

École Normale Supérieure  
Concours PC – Session 2020  
Rapport sur l'épreuve Physique C (6h)  
Jury : Michaël Berhanu, **Alexis Brès**, Benoît Semin.

Le coefficient, en pourcentage du total d'admission, est de 35,9% (modifié pour tenir compte de l'absence d'oral à la session 2020). L'épreuve ne compte que pour l'option physique à l'ENS Ulm.

Moyenne : 8,97

Écart-type : 3,58

**Descriptif du sujet :**

L'épreuve de cette session portait sur certains aspects de la théorie de la relativité générale (abordés d'un point de vue accessible à des candidats issus de CPGE), et ses applications à l'astrophysique moderne.

La première partie abordait la question du principe d'équivalence, soit le lien entre champ de gravitation et champ d'accélération. Sa vérification expérimentale était l'occasion de sonder les connaissances en mécanique des candidat·e·s.

La seconde partie traitait du problème de la matière noire, en faisant constater aux candidats l'incompatibilité entre les profils théoriques de vitesse des galaxies (liés à la répartition mesurée de la masse dans l'Univers) et le profil expérimental obtenus par des observations astrophysiques.

La troisième et dernière partie abordait la branche de la cosmologie, en travaillant notamment sur les équations de Friedmann-Lemaître, et en donnant aux candidat·e·s l'occasion de s'interroger sur la nécessité d'un ingrédient supplémentaire pour rendre compte de l'expansion de l'univers, l'énergie sombre.

**Remarques générales :**

L'épreuve relativement abordable, a permis de classer correctement les candidat·e·s. Les meilleures copies ont traité correctement environ deux tiers du sujet. Toutes les questions ont reçu au moins une fois une réponse satisfaisante. Le sujet comporte de nombreuses questions qualitatives permettant de tester le sens physique. Les meilleures copies répondent à ces questions de manière concise avec les justifications nécessaires, ce qui montre que les points essentiels sont compris. Une réponse plus longue et moins précise pourra être comptée juste, si l'ensemble est correct, mais le surcroît de temps passé sera préjudiciable en empêchant les candidat·e·s d'aborder une part suffisante de l'épreuve.

Le jury est conscient du caractère exceptionnel de cette session, tant du point de vue de la forme des épreuves que du niveau de préparation des candidat·e·s. Cependant, plusieurs remarques, déjà faites dans les précédents rapports, ont été ignorées par une grande partie des candidats. Le jury incite fortement les candidat·e·s à l'École normale supérieure à lire attentivement les rapports pendant leur préparation.

Nous énumérons ici rapidement ces remarques :

- un résultat inhomogène est un résultat faux. De même, il faut bannir les expressions de type « vecteur = scalaire » (particulièrement dans la première question de ce sujet, qui portait sur les équations de Maxwell). Enfin, on évitera les résultats mêlant valeurs numériques et expressions littérales, ces mélanges perdant généralement toute trace d'homogénéité.
- le soin apporté à une copie influence fortement l'opinion du correcteur sur celle-ci. Une copie n'est pas un brouillon, et si des résultats doivent être rayés, il convient de le faire proprement.
- le nombre de chiffres significatifs dans une application numérique fait partie intégralement de la question.
- la rédaction scientifique doit être précise et rigoureuse : les pages de calcul enchaînées sans le moindre connecteur logique sont à proscrire. On attend des candidat·e·s d'expliquer leur raisonnement, pas de calculer aveuglément. L'écueil opposé est cependant aussi à éviter : les questions pour lesquelles le sujet appelle à répondre de manière brève et qualitative ne doivent pas donner lieu à des développements trop longs.
- la physique est une science qui nécessite de définir des systèmes, d'appliquer des théorèmes, de faire des bilans. Ceci doit se retrouver dans les réponses apportées par les candidat·e·s : on ne compte plus les trop nombreux « on a ... » suivi d'une équation, qui aurait cependant mérité un bref « En appliquant la seconde loi de Newton (PFD) à la masse dans le référentiel terrestre, on obtient... ».
- Le barème est choisi de sorte à n'attribuer que peu de points à des réponses dispersées aux questions « faciles » et à favoriser le traitement correct d'une partie dans son intégralité.
- cette année en particulier, le jury a remarqué un nombre significatif de copies assez longues (plus de 20 pages), mais dont plus de la moitié des réponses étaient fausses.
- enfin, le niveau de langue est à surveiller. On ne rédige pas une copie comme on parle avec un interrogateur, et surtout pas comme lors d'une conversation de la vie courante.

### Remarques sur les questions du sujet :

Q1 : quand sont demandées les équations du champ *électrostatique*, il est inutile de donner les équations de Maxwell dans leur forme complète ou de donner les équations de la magnétostatique. On attendait deux équations de Maxwell, sous forme locale ou intégrale.

Q4 : Cette question élémentaire n'a pas été toujours correctement traitée. La justification des symétries et invariances du système était attendue, et n'a pas toujours été faite correctement.

Q9 : Croire qu'un astronaute est en impesanteur dans la station spatiale internationale (ISS) en raison d'une supposée faiblesse du champ gravitationnel à cette altitude constitue une erreur importante: l'ISS gravitant à environ 400km d'altitude, un rapide calcul montre que l'accélération de la gravité y vaut encore quelques  $8,6 \text{ m/s}^2$ .

Q13 : cette question ne posait pas particulièrement de difficulté si on écrivait correctement les équations du mouvement, et que le développement limité était bien mené.

Q15 : les affirmations du type « on voit bien que » pour pallier le manque d'une des deux lois de conservation se sont systématiquement vues compter fausses.

Q16 : une question dans l'ensemble bien réussie, mais la rédaction a été souvent déficiente: il était nécessaire de justifier, même sommairement, pourquoi la trajectoire était symétrique.

Q22 : toute tentative d'obtenir l'équation demandée en s'aidant de la suite du sujet n'a pas apporté de point au candidat. Il était nécessaire d'invoquer la conservation de la masse pour justifier l'apparition du  $\Omega_0^3$ .

Q24 : le jury a apprécié une grande variété d'explications physiques à l'impossibilité de l'interpénétration des grains.

Q26 : cette question a été trop peu réussie, du fait de la difficulté de certains candidats à effectuer des calculs trigonométriques simples.

Q27 : souvent, les candidats qui trouvaient le bon résultat (environ  $10^{38}$  W) s'étonnaient de cette valeur. S'il est toujours bon de garder un œil critique sur des ordres de grandeur inhabituels, il faut ici garder en tête qu'il est question de la puissance rayonnée par l'ensemble d'une galaxie !

Q32 : cette question a donné lieu à des réponses très diverses. Il est attendu des candidats de pouvoir rapidement interpréter un profil et de dessiner le graphe associé. Ici, la dépendance exponentielle était la clé pour comprendre la forme globale de la galaxie, mais les candidats pouvaient s'aider de leur culture (forme d'une galaxie spirale).

Q35 : dans l'ensemble, les candidats répondant à cette question ont relevé l'inadéquation entre les modèles de la question 31 et les courbes expérimentales.

Q37 : trop peu de candidats ont pensé à questionner l'intégrabilité de la répartition de densité de masse : c'est en effet la masse totale qui est une quantité physique, il appartient donc de se poser la question de sa valeur finie ou non.

Q41 : il est nécessaire de justifier pourquoi le terme  $K_\theta$  disparaît de l'expression de la divergence.

Q43 : une justification physique minimale était attendue pour expliquer le signe de  $K_z$ .

Q44 : une simple application du théorème de l'énergie cinétique suffisait.

Q49 : même s'il a été assez bienveillant sur les réponses fournies, le jury aurait aimé que les candidat·e·s sachent que la relativité est une théorie du *début* du XX<sup>e</sup> siècle.

Q50 : savoir que les volumes augmentent comme le cube des longueurs est essentiel pour tout étudiant en sciences.

Q52 : une conversion un peu trop rapide de la valeur en secondes à exactement 13,6 milliards d'années, sans montrer de calculs intermédiaires, et en l'absence de calculatrice, a paru suspecte au jury. Il n'a accordé de points qu'aux copies prouvant que la conversion avait bien été réalisée.

Q54 : le jury attendait ici une justification minimale de l'équation  $dU = -p dV$ , qui permettait d'obtenir le résultat après quelques manipulations algébriques.

**Conseils aux futur·e·s candidat·e·s :**

L'épreuve de cette session peut être vue comme plus simple que la moyenne des épreuves des années précédentes. Dans ce contexte, beaucoup de rigueur était attendue. Le but d'une épreuve longue (6h) n'est pas de voir les candidat·e·s tenter à tout prix de finir l'épreuve, au prix du soin et de la rigueur du raisonnement scientifique. Les meilleures copies ont d'ailleurs parfois été des copies assez courtes (entre 16 et 20 pages).

Le cours de base doit être maîtrisé. Des questions de cours simples (comme Q4 de ce sujet) sont effect placées dans des épreuves longues et difficiles. On peut ainsi s'assurer des points faciles avant de s'attaquer à des difficultés plus conceptuelles. Ces questions peuvent aussi servir de guide dans la suite du sujet.

Le jury se félicite des bonnes copies qu'il a eu le plaisir de corriger, qui alliaient soin, rigueur et maîtrise du cours, ainsi qu'une bonne culture physique qui permettait une navigation plus aisée entre les concepts de ce sujet.