

PHYSIQUE A

Durée : 4 heures

PRESENTATION DU SUJET

L'épreuve PHYS A 2020 étudiait certains aspects théoriques et pratiques de la détection des ondes gravitationnelles telle que celle réalisée par VIRGO en 2014-2015. Elle était constituée de 3 parties largement indépendantes.

La première partie proposait un modèle dynamique simple pour deux corps massifs en interaction gravitationnelle qui, par leur mouvement relatif, émettent des ondes gravitationnelles. La deuxième partie portait sur le détecteur dont le principe est celui d'un interféromètre de Michelson amélioré par un montage Fabry-Perot (pour lequel aucun prérequis n'était nécessaire). La troisième partie s'intéressait à une limitation amenée par le caractère non parfait des miroirs constituant l'interféromètre.

Les parties du programme questionnées dans l'épreuve étaient respectivement : la mécanique de première année, l'analogie gravitation-électrostatique, l'optique ondulatoire et divers chapitres du cours d'électromagnétisme.

REMARQUES GENERALES

Le sujet a posé de grosses difficultés à une large majorité de candidats.

Les très bonnes copies se sont faites rares et a contrario des copies de niveau très faible ont été beaucoup plus nombreuses que lors des années passées.

Si on peut comprendre que certaines questions aient pu déstabiliser des étudiants, le sujet comportait beaucoup de questions proches du cours (voir de cours). Force est de constater que de nombreux points basiques de cours ne sont pas maîtrisés à des niveaux divers :

- La force d'interaction coulombienne n'est pas connue (et souvent aussi la force d'interaction gravitationnelle)
- La cinématique du point s'avère souvent fantaisiste (définition d'un mouvement uniforme liée à la nullité de l'accélération, obtention erronée d'un vecteur vitesse ou accélération dans un système de coordonnées choisi)
- Les vecteurs sont par ailleurs des êtres mathématiques mal connus à qui l'on fait dire n'importe quoi (leur dérivée temporelle a amené souvent des calculs grossièrement faux)
- Le principe d'un interféromètre de Michelson n'est pas maîtrisé
- Les différences de marche et les différences de phase se confondent trop souvent (voir se mélangent)
- La formule de Fresnel est rarement sue
- Les différences entre une onde stationnaire et une onde progressive sont inconnues
- Les comparaisons entre grandeurs n'ayant pas la même dimension ont abondé
- Les unités de grandeurs physiques de base sont rarement sues (champ électrique en particulier)

ANALYSE PAR PARTIE

Partie I

Cette partie a été largement abordée par les candidats mais rarement menée intégralement avec succès. Malgré une approche très guidée pour amener au théorème de Gauss gravitationnel, le début fut très inégalement réussi.

La suite relevait de la mécanique en présence d'un champ de forces centrales. Malheureusement le formalisme mathématique propre à la mécanique a fait défaut à une très large majorité. Aussi la plupart des considérations cinématiques ont amené des calculs et des raisonnements aberrants. Les résultats essentiels sur un mouvement circulaire en présence d'une force gravitationnelle n'étaient pas connus avec suffisamment de précision par trop de candidats.

Le théorème de l'énergie mécanique n'est pas assez connu et peu de candidats ont fait le lien avec la puissance perdue par émission d'ondes gravitationnelles pour obtenir l'équation différentielle demandée sur la fréquence.

Partie II

Le début de l'épreuve relevait de questions de cours sur l'interféromètre de Michelson. Le jury a été désagréablement surpris par la faible maîtrise de la connaissance cet instrument étudié en cours et en TP. On peut citer le rôle de la compensatrice qui est un mystère pour une majorité d'étudiants dont un nombre non négligeable pense qu'elle forme avec la séparatrice la fameuse « lame d'air » du Michelson. Les confusions ont abondé dans les calculs de différence de marche et rares sont les étudiants connaissant la formule de Fresnel. De fait la partie B fut de loin la plus mal réussie.

La partie D étudiait une cavité électromagnétique unidimensionnelle et pouvait être considérée dans une très large mesure comme une application très directe du cours. Elle fut en fait une source de difficultés pour beaucoup d'étudiants la définition d'une onde stationnaire est mal sue, la définition d'un conducteur parfait se résume à la nullité de la densité volumique de charge, la notion de mode propre est généralement inconnue.

Partie III

Là encore les premières questions relevaient de questions de cours sur l'OPPH. Malheureusement les relations liant champ électrique et magnétique ou la définition du vecteur de Poynting sont souvent fantaisistes, les unités d'un champ électrique sont inconnues, la distinction entre représentation complexe et grandeur réelle est inexistant dans l'esprit d'une majorité de candidats (ce qui entraîne des calculs exotiques lors de manipulations de grandeurs énergétiques). Bien que très abordable, cette partie a été plutôt très mal réussie par les candidats qui l'ont abordé.

Le jury ne peut que rappeler combien un apprentissage rigoureux du cours et une maîtrise minimale des outils mathématiques sont des attendus incontournables à ce niveau d'étude et dans la perspective d'un concours d'entrée dans une grande école d'ingénieurs.