

CONCOURS D'ADMISSION 2026

Composition de Physique A, Filière PC

Le sujet proposé cette année portait sur les techniques modernes de spectrométrie de masse appliquées à l'étude de molécules complexes. Les deux parties abordaient successivement l'ionisation par électronébulisation puis la spectrométrie de masse à résonance cyclotronique ionique. L'épreuve mobilisait principalement des notions classiques d'électrostatique, de mécanique et d'électromagnétisme dans un contexte scientifique moderne et appliqué. Progressive et largement guidée, elle permettait d'évaluer à la fois la maîtrise du cours, la qualité des raisonnements et la capacité des candidats à interpréter physiquement les résultats obtenus.

Les deux parties étaient indépendantes, et à l'intérieur d'entre elles, des sous-parties étaient également indépendantes, ce qui a été bien perçu par les candidats qui ont, dans leur majorité, abordé le problème jusqu'à la fin.

Les correcteurs ont constaté un grand nombre d'erreurs liées à des problèmes de notation — notamment des égalités incohérentes entre scalaires et vecteurs — ainsi que de nombreuses fautes même dans des calculs relativement simples comme la résolution de polynômes du second degré, les développements limités et les vérifications d'homogénéité. Ces points de rigueur élémentaire restent essentiels dans une épreuve scientifique.

Par ailleurs, le sujet n'a pas toujours été bien compris. Par exemple, assez fréquemment des candidats ont choisi d'intégrer explicitement les équations différentielles des questions 16 et 17, démarche qui était tout à fait recevable. En revanche, beaucoup ont ensuite réinjecté les expressions ainsi obtenues pour dZ/dt dans les questions suivantes, alors même que de nouveaux termes apparaissaient dans les équations différentielles étudiées. Cette méthode a conduit à des raisonnements incorrects et traduit une mauvaise compréhension du sujet et de la portée des solutions. D'autres remarques, détaillées par question, sont exprimées ci-dessous :

1,2,3 – Ces questions ont donné lieu à des réponses assez diverses. Certaines copies cherchent à ré-établir les expressions du champ électrostatique à la question **1** (non demandé), puis de la pression électrostatique en question **3**, introduisant fréquemment des erreurs de facteur 2. L'orientation de la force électrostatique (attraction entre les armatures du condensateur) a souvent été occultée ou mal traitée, un certain nombre de copies associant sans doute le terme de 'pression' au fait que les armatures se repousseraient. A la question **3**, le raisonnement portant sur le champ subi par une plaque s'est souvent révélé incorrect.

4 – Question généralement bien traitée, indépendamment des questions **1**, **2** et **3**. L'expression du champ en tout point de l'espace a été dérivée correctement. L'application du théorème de Gauss

n'est néanmoins pas aussi automatique qu'on pourrait le penser (erreurs sur la surface d'une sphère). La question précisait de calculer le champ électrique "à l'extérieur de la goutte", ce qui parfois été omis. Déduire la pression de la question précédente s'est révélé délicat en raison des nombreuses erreurs de facteurs observées à la question **3**.

5 – Si le point de départ du raisonnement (compétition entre force de cohésion et force électrostatique) a été généralement bien posé, on voit apparaître un certain nombre d'erreurs de calculs dans l'expression finale pour la charge limite.

6 – Un nombre significatif de copies met en avant la relation $\mathbf{E} = -\text{grad}(V)$ comme équation permettant de définir le potentiel électrostatique V . Un argument de continuité du potentiel électrique à la surface du cône est très fréquemment mis en avant, mais beaucoup moins souvent celui d'un potentiel uniforme à la surface du liquide conducteur, qui n'a pas souvent été traité comme un métal. Des commentaires surprenants ont pu être lus, comme « pour un liquide conducteur, le champ s'annule à sa surface ».

7, 8 – Relativement peu de réponses correctes pour la proportionnalité de E avec $r^{-1/2}$, et par conséquent pour la valeur de δ . Des résultats conduisant à un champ électrique croissant avec le rayon r ne semblent pas surprendre les candidats.

