

harmonique, d'utiliser cette expression pour déterminer l'équation d'ondes se propageant dans le milieu et la relation de dispersion associée. La plupart des candidats n'a pas eu de difficultés sur cette question. Néanmoins, le jury souhaite souligner le fait que certains candidats sont dans l'incapacité de donner les équations de Maxwell sans erreur.

Question 13 : Question assez facile et largement réussie par les candidats.

Question 14 : Cette question, qui nécessitait un raisonnement sur l'interface entre deux milieux, a été peu abordée. Des éléments de réponse qui allaient dans le bon sens ont été valorisés lors de la correction des copies.

Question 15 : Beaucoup de candidats font des erreurs grossières dans l'expression du déphasage, alors qu'une analyse aux dimensions aurait pu permettre de détecter une éventuelle erreur d'homogénéité.

Question 16 & 17 : Ces deux questions ont été très peu abordées. Les rares candidats qui ont proposé des éléments de réponse ou des pistes de réflexion satisfaisantes ont été récompensés.

Question 18 : Beaucoup d'erreurs sur cette question. La définition du gaz parfait est parfois méconnue. L'utilisation de l'équation du gaz parfait n'était pas attendue ici, mais plutôt une analogie avec la détente de Joule-Gay-Lussac ou l'utilisation du premier principe.

Question 19, 20 & 21 : Questions peu abordées et dans la majorité des cas les réponses proposées par les candidats étaient fausses.

### 2.2.2. Physique II — MP

#### Remarques générales

Le sujet traitait de l'atome de deutérium (ou hydrogène lourd) et de son noyau, le deuton. Il comportait 33 questions réparties sur trois parties totalement indépendantes, la première étant une introduction aux rapports de masse, assez courte (4 questions), et représentant environ 10 % du barème. La deuxième partie proposait une étude classique de l'atome de deutérium, pour une description spectroscopique et représentait environ 30 % du barème (9 questions). La troisième partie décrivait, en mécanique quantique, certaines propriétés du deuton et comptait pour 60 % du barème (18 questions).

L'épreuve se déroulait sans calculatrice, exigeant de la part des candidats une gestion pertinente des calculs, la précision n'étant pas l'exigence première attendue (tous les résultats étaient demandés au mieux avec deux chiffres significatifs).

Les applications numériques demandées représentaient 13 % du barème, les questions d'applications directes de cours un peu plus de 11 % et les questions de culture scientifique un peu moins de 7 %.

Les différentes questions de l'épreuve ont été toutes abordées, seules les questions 32 et 33 n'ayant pas trouvé de réponses complètement satisfaisantes.

Les questions de cours ont souvent reçu des réponses non construites ou de simples affirmations.

Les applications numériques ont donné lieu à une très grande dispersion des résultats, mettant en évidence un manque de pertinence à de nombreux candidats.

L'indépendance des trois parties a fait que nombre de candidats sont passés d'une partie à une autre, sans jamais en finir aucune : ils ne peuvent espérer recevoir une note gratifiante.

Le jury a relevé une proportion non négligeable (au moins 25 % des copies), pour laquelle la présentation et/ou l'écriture sont négligées : ces candidats se sont trouvés, tout naturellement, sanctionnés.

### Remarques particulières

#### Partie I :

Aucune connaissance disciplinaire n'est requise pour cette partie qui demandait une lecture attentive du sujet et une compréhension des questions posées.

**Q1 :** Les candidats qui ont donné sans raisonnement ni explications une expression non simplifiée du type  $2/6420$  ont été sanctionnés.

**Q2 :** Les candidats qui ont donné une réponse numérique avec plus de deux chiffres significatifs (comme 99,97 %) n'ont pas été sanctionnés, mais 0,99 est une réponse fausse.

**Q3 :** question non comprise par la majorité des candidats (12 % de bonnes réponses pour 2 candidats sur 3 qui ont abordé la question), même pour ceux qui ont suggéré avec pertinence une répartition aléatoire des atomes de deutérium. La proportion de HDO en molécules est de  $2/6420$  et celle de D<sub>2</sub>O de  $1/6420^2$ . Une proportion de 1 pour 2 a été trop souvent proposée.

