

Coefficients de l'épreuve (en pourcentage du total d'admission, modifiés pour tenir compte de l'absence d'oraux pour les ENS à la session 2020) :

- ENS Paris-Saclay : MP option MP (21,3 %)
- ENS Lyon : MPI option MP (27,6 %) - Info option P (25,8 %)
- ENS Paris : MP option MP (32,4 %) - MP option MPI (21,6 %)
- ENS Rennes : MP option MP (21,1 %)

Composition de physique – Filière MP (XULCR)

Le sujet consistait en l'étude de la possibilité de piéger une sphère diélectrique à l'aide d'un faisceau laser pour constituer une pince optique. La première moitié du problème (parties I, II, III) se concentrait sur l'analyse du faisceau laser. Le formalisme de Fourier était introduit en préambule et appliqué dans le cadre de l'étude de la limitation transversale du faisceau et ses conséquences. Enfin le cas d'un faisceau gaussien était abordé. La seconde moitié (parties IV et V) portait sur la réponse de la bille diélectrique au champ électrique environnant puis l'interaction de cette bille avec le faisceau laser pour conclure sur la possibilité d'un équilibre mécanique stable. Bien que les différentes parties dépendent les unes des autres, beaucoup de candidat.e.s qui n'avaient pas traités complètement la première moitié ont pu reprendre le cours du problème au niveau de la question 15. La grande majorité des candidat.e.s ont traité le problème jusqu'à la fin de la partie IV ; le spectre des questions traitées par les candidat.e.s s'est révélé particulièrement homogène.

Les notes des candidats se répartissent de la façon suivante :

$0 \leq N < 4$	78	4,96%
$4 \leq N < 8$	283	17,98%
$8 \leq N < 12$	700	44,47%
$12 \leq N < 16$	445	28,27%
$16 \leq N \leq 20$	68	4,32%
Total	1574	100%
Moyenne	10,25	
Ecart-type	3,51	

Avant de détailler les différentes questions, nous souhaitons faire quelques remarques générales.

1. Un bon nombre de questions comportent des sous-questions et beaucoup de candidat.e.s se privent de points en ne traitant qu'une des questions.
2. Les questions dont le résultat est donné dans l'énoncé font l'objet d'une correction particulièrement attentive et il est primordial de justifier le raisonnement. Les pseudo-démonstrations qui partent d'une équation fautive pour parvenir au résultat juste sont évidemment sanctionnées.
3. Un nombre alarmant d'erreurs de calcul difficilement excusables a été observé. Quelques-unes sont mentionnées dans ce qui suit.
4. Les copies doivent être soignées. Une écriture illisible porte préjudice au candidat. Il est utile d'encadrer les résultats et primordial de numéroter chaque question traitée.

Remarques question par question :

- Q1 : le résultat étant donné dans l'énoncé, un traitement rigoureux était attendu, ce qui a été assez largement le cas. On a cependant constaté que la variable d'intégration était parfois "sortie" de l'intégrale.
- Q2 : trop de candidat.e.s s'efforcent de re-démontrer la résolution des équations différentielles du second ordre et le font mal. Les constantes d'intégration ne sont a priori pas réelles comme cela a pu être écrit. Leur dépendance en α n'a pas toujours été remarquée et elle n'est en aucun cas factorisable.
- Q3 : les termes "amplitudes", "vecteur d'onde", "polarisation", "fréquence" ont des définitions précises qui doivent être respectées et utilisées à bon escient. Une confusion entre vecteur d'onde et polarisation a été souvent observée.
- Q4 : un nombre satisfaisant de copies a mentionné une onde évanescence.
- Q5 : application directe des formules données dans l'énoncé.
- Q6 : de fréquentes confusions entre l'approximation de Gauss et de l'optique géométrique ont été observées ainsi qu'entre le phénomène d'interférence et celui de diffraction. On a pu lire "On est dans les conditions de l'optique géométrique, donc on peut observer un phénomène de diffraction".
- Q7 : de nombreuses erreurs sur cette question, notamment du fait d'expressions incorrectes de la fonction \sin en fonction des exponentielles complexes. Le tracé de la courbe a été peu soigné. La limite en 0 de $\sin(x)/x$ n'est pas 0. On a pu lire des dissertations sur le caractère C^∞ de la fonction suivies d'une représentation discontinue en 0. Une dépendance erronée en t a parfois été ajoutée à la fonction $A(\alpha)$.
- Q8 : un certain nombre de copies où la question 7 était fautive ont néanmoins trouvé la bonne valeur pour la première annulation. Si un résultat connu du cours, en contradiction flagrante avec un calcul effectué dans la copie, est utilisé, il est indispensable de le préciser au correcteur. Le maximum dans la direction $\theta = 0$ a souvent été oublié.
- Q9 : il était tout à fait admissible de répondre à cette question par un dessin.
- Q10 : il est assez régulièrement arrivé que dans des copies où $A(\alpha = 0) = 0$ à la question 7, on lise que la direction correspondant à $\theta = 0$ soit un maximum.
- Q11 : les informations données en préambule ont été bien utilisées pour obtenir le résultat correct à cette question.
- Q12 : les deux expressions asymptotiques n'étaient pas toujours correctes et les courbes obtenues parfois très tourmentées. Peu de candidat.e.s ont pris la peine d'exprimer l'angle de divergence du faisceau.
- Q13 : le tracé des courbes a souvent été trop approximatif pour qu'il soit possible de juger la différence de largeur de la gaussienne entre les deux cas considérés.
- Q14 : cette question a été peu abordée et beaucoup de candidat.e.s sont directement passés à la question 15 sans prendre la peine d'effectuer les applications numériques. Certain.e.s candidat.e.s, après quelques lignes de calcul, sautent directement aux conclusions demandées par l'énoncé sans que les liens logiques soient réellement établis.
- Q15 : une majorité des candidat.e.s n'a traité que la moitié de la question, négligeant l'application numérique. Trouver $w_0 \approx 10^{-18} \text{ rad.s}^{-1}$ doit amener à s'interroger. Le calcul en lui-même, lorsque l'expression du volume d'une sphère

