

Physique

Présentation du sujet

L'observation de rayonnements infrarouges stellaires pose plusieurs problèmes spécifiques. Dans l'espace, le détecteur (partie I) basé sur un bolomètre nécessite un refroidissement rigoureux. Son inertie thermique va fortement influencer son temps de réponse et corrélativement sa bande passante. Les contraintes imposées à un dispositif embarqué imposent des solutions originales comme un cryo-réfrigérateur à hélium analysé en partie V. Afin de s'affranchir de la lumière solaire, un tel détecteur sera placé en 2018 dans un télescope spatial, qu'il s'agit de positionner à un des points de Lagrange du système Terre-Soleil (partie IV). Les sources infrarouges stellaires peuvent aussi être observées à partir de la Terre par interférométrie entre deux télescopes de type Cassegrain (partie III). La résolution angulaire est bien meilleure qu'avec un télescope unique limité par la diffraction (partie II).

Analyse globale des résultats

Cette épreuve bien calibrée en durée était d'un abord relativement difficile, même si les meilleurs candidats ont traité quasi-intégralement des pans entiers du problème. Les candidats moyens n'ont pas su franchir les premières difficultés de la partie I. Ils ont été rapidement démobilisés et se sont livrés à un grappillage qui ne pouvait faire illusion quant à leur maîtrise des connaissances nécessaires. De ce fait, les très mauvaises copies ont été particulièrement nombreuses.

La qualité de la présentation des copies reste globalement satisfaisante même si le jury a pu déceler une tendance au relâchement. Au-delà de la qualité de l'expression française, qui reste trop souvent douteuse, c'est le manque de phrases explicatives qui pose problème. Ceci est particulièrement net pour les questions qualitatives assez nombreuses dans ce problème.

Toutes les parties du problème ont été abordées avec des performances similaires quoique peu satisfaisantes. La dernière partie a été relativement peu abordée.

Commentaires sur les réponses apportées

Partie I – Détection de rayonnement infrarouge

Cette première partie débute avec une série de questions qualitatives sur les détecteurs d'ondes électromagnétiques et sur le rayonnement infrarouge du corps noir. Au lieu de citer des capteurs comme des photodiodes, photorésistances, barrettes CCD ou antenne de réception pour ondes centimétriques, les candidats ont cité des expériences réalisées en travaux pratiques autour du thème de l'optique géométrique ou ondulatoire voire de la spectrophotométrie. La limite inférieure en longueur d'onde du domaine infrarouge est assez bien connue. Au contraire, sa limite supérieure est souvent considérée comme infinie au lieu de se limiter au millimètre. Globalement la largeur en longueur d'onde du domaine infrarouge est majoritairement prise de l'ordre du domaine visible. L'explicitation de la loi de Wien donnée par l'énoncé a eu relativement peu de succès, λ_{\max} a été couramment considérée comme la longueur d'onde maximale que le corps noir peut émettre et non l'abscisse du maximum d'une grandeur énergétique. Pour justifier la nécessité du refroidissement du capteur afin de s'affranchir du rayonnement infrarouge ambiant, l'énoncé demandait des applications numériques laissées à l'initiative du candidat portant sur la loi de Wien. Malheureusement

dans de nombreuses copies, la problématique a été inversée. Au lieu de partir de deux températures (sur Terre et dans le satellite), les candidats ont cherché les températures associées aux limites du domaine infrarouge pour arriver à la conclusion qu'une température de plusieurs milliers de kelvins allait détruire le capteur. Pratiquement aucune copie ne signalait que la puissance du rayonnement infrarouge pour un corps noir refroidi était très fortement atténuée du fait de la loi de Stefan.

Le bilan thermodynamique du bolomètre a été très souvent mené de manière extrêmement fantaisiste. L'erreur majeure vient d'une lecture superficielle du texte introductif de cette partie. La contribution de la poutre de support et celle de l'effet Joule ont souvent été purement et simplement oubliées ou alors leur signe erroné. Traditionnellement le mélange de grandeurs électriques et thermiques est la porte ouverte à toute une série de confusions dans l'esprit des candidats. Ce problème n'a pas dérogé à la règle. Pratiquement aucun candidat n'est arrivé au terme d'un raisonnement se basant sur une analogie thermique-électrocinétique.

La détermination graphique du temps a été le plus souvent, et de loin, interprétée à partir de l'intersection du graphe $T(t)$ avec l'axe des abscisses au lieu de l'intersection avec l'asymptote horizontale. Le diagramme de Bode a souvent été bien traité. Les bonnes copies ont signalé que l'augmentation de sensibilité du détecteur n'allait pas de pair avec un gain de rapidité.

Partie II – Un télescope unitaire de VLT

Cette partie d'optique a été incontestablement le parent pauvre de ce problème. Les candidats se sont très souvent limités au calcul des distances caractéristiques du télescope Cassegrain. La construction géométrique donnant accès au grossissement était très souvent à peine esquissée et le plus souvent sans pertinence. La détermination de la limite de résolution du télescope était relativement guidée, il suffisait de connaître le résultat fondamental de la diffraction sur le diamètre angulaire de la tache d'Airy pour conclure. Malheureusement, très peu de copies sont arrivées au terme de ce calcul.