**Q4 :** question de culture scientifique qui a apporté les résultats les plus décevants de toute l'épreuve, voire même permis de constituer un bêtisier à elle seule ! Un peu moins de 50 % des candidats l'ont abordée, et pour ceux-ci, moins de 20 % ont proposé une réponse pertinente. Beaucoup confondent visiblement l'eau lourde avec l'eau oxygénée comme le suggèrent le nombre d'applications à la coiffure et la coloration des cheveux que le jury a pu lire, sans même parler de « l'eau de Lourdes » aux propriétés miraculeuses. Grande confusion entre fission et fusion également ...

Nous rappelons aux candidats qu'il n'est pas à leur avantage de répondre à la question juste pour donner une réponse, souvent infondée, voire fantaisiste, ce qui donne une impression défavorable à l'ensemble de la copie.

#### Partie II :

Cette partie portait principalement sur le programme de deuxième année, traitant des thèmes de propagation, de composition des vitesses par changement de référentiel, du facteur de Boltzmann, de l'effet Doppler (aucune connaissance sur ce thème n'était demandée) et de spectroscopie.

**Q5 :** La seule connaissance requise est la relation  $E_n - E_2 = hn$  vue en première année. Même avec une expression littérale correcte pour  $l_n$ , peu d'AN pertinentes ont été proposées. La quasi-totalité des candidats ne sait pas que la série de Balmer est dans le visible.

Ici encore, la pertinence est attendue. On a pu lire des valeurs allant de  $10^{-42}m$  à  $10^{+73}m$ .

L'erreur la plus fréquente a été d'écrire directement  $E_n = \frac{hc}{l_n}$

**Q6 :** Question de calcul demandant un simple DL1 qui a souvent posé problème aux candidats.

De nouveau, un peu de pertinence : le sujet suggère une expression du type  $d ; - \frac{m_e}{km_p}$ , où  $k$  est un entier, sous-entendu... entier naturel bien sûr. Nombre de candidats ont proposé  $k < 0$  sans se poser la question de la validité de leur résultat. Pour ce qui était de l'identification spectroscopique, il ne suffisait pas de constater que delta était faible, il fallait dire ce que l'on pensait de la faisabilité de distinguer ainsi les isotopes.

**Q7 :** Question qui a apporté de nombreuses mauvaises réponses, parfois par omission d'un terme, souvent  $dOO'/dt$  (rendant le calcul suivant incohérent), mais plus fréquemment par confusion entre  $OM$  et  $O'M$ . Les candidats qui ont simplement écrit  $v = v' + v_e$ , sans expliciter ce que signifie  $v_e$  ont été sanctionnés. Des erreurs auraient pu être évitées par vérification de l'homogénéité de la relation donnée.

Rappelons toutefois que le programme en vigueur en filière MP/MP\* précise que la loi de composition des vitesses n'est envisagée que dans le cas d'une translation, et dans le cas d'une rotation uniforme autour d'un axe fixe.

**Q8 :** Question sans difficulté, mais qui demandait un minimum de rédaction : du genre, préciser le mouvement de translation du référentiel  $K'$  par rapport à  $K$ .

**Q9 :** Question de cours qui n'exigeait pas de démonstration (simplement demandé « Quelle est... »). Cependant, les candidats qui ont simplement répondu « relation de dispersion » sans donner la relation entre,  $k$  et  $\omega$  ont été pénalisés, comme ceux qui ont juste donné  $\omega = kv_f$ , sans préciser ce que valait la vitesse de phase.

**Q10 :** Question sans difficulté. On a pu lire de trop nombreuses erreurs de signe.

**Q11 :** Question de cours sur le facteur de Boltzmann, qui semble méconnue de trop nombreux candidats. L'approche par l'analyse dimensionnelle ne permettait pas de trouver le facteur  $\frac{1}{2}$  attendu.

**Q12 :** Question qui a donné lieu à de bien curieuses gaussiennes, alors que la forme était indiquée dans le sujet. L'erreur la plus fréquente a été le schéma avec point anguleux à l'origine, et tangentes non horizontales. Pour cette question comme la question 14, nous rappelons qu'il est indispensable de légèrer les axes.

**Q13 :** Question de calcul sans difficulté qui supposait d'avoir la bonne expression pour  $a$ , mais aussi de savoir ce que signifiait « point d'inflexion ». Cette question a été assez discriminante. À noter des

résultats obtenus en « oubliant » (?) la racine carrée, dont le défaut d'homogénéité aurait dû attirer l'attention des candidats ayant quelques souvenirs (vitesse quadratique...).