était correctement exprimé, a été assez bien mené, mais pas toujours avec le niveau de détail souhaitable.

- Q16-18 : Il faut comparer des quantités de même dimension, il a souvent été lu $B \ll E$. Invoquer une grande différence d'ordre de grandeur des masses entre le noyau et l'électron n'est pas suffisant si l'on ne remarque pas que la norme de la force est identique pour les deux.
- Q19 : les correcteurs ont vu avec stupeur d'innombrables erreurs de calcul (plus de la moitié des cas) provenant d'une division par la masse de l'électron effectuée d'un seul côté de l'égalité, conduisant à une expression inhomogène. Une erreur d'homogénéité propagée aux questions suivantes représente une perte importante de points, un résultat non-homogène ne pouvant être considéré comme valide. De plus, malgré le passage en revue des forces subies par l'électron dans les questions précédentes, une des forces a souvent été oubliée.
- Q20 : le passage au régime sinusoïdal forcé a trop souvent donné lieu à l'oubli du signe négatif du terme $-i\omega t$.
- Q21-22 : l'accumulation des erreurs au cours des questions précédentes a fait que ces questions n'ont pas eu un très grand taux de réussite.
- Q23-24 : ces questions ont été plutôt bien traitées.
- Q25-26 : lorsqu'elles ont été abordées, ces questions ont été traitées correctement dans plus de la moitié des cas. La question sur le sens de la force a souvent été ignorée.
- Q27 : la justification du calcul dont le résultat était donné était souvent insuffisante. Le vecteur $(\vec{\delta} \cdot \vec{\nabla})\vec{B}$ n'a aucune raison d'être colinéaire à $\vec{\delta}$.
- Q28 : cette question a été traitée dans moins de la moitié des copies mais dans la majorité des cas de façon satisfaisante. Des facteurs 2 ont malheureusement été perdus en cours de route.
- Q29 : les calculs ont été dans l'ensemble bien justifiés.
- Q30 : cette question a été très peu abordée et le facteur numérique dans l'expression de \vec{F}_d était faux dans l'immense majorité des cas.
- Q31 : moins du quart des candidat.e.s a abordé cette question. Pour étudier la stabilité, la plupart des candidat.e.s ont considéré la valeur de la force au niveau de la position d'équilibre, et trouvé trivialement zéro. Ce résultat ne permet évidemment pas de conclure sur la stabilité de l'équilibre. Pour cela, il faut s'assurer que la force ramène la bille vers la position d'équilibre - ou de manière équivalente, que l'énergie potentielle est minimale, et non maximale. Lorsque le raisonnement était correct, la condition de la stabilité n'a pratiquement jamais été ramenée à une comparaison des valeurs des indices.
- Q32 : question très peu traitée et la réponse était souvent une reformulation de la question.
- Q33-37 : moins de 10% des candidat.e.s ont abordé ces questions, en essayant souvent de répondre au hasard.