

2 Physique

2.1 Remarques générales

Les encres pâles sont encore fréquentes, et un nombre croissant de candidats a obligé les correcteurs à utiliser la loupe tant leur écriture est minuscule.

Une présentation soignée (écriture nette, absence de ratures, résultats encadrés) dispose très favorablement le correcteur. Les correcteurs sont étonnés par le manque de soin ; beaucoup de copies ressemblent plus à un brouillon qu'à une épreuve de concours.

Il est indispensable de travailler en profondeur le cours de première et de deuxième année, de connaître les théorèmes avec leurs hypothèses.

Il est important que les candidats lisent l'énoncé et répondent à la question qui leur est posée.

Les candidats ne devaient pas se contenter de réponses superficielles et devaient produire des raisonnements construits et étayés. Les réponses à certaines questions nécessitaient un bon sens physique, une certaine autonomie et de la rigueur pour poser le problème correctement et y répondre par une modélisation précise.

Les tentatives de bluff, moins nombreuses cette année, sont lourdement sanctionnées. On recommande de bien traiter une partie des questions plutôt que de produire un discours inconsistant pour chacune d'entre elles.

On a pu noter des lacunes importantes chez de nombreux candidats dans la maîtrise des outils mathématiques de base : projections dans une base, manipulations d'une base mobile, trigonométrie, écriture d'équations où un scalaire est égal à un vecteur. Il est demandé aux candidats de numéroter leurs copies de façon cohérente : les examinateurs apprécient assez peu de se voir confrontés à un jeu de piste.

Les abréviations sont pléthoriques, au point de rendre la lecture parfois difficile en raison de l'ambiguïté qui peut en résulter. On tient aussi à insister sur le soin apporté à l'orthographe. Il est inadmissible que des étudiants se destinant à être ingénieurs rendent des copies truffées de fautes. L'accord des masculins et féminins semble difficile pour certains. On ne compte pas les copies avec des « principe fondamentale de la dynamique ». Les pluriels, les accords de participes passés (quand ils ne sont pas transformés en infinitifs) ne sont hélas pas en reste. Et que dire de ces étudiants qui après une année de Spé parlent encore d'équations de « Maxwelle » ? L'orthographe est juste une question de concentration et d'exigence vis-à-vis de soi-même. Sur le fond, on rappelle qu'une application numérique donnée sans unité vaut 0 (et que le « S.I. » n'est en général pas admis), qu'une courbe dont la légende des axes n'est pas indiquée vaut aussi 0, que paraphraser la question n'a jamais fait office de réponse.

Des résultats donnés sans justification et sans la moindre rédaction ne peuvent pas être pris en compte. Rédiger consiste à faire une phrase complète, et donc on ne commence pas une réponse par « parce que ».

2.2 Physique 1 - filière MP

2.2.1 Généralités et présentation du sujet

L'épreuve portait sur les expériences de Jean Perrin menant à la détermination de la constante de Boltzmann. Le problème était décomposé en quatre parties en majeure partie indépendantes. Après une étude très proche du cours de l'équilibre isotherme d'une colonne de gaz, une étude mécanique de la chute des grains de gomme-gutte dans de l'eau sucrée, compensée par un courant de particules dû à la diffusion permet d'accéder par la répartition verticale des grains à la constante de Boltzmann. Une autre détermination de k_B est ensuite proposée par l'application du modèle de Langevin à l'étude du mouvement brownien et l'analyse des résultats obtenus par Jean Perrin d'une expérience de diffusion

de grains. La dernière partie, traitant d'optique géométrique, étudie la puissance du microscope utilisé lors de ces expériences.

2.2.2 Commentaires généraux

Le sujet, progressif et d'un niveau de difficulté adapté, a permis de classer efficacement les candidats, dont beaucoup ont pu montrer une bonne maîtrise des concepts et techniques abordés. Les meilleures copies ont été particulièrement brillantes et ont quasiment totalement traité le sujet proposé. Si le jury se félicite de voir une majorité de copies claires, aérées et de lecture agréable, il persiste à déplorer fortement ce qui lui semble relever, pour certains candidats, d'un manque de respect du correcteur. Ces rares copies (environ 2%), sont fortement pénalisées, perdant jusqu'aux deux points sur vingt dévolus dans le barème. Nous rappelons le minimum de présentation que les candidats, confrontés depuis le collège aux demandes de leurs professeurs, devraient respecter : les résultats s'encadrent, les applications numériques se soulignent, les questions se suivent, leurs numéros sont rappelés. Encore trop de copies ressemblent plus à un brouillon qu'à une épreuve de concours. De trop nombreux candidats, partant d'une équation différentielle dont les signes sont erronés, arrivent cependant à la bonne exponentielle décroissante. Si le jury apprécie leur sens physique, il ne peut que sanctionner l'entourloupe mathématique : mieux vaut alors consacrer un peu de temps à rechercher son erreur, ou signaler le problème que de compter sur l'inattention du correcteur. Les applications numériques sont explicitement demandées avec un chiffre significatif, certains candidats en fournissent quatre... et encore trop ne tentent même pas de répondre. Il est indispensable de s'entraîner durant l'année à traiter ces questions, bien valorisées. Les unités sont parfois fausses, ou absentes, ce qui évidemment enlève toute valeur à la réponse fournie par le candidat : écrire par exemple « $\tau = 10^{-8}$, donc le retour à l'équilibre est très rapide » ne peut pas être accepté.

2.2.3 Analyse détaillée des questions

Q1 - De bien trop nombreux