**Q14 :** Question souvent incomprise, les candidats se contentant de reproduire le graphe de la question 12 avec  $v$  en abscisse et  $w_{app}$  en ordonnée. D'autres ont oublié de préciser sur quelle valeur de  $w_{app}$  la gaussienne était centrée.

**Q15 :** encore une question avec AN qui a conduit à des valeurs particulièrement absurdes ! De  $T < 0$ , à  $10^{-47} K$  ou  $10^{14} K$ . Le pire reste le commentaire du candidat qui cherche absolument à justifier de telles réponses.

### Partie III.

Cette partie portait sur la physique quantique, au départ sur les caractéristiques de l'équation de Schrödinger, puis proposait une modélisation de l'interaction neutron-proton dans le noyau du deuton avec une énergie potentielle constante par morceaux.

À : *Autour de l'équation de Schrödinger.*

**Q16 :** Question de cours, classique. Dans leur très grande majorité, les candidats connaissent la relation de Planck – Einstein, mais bien peu savent la justifier.

**Q17 :** Question calculatoire qui demandait rigueur, clarté et compréhension, et qui de ce fait, a été grandement discriminante. Il ne suffisait pas d'invoquer la « séparation des variables » pour justifier les deux équations fournies, encore fallait-il réécrire l'équation de Schrödinger sous forme séparée. C'est l'occasion de rappeler aux candidats qu'un « donc » remplaçant opportunément une étape cruciale du raisonnement ne fera pas illusion. Ceux qui ont proposé une valeur à la constante numérique  $C$  n'ont pas bien compris le calcul.

**Q18 :** Question de type « Savoir extraire de l'information ». Tout était donné. Les erreurs les plus fréquentes viennent de l'oubli de la racine carrée dans le moment cinétique  $s = \hbar\sqrt{C}$ . L'identification de l'énergie potentielle effective n'a pas posé de problèmes, contrairement à celle de l'énergie cinétique radiale.

**Q19 :** Question sans difficulté qui a donné lieu à de très nombreuses bonnes réponses.

**Q20 :** Même type de question que la Q17 qui demandait les mêmes exigences de clarté, rigueur et compréhension. Notons une difficulté supplémentaire, liée au choix du sujet pour les notations des fonctions  $Q(q)$  et  $F(j)$ , mais qui ne semble pas avoir trop perturbé les candidats.

Les erreurs les plus fréquentes venaient d'une équation en  $F$  dépendante de  $q$ .

**Q21 :** Question souvent mal interprétée, ou mal comprise, avec des conclusions peu pertinentes. Peu nombreux sont les candidats qui ont compris la périodicité de  $2p$  de la fonction  $F$ . La dépendance de

F vis-à-vis de l'entier relatif  $m$  a souvent été improprement justifiée par la quantification de la fonction  $F$ .

**Q22 :** Question abordée par un moins de 50 % des candidats, et quand abordée, très peu réussie (5 %). Elle demandait d'avoir la bonne équation en  $Q$  avec Q20, d'avoir compris l'approximation de l'énoncé et de calculer avec rigueur.

Aucun candidat mis à part quelques exceptions ne connaît le résultat  $s = h\sqrt{1(1 + 1)}$ .

*B : Énergie de liaison du deuton.*

**Q23 :** Question de cours qui demandait, pour se voir attribuer la totalité des points, d'explicitier  $k$ ,  $K$ , et justifier le fait que  $R(0) = 0$  ( $y$  doit être bornée) et  $\lim_{r \rightarrow \infty} R(r) = 0$  ( $y$  normalisable).

Ici encore, précision, clarté et rigueur étaient attendues, trois conditions qui ont été fort heureusement réunies dans de nombreuses copies.

**Q24 :** Question de cours : deux conditions étaient attendues, l'une sur la continuité en  $r = a$  de  $y$ , qui conduisait à la continuité en  $a$  de  $R$ , et aussi la continuité en  $a$  de  $y'$  (potentiel de profondeur finie) qui conduisait aussi à la continuité de  $R'$ .

**Q25 :** Question classique qui a été vue en cours dans le cadre du potentiel de profondeur finie. De nombreux résultats non pertinents qui laissent les constantes  $A$  et  $B$  en relation avec  $X$ ,  $Y$  et  $r$ .