9 – Question délicate en l'absence d'expression fournie pour le Laplacien en coordonnées sphériques. En particulier, une valeur erronée de δ (question précédente) a pu entraîner des raisonnements hors de propos ($\delta=0$ par exemple). Des tentatives d'argumentations de séparations de variables ont souvent été avancées, sans convaincre.

10 – La question revenait à prendre en compte le fait que le potentiel électrostatique est constant sur le cône. Cette question, qui dépendait donc de la question **6**, a posé des difficultés.

11 – Les réponses mettent en avant plus ou moins clairement la divergence du champ électrostatique – et donc de la densité surfacique de charge – lorsque le rayon tend vers 0. Un certain nombre de copies cherche toutefois à caractériser une densité volumique de charges au sein du liquide conducteur, dans l'optique d'expliquer la formation des gouttelettes chargées. Des problèmes de cohérence avec la question **7** sont notables.

12 – Les candidats traitent fréquemment cette question soit pour la force électrostatique ($q\mathbf{E}$) soit pour la force de Lorentz ($q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$) mais pas systématiquement pour l'ensemble des forces. On a vu plusieurs fois des divisions par des vecteurs dans l'expression de m/q . Un certain nombre de candidats a évoqué, dès cette question, la pulsation cyclotron, donnant son expression.

13 – Si le caractère entier de z n'a pas posé de problème, l'interprétation du graphe a été plus difficile. Il ne s'agissait pas de commenter l'ordonnée du graphe (variation de l'intensité détectée) mais les écarts entre pics à associer à des variations unitaires de charge des molécules. Un certain nombre de copies traitent toutefois cette question avec brio.

14 – Question généralement bien traitée. Différents dispositifs ont pu être considérés, dès lors qu'ils visaient à établir un champ uniforme (le cas d'une unique spire de courant n'était pas pertinent). Le cas des bobines de Helmholtz a souvent été évoqué. Beaucoup ont dessiné le dispositif.

15, 16 – Questions bien traitées. Certains candidats cherchent à la question **16** à résoudre les équations du mouvement (non demandé) sans se laisser guider par le sujet qui demandait uniquement une équation (différentielle) pour le mouvement. Rien ne demandait de tenter d'intégrer l'équation à ce stade mais beaucoup ont réutilisé les expressions intégrées dans les questions suivantes.

17, 18 – Questions généralement bien traitées. La force de frottement fluide a été très fréquemment rapprochée de son utilisation dans le modèle de Drude pour la conduction électrique dans les solides. De nombreuses copies s'affranchissent partiellement de la notation complexe ici pour écrire en cos et en sin.

19 – Les erreurs observées découlaient souvent de problèmes de préfacteurs à la question **17**, ou de problèmes de passage en notation complexe, et auraient ici pu être souvent évitées par un examen de l'homogénéité de $Z_0(\omega)$. Même quand l'équation du mouvement a été correctement établie, de nombreuses erreurs de calculs ont été introduites dans la détermination de l'amplitude.

20 – La condition de résonance $\omega \sim \omega_0$ a été facilement traitée, mais moins aisément pour la largeur $\sim 1/t$ de la résonance. On a pu observer une grande disparité dans la manière de traiter cette question. Dans certaines copies, le phénomène de résonance est exhibé en deux lignes ; dans d'autres après de longs calculs surtout quand l'hypothèse t grand n'est utilisée qu'en toute fin.

21 – La proportionnalité de ω_0 à z et B (et donc la nécessité d'augmenter z et B) a été généralement mise en avant. Quelques copies argumentent la nécessité d'augmenter ω_0 vis-à-vis de la largeur de résonance (augmentation du facteur de qualité en supposant t indépendant de la fréquence).

22 – Question difficile. Un certain nombre de copies expriment $E_x(t)$ sous forme complexe, mais manquent d'en faire un champ tournant sur les directions E_x et E_y . La compréhension de cette question influait sur la réponse à la question **24**.

