
EPREUVE ECRITE DE PHYSIQUE

ENS : PARIS

Durée : 6 heures Coefficients : MP 7 / MPI 6

MEMBRE DE JURY : M.- C. ANGONIN WILLAIME, E. BRUNET, P.F. COHADON

L'épreuve portait sur les effets de lentilles gravitationnelles. La première partie établissait les équations de déviation des rayons lumineux par une masse dans un cadre classique et, après confrontation avec les résultats expérimentaux, donnait explicitement l'expression de la déviation des rayons lumineux établie dans le cadre de la relativité générale. La deuxième partie consistait en l'étude des effets d'une lentille constituée d'une masse ponctuelle, en établissant le nombre d'images créées et leur amplification. La troisième partie permettait de modéliser les effets de lentilles gravitationnelles à l'aide d'une lentille optique transparente.

Le problème était donc de trouver l'équation de la surface de la lentille optique équivalente dans le cas d'une déviation par une masse ponctuelle, puis par une galaxie modélisée par une sphère isotherme, dont la distribution de masse avait été établie dans les préliminaires. Le problème ensuite proposait de trouver l'équivalent gravitationnel d'une lentille mince de longueur focale fixée.

Le problème était assez long, aucun candidat ne l'a fait dans son intégralité. Toutefois, toutes les questions ont été abordées par au moins un candidat. L'histogramme montre que l'épreuve a permis de bien départager les candidats. Comme chaque année, quelques copies (en particulier une) sont ressorties bien au-dessus des autres.

Les correcteurs ont, comme annoncé dans l'énoncé, été particulièrement sensibles à la clarté des explications et à la présentation des résultats. Il est extrêmement pénible de devoir pêcher un résultat dans une copie présentée comme un véritable brouillon. La rédaction d'une copie de concours est un acte de communication avec le correcteur : le candidat doit convaincre le jury qu'il a compris le sujet et qu'il est capable de donner des réponses complètes, claires et synthétiques aux questions posées. Pour cela, il dispose de papiers brouillons pour faire ses essais ainsi que les intermédiaires de calculs peu intéressants. Il est donc inutile, voire pénalisant, de mettre des pages de calculs n'aboutissant qu'à des résultats peu ou pas finalisés dans les copies.

Maintenant, détaillons un peu certaines questions :

Préliminaires :

- 1- Un certain nombre de candidats faisaient les calculs pour une mole de gaz. Ce n'est pas faux, à condition de le signaler explicitement.
- 2-.a Beaucoup de candidats n'ont pas vu le fait que la dispersion de vitesse n'était mesurée que dans une seule direction.
- 2-.b Des explications très farfelues ont été proposées pour cette question. L'idée de mesurer le rayonnement de corps noir de la galaxie entière pour en déduire sa température est souvent revenue. Un nombre trop important de candidats ont proposé de mesurer la pression des étoiles sur les parois de la galaxie. À noter que, dans les explications concernant l'effet Doppler, il y avait souvent confusion entre la vitesse moyenne et la vitesse quadratique moyenne des étoiles.
- 3- Il se trouvait que, en considérant la masse volumique de la galaxie comme constante, l'erreur compensait exactement celle que beaucoup ont faite au 2.a. Les candidats retrouvaient ainsi le

résultat demandé en ayant fait deux erreurs importantes. Les correcteurs furent sans pitié pour cette accumulation d'erreurs, mais ont apprécié les rares candidats qui, voyant qu'il y avait un problème, ont eu l'honnêteté de le signaler et d'exprimer leurs hésitations.

Partie I

A

1-.a Beaucoup de candidats ont confondu la particule fictive avec le centre de gravité. Certains n'ont pas jugé utile de se mettre dans le référentiel barycentrique pour leurs calculs.

1-.b En général, les dessins n'étaient vraiment pas clairs et sans aucun commentaire pour les expliciter. Le paramètre d'impact n'est pas la distance la plus courte entre les deux masses lorsqu'elles parcourent leurs trajectoires.

2- Il faut rappeler que la relation fondamentale de la dynamique n'est pas une équation de conservation. Chose étonnante, les candidats ont souvent étudié soit la conservation de l'énergie mécanique, soit la conservation du moment cinétique, mais assez peu les deux à la fois.

3- Cette question n'était pas une question hors contexte. Elle concernait le problème de l'interaction de deux masses gravitationnelles ayant une vitesse à l'infini. Les trajectoires elliptiques ne pouvaient donc pas être solution. Il y a eu aussi, même dans les meilleures copies, un nombre incroyable d'hyperboles répulsives, grave faute de compréhension ! Quelques copies ont obtenu à ce stade comme solution des mouvements rectilignes et uniformes et ne voyaient pas l'intérêt des questions suivantes.

4- Les correcteurs sont assez satisfaits des réponses obtenues à cette question. Les candidats connaissent bien les relations concernant les coniques.

5- Il y a eu souvent confusion entre l'angle de déviation et l'ouverture de l'hyperbole. Les correcteurs auraient souhaité avoir plus de réponses avec des résultats convenablement simplifiés.

B

1- Beaucoup de candidats ne savent pas évaluer une seconde d'arc en radian. Beaucoup aussi ne connaissent pas le symbole de cette unité. Un certain nombre de candidats a refusé de faire l'application numérique sous prétexte que l'on ne donnait pas la valeur de b , sans réfléchir qu'il s'agissait de voir les possibilités d'observation des effets de lentille gravitationnelle et donc qu'une évaluation supérieure de la valeur de déviation suffisait à conclure. Cette évaluation était donnée par la taille de l'objet défecteur, bien souvent opaque aux rayons lumineux.

2- Quelques candidats ont commenté, judicieusement parfois, les résultats d'Eddington. Il semble être utile de rappeler aux candidats, qu'à l'exception des jours d'équinoxe, les rayons du Soleil ne sont pas perpendiculaires au sol à l'équateur ; et donc que ce critère ne pouvait être la cause des voyages des collaborateurs d'Eddington.

Partie II

A

1- On ne peut pas prouver que les deux segments proposés sont perpendiculaires si l'on n'a pas remarqué que l'un d'eux est la bissectrice de l'angle d'ouverture de la trajectoire.

2- Cette question a été relativement bien traitée quand les candidats y parvenaient.

5- Le résultat pouvait être trouvé par de simples considérations de symétrie. Quelques candidats y ont pensé ; d'autres, au contraire, obtenaient par le calcul des résultats symétriques pour les positions des deux images sans aller plus loin dans le raisonnement.

B

1- Il y a eu beaucoup de bluff de la part des candidats et peu de démonstrations rigoureuses pour cette question.

Partie III

- 1- Un grand nombre de candidats a tenté de répondre à cette question. Beaucoup ont oublié de se placer dans l'approximation des petits angles.
- 2- Encore des résultats compliqués par le fait que l'approximation des petits angles n'était pas utilisée. Les candidats donnaient très souvent l'inverse ou l'opposé de la pente, ce qui pouvait facilement être corrigé s'ils avaient explicitement défini leurs notations ainsi que les quantités qu'ils calculaient, défaut de rigueur difficilement pardonnable.
- 4.- La plupart des candidats qui ont répondu à cette question n'avaient pas lu correctement l'énoncé. Ils ont donc calculé l'intégrale de la distribution de masse volumique sur une sphère au lieu d'intégrer la distribution surfacique sur un disque. Le résultat et l'application numérique qui en découlaient étaient bien évidemment faux.
- 5- Les rares candidats qui ont abordé cette question s'en sont généralement bien sorti.