Partie III – Le télescope interférentiel VLTI

La mesure interférométrique de l'angle entre les deux composantes d'une étoile double débute par l'étude de la figure d'interférences d'une étoile. Cette première sous-partie n'a pas été traitée avec l'efficacité que l'on pouvait espérer vu son caractère classique. Deux raisons à cela. Il fallait dans un premier temps s'approprier la situation physique. La relation entre les figures 3 et 4 nécessite une lecture attentive du texte de présentation, qui a été trop souvent extrêmement superficielle. Par ailleurs, les questions qualitatives sur le rôle de la ligne de retard, sur la cohérence ou encore sur le contraste ont été désastreuses dans l'immense majorité des copies. Rares sont les candidats ayant compris qu'une distance de cent mètres est énorme à l'échelle de la longueur de cohérence. L'argument souvent invoqué est du type « pas de différence de marche, pas d'interférences ». Ces mêmes candidats vont pourtant développer correctement les calculs autour des trous d'Young associées à une lentille sans vraiment maîtriser le contenu physique de ce montage optique. Il faut signaler que le calcul de la différence de marche, bien que correct quant au résultat, relève très souvent d'un schéma préalable erroné. La surface d'onde destinée à appliquer le théorème de Malus est dans la large majorité des copies tracée après la traversée de la lentille.

La partie III abordait ensuite l'observation de deux sources ponctuelles. Trop souvent le jury a été amené à lire que les deux sources sont cohérentes et que de ce fait il faut additionner les intensités lumineuses. Le calcul du brouillage a été traité avec efficacité et rigueur dans les meilleures copies en négligeant néanmoins l'application numérique finale.

Partie IV – Positionnement du télescope spatial James Webb au point de Lagrange

Cette partie très courte et sans difficulté majeure demandait néanmoins un traitement rigoureux. L'étude du positionnement d'un télescope spatial en un des points de Lagrange du système Terre-Soleil débutait par la détermination de la vitesse angulaire de rotation de la Terre sur une orbite supposée circulaire. Dans ce contexte, la démonstration de la troisième loi de Kepler était exigée. Le référentiel noté \mathcal{R}_0 dans l'énoncé a été reconnu comme non galiléen par de nombreux candidats. Mais ils n'en ont pas toujours exploité les conséquences quant à l'inventaire des forces afin de traduire la condition d'équilibre du télescope spatial. Le calcul de la distance Terre-télescope découlait ensuite d'un développement limité de la condition d'équilibre. C'est un exemple typique de la mauvaise foi de nombreux candidats. En ne prenant pas en compte l'effet dû à l'accélération d'entraînement, ces étudiants aboutissent par miracle à l'expression demandée. Au-delà de la sanction du barème, une telle attitude jette le discrédit sur l'ensemble de la copie. Vu la complexité des expressions des diverses énergies potentielles en jeu, le jury a validé la forme générale de ces contributions en sanctionnant les erreurs de signe.

Partie V – Refroidissement cryogénique du télescope Herschel

L'interrupteur thermique étudié correspond à un calcul classique de conductance thermique dans une géométrie cylindrique. Bien que guidé, le calcul n'a pas toujours été bien mené. La non prise en compte de la variation de la surface d'échange lors de l'augmentation du rayon a été observée dans de nombreuses copies ayant abordé cette partie. Une vérification dimensionnelle permettait pourtant de détecter rapidement son erreur. Un nombre excessivement faible de candidats ont dégagé le rôle du gaz dans le fonctionnement de l'interrupteur. Même si l'énoncé ne donnait pas de données chiffrées, il était aisé de relier qualitativement la conductivité thermique du gaz à sa pression. Néanmoins dans l'immense majorité des copies, c'est le déplacement relatif des deux cylindres qui entraîne la fonction « interrupteur ». L'énoncé précisait pourtant explicitement dans le texte introductif de cette partie que « ces dispositifs de refroidissement en comportent aucune pièce mobile ».

Les questions qualitatives sur le choix du liquide réfrigérant ne présentaient pas de difficultés particulières. Le fonctionnement du cryo-réfrigérateur situé en extrême fin de problème n'a été abordé que dans de rares copies.

Conseils aux candidats

Ce sujet était de longueur raisonnable. Il fallait néanmoins lire très attentivement l'énoncé au préalable. Les indications qui y figurent ne sont pas des fioritures, mais des éléments fonctionnels permettant de replacer les phénomènes physiques dans leur contexte expérimental ou technologique. Les questions qualitatives permettent de s'assurer de cette appropriation des situations physiques par le candidat. Il faut rester cohérent car il n'est pas si rare que les réponses à deux questions consécutives se contredisent. Si le candidat n'aboutit pas au résultat, il faut l'admettre et non truquer, parfois grossièrement, les calculs pour tenter de faire illusion. De telles attitudes sont toujours lourdement sanctionnées par les correcteurs.

Conclusions

Ce problème de difficulté très raisonnable a permis aux meilleurs candidats de traiter avec efficacité des pans entiers du problème. Le jury a vivement apprécié ces copies conséquentes, qui traduisent une bonne connaissance du cours. Néanmoins il faut déplorer le trop grand nombre de candidats

présentant une méconnaissance totale de questions véritablement élémentaires. Pour récolter les fruits des efforts fournis durant les deux années de préparation, il ne faut pas se limiter à la maîtrise des aspects techniques de certains calculs au détriment de la compréhension physique des phénomènes. Le gain d'efficacité ne peut être obtenu que par un travail régulier en ce sens.