23 – Question généralement bien traitée mais quelques confusions néanmoins : il a été proposé de faire tourner le condensateur sur lui-même. Plusieurs copies ont fait mention d'une lumière polarisée. Des confusions entre champ électrique et champ magnétique ont pu être observées.

24 – La composante utile en $qE/2$ issue de la question **22** a souvent été manquée.

25 – Question plutôt bien traitée dès lors qu'elle a été abordée, et sans prendre en compte l'erreur de facteur 2 à la question précédente. Au final, très peu ont avancé un raisonnement dimensionnel pour obtenir E/B .

26 – Des graphes corrects ont pu être fréquemment proposés, y compris dans le cadre d'une compréhension intuitive. Le sens de rotation attendu de la spirale n'a pas toujours été adéquat. Les rôles respectifs des champs **E** et **B** ont été bien compris et formulés.

27 – Question généralement bien traitée.

28 – Une part significative des copies fait le lien entre **B** et la mesure de la pulsation ω_0 (dans le but de mesurer m/z), au-delà de raisonnement portant sur l'allure des trajectoires.

29, 30 – Question généralement bien traitée, toutefois un peu moins pour l'expression de $m_{\max}$. Des erreurs dans les expressions, avec R au lieu de kB , sont notables.

31 – Question généralement sans difficulté pour les candidats l'ayant abordée.

32 – Quelques erreurs ont porté sur le signe de champ vis-à-vis du potentiel électrostatique. La nullité de la divergence de **E** n'a pas toujours été invoquée pour déterminer b . On apprécierait que les simplifications soient effectuées par les candidats.

33 – Question généralement bien traitée. Les erreurs de signe entraînent des équations dont les solutions sont exponentielles, mais parlant d'oscillations malgré tout.

34 – Les candidats n'ont pas souvent exprimé ici l'équation en fonction de ω_p . On a remarqué beaucoup de facteur 2 manquants. La charge électrique a été régulièrement oubliée dans l'expression de la force.

35, 36 – Questions relativement bien traitées, les candidats n'effectuant toutefois pas systématiquement de développement limité dans la limite $\omega_p \ll \omega_0$, ou se contentant d'une expression à l'ordre 0 à la question **35**. L'indépendance de la pulsation lente de résonance par rapport à m/q a été facilement trouvée, lorsque les candidats ont traité de la question **36**. La recherche des racines d'un polynôme de degré 2 et le développement limité des solutions ont très souvent été entachés d'une erreur de calcul menant par exemple à des pulsations négatives ou bien complexes.

37, 38 – Question **37** plutôt mal traitée, et ceci de manière surprenante, vu qu'il s'agissait d'une question proche d'une question de cours. Un florilège de propositions surprenantes a pu être observé : potentiel vectoriel, signe « - » dans le potentiel, potentiel V_i dépendant de produits $q_i q_j$, distances exprimées non pas entre les charges i et j , mais par rapport à une origine fixe, dépendances autres qu'en $1/r$ pour la loi de Coulomb. Ces erreurs se répliquaient bien sûr sur la question **38**, même dans le cas où la symétrisation des expressions obtenues était compatible avec cette question. **38** - Certains ont vu qu'il faut exclure les termes $i \neq j$ de la somme et ont cru bon de mettre tous les termes $i = j$ dans une somme séparée contenant exclusivement des termes infinis.

39 – Question moyennement bien traitée, même s’il s’agissait surtout d’une question d’homothétie au vu de la linéarité du potentiel entre les armatures du condensateur. Des problèmes de signes récurrents sont notables.

40 – Cette question a pu être bien traitée (au signe près).

41 – L’argument d’encombrement spatial pour choisir l’axe y plutôt que l’axe x a été relativement fréquemment mis en avant.

42 – Le théorème de Shannon a été souvent mentionné, mais l’application numérique moins convaincante du fait du choix opéré pour $(m/z)_{\min}$, souvent trois ordres de grandeur trop faible.

43 – Le lien n’a pas toujours été fait avec la question **40**, même si celle-ci avait été traitée correctement.