De nombreuses erreurs de signe sur la relation attendue  $X^2 + Y^2 = r^2$ . Ici encore, des résultats non homogènes auraient dû être repérés par les candidats.

**Q26 :** Question peu réussie (5 %), pourtant abordée par un tiers des candidats. La fonction

$\cotan(X) = \frac{1}{\tan(X)}$  reste bien mystérieuse pour la plupart des candidats, et tracer le graphe de

$-\frac{X}{\tan(X)}$  relève de la magie. Question discriminante pour le moins qui a permis de mettre en valeur

les meilleures copies.

**Q27 :** Suppose d'avoir correctement traité la question 26. Peu de valeurs exactes pour  $V_{\min}$  ont été proposées (8 % sur les 25 % des copies qui ont abordé la question). Quelques tentatives par homogénéité, mais sans le bon facteur numérique.

**Q28 :** Question encore moins abordée (10 % des copies) que la Q27. Suppose d'avoir compris comment utiliser la question 26 et d'avoir tracé convenablement le graphe de  $-\frac{X}{\tan(X)}$ . Souvent un oubli du carré de 3 dans l'expression de  $V_{\max}$ .

**Q29 :** La première partie de cette question est triviale. Très peu de valeurs pertinentes proposées pour  $V_{\min}$  et encore moins  $V_{\max}$ .

**Q30 :** Question très rarement abordée (7 % des copies) qui suppose une compréhension des calculs menés jusqu'alors.

**Q31 :** Question encore moins abordée que la précédente.

**Q32 :** Question traitée par 2,5 % des candidats avec un peu moins de 10 % de réussite, peut-être parce que la relation donnée dans le sujet n'était pas correcte. Le point de départ est de comprendre que  $X$  est

proche de  $p/2$  et poser  $X = \frac{p}{2} + e$ , qui conduit, en se limitant au terme d'ordre 1 en  $e$ , à

$$Y = \frac{pe}{2}, \text{ soit } e = \frac{2a}{ph} \sqrt{-2mE_d}.$$

**Q33 :** Pratiquement aucune AN pertinente, alors que l'expression littérale était donnée à la question précédente. La gestion des calculs « à la main » reste un problème insurmontable pour la très grande majorité des candidats. Question traitée par un plus de 5 % des copies, avec seulement moins de 5 % de réponse satisfaisante.

### Conseils aux candidats

D'un point de vue général, rappelons les conseils de base pour la rédaction d'une copie :

- soignez la présentation (elle donne la première impression générale), par exemple, séparez les différentes questions par un trait horizontal),
- vérifiez la grammaire, l'orthographe, et formez des phrases complètes,
- évitez en général les abréviations et absolument celles qui ne sont pas explicitées,
- soulignez ou encadrez proprement tous les résultats littéraux et numériques demandés,
- respectez toujours les notations de l'énoncé,
- vérifiez l'homogénéité des formules littérales,
- vérifiez toujours deux fois chaque application numérique, et n'oubliez pas de préciser leur unité (et la bonne),
- ne donnez jamais un résultat numérique manifestement faux,
- légendez les axes. Indiquez les valeurs, tangentes ou asymptotes en quelques points pertinents.

Au début de l'épreuve :

- lisez entièrement le sujet pour voir de quoi il retourne : repérez les parties indépendantes et les questions isolées,
- divisez votre temps entre les différentes parties et préparez vos brouillons (un brouillon doit être tenu le plus proprement possible).

Remarques sur le fond :

Pour répondre à des questions s'appuyant sur des documents, il ne s'agit pas de chercher dans ceux-ci des informations qu'il suffirait de recopier directement, il s'agit d'utiliser les informations pertinentes dans un raisonnement mobilisant les connaissances et compétences disciplinaires. En contre-exemple, supposer que l'eau lourde est utilisée en médecine parce que la photographie montre des ampoules d'échantillons historiques relève d'une association d'idées pour la moins hasardeuse (et en l'occurrence erronée).

Les candidats gagneraient à adopter une méthode et une stratégie dans leur réflexion. Ne jamais commencer un calcul sans savoir où il va mener. Dans cette même ligne, il est important de traiter le sujet par bloc complet et non dans une approche de grappillage de points, car une évolution sur une même partie est valorisée.

Pour finir : ne gâchez pas les points dès les premières questions.