « privilégié » répond à ces contraintes. Il est typiquement isolé, en altitude et sous un climat sec. Dans un satellite, on s'affranchit de ces limitations.

2 La distance entre l'objet et le télescope est ici très grande devant la distance focale du miroir, on peut donc considérer que la lumière lunaire provient de l'infini. Si elle arrive parallèlement à l'axe optique, on doit placer le détecteur au foyer image F' du miroir sphérique, c'est-à-dire au milieu du segment $[OC]$.

3 Pour un télescope qui fonctionne dans le domaine visible et dans le proche infrarouge aux longueurs d'onde inférieures à $10 \mu\text{m}$, le refroidissement permet de dissocier la lumière observée et le rayonnement thermique parasite, émis par le télescope à une longueur d'onde de $40 \mu\text{m}$ pour T aux environs de 77 K .

4 Si la résolution angulaire est $\Delta\alpha$, alors, avec une distance D_{LT} entre le télescope et la surface lunaire et $\lambda \simeq 0,6 \mu\text{m}$ dans le visible, la résolution Δx est

$$\Delta x = D_{LT} \Delta\alpha \quad \text{soit} \quad \boxed{\Delta x = 1,22 \frac{\lambda D_{LT}}{a} \simeq 300 \text{ m}}$$

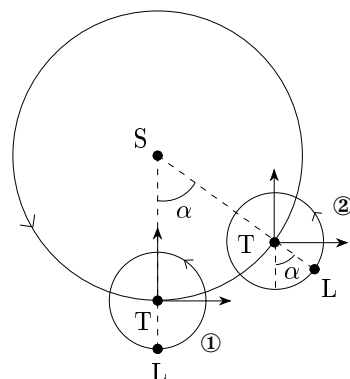
En pratique, à cause de la diffraction ou de la turbulence atmosphérique, l'image d'une source ponctuelle n'est jamais ponctuelle. La résolution est la distance minimale (ou le plus petit angle) devant séparer deux sources ponctuelles pour que leurs images soient résolues, c'est-à-dire séparées.

5 La Lune présente toujours la même face à la Terre. Le milieu de la nuit lunaire au centre de la face cachée correspond à l'alignement de la Lune avec la Terre et le Soleil comme sur la position ① du schéma. Pour atteindre l'alignement ② suivant, la Lune doit effectuer une rotation complète autour de la Terre à laquelle s'ajoute l'angle α dû à la rotation de la Terre autour du Soleil pendant le même temps. Si P est la période qui sépare ces deux alignements, alors

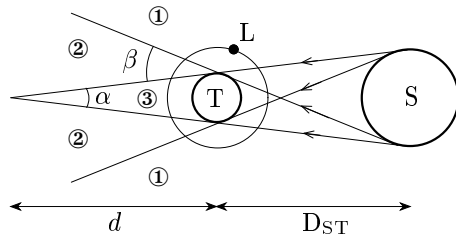
$$P = (2\pi + \alpha) \frac{P_{TL}}{2\pi} \quad \text{où} \quad \alpha = P \frac{2\pi}{P_{ST}}$$

La durée P_n de la nuit lunaire est la moitié de P , soit

$$\boxed{P_n = \frac{P_{ST} P_{TL}}{2(P_{ST} - P_{TL})} = 14,7 \text{ jours}}$$



6 Considérons les quatre rayons lumineux tangents sur le schéma ci-contre. Ils délimitent trois zones. La zone ① est accessible à tous les rayons solaires, c'est la zone de pleine lumière. La zone ③ n'est atteinte par aucun rayon solaire, c'est le cône d'ombre. Enfin, seule une partie des rayons solaires parvient dans la zone ②, c'est la zone de pénombre.



Comme D_{ST} est très supérieure à R_S et à R_T , l'ouverture angulaire β de la zone de pénombre peut être évaluée par

$$\beta = \frac{2R_S}{D_{ST}} = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

et la durée P_p de la pénombre, par

$$P_p = 2\beta \frac{P_{TL}}{2\pi} \quad \text{soit} \quad \boxed{P_p = 1,9 \text{ heure}}$$

| La zone de pénombre est traversée en deux étapes, β est donc doublé.

L'ouverture α du cône d'ombre vérifie

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{R_T}{d} = \frac{R_S}{d + D_{ST}} \sim \frac{\alpha}{2}$$

d'où $d = \frac{R_T D_{ST}}{R_S - R_T} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ km}$ et $\alpha = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$

Ceci permet d'évaluer la longueur ℓ de l'orbite lunaire dans le cône d'ombre à $\ell = \alpha(d - D_{LT})$, et la durée P_0 de l'ombre, par

$$\frac{\ell}{P_0} = \frac{2\pi D_{LT}}{P_{TL}} \quad \text{soit} \quad \boxed{P_0 = 2,5 \text{ heures}}$$

On peut faire ici trois remarques :

- Puisque $D_{LT} < d$, la Lune peut bien traverser le cône d'ombre.
- La schématisation du problème est ici volontairement simpliste car les mouvements de la Lune et de la Terre ne sont pas coplanaires. La Lune peut ne traverser que partiellement le cône d'ombre (éclipse partielle) ou rester dans la zone de pénombre (éclipse de pénombre). Mais le plus souvent, elle reste dans la zone de pleine lumière et on observe une simple pleine lune sans éclipse.
- Au cours d'une éclipse totale, la Lune n'est pas vraiment sombre mais apparaît rougeâtre. Il s'agit d'un éclairage indirect dû à la diffusion de la lumière solaire par l'atmosphère terrestre.

7 En règle générale, il faut d'autant moins d'énergie pour augmenter la température d'un solide que celui-ci est moins dense. Ainsi, la faible densité de la couche supérieure explique que sa température évolue rapidement dès que l'apport d'énergie par rayonnement est modifié. La faible conductivité thermique de cette même couche lui permet, quant à elle, d'isoler la couche inférieure vis à vis de ces variations de l'apport d'énergie et explique la lenteur de la diminution de la température pendant la période d'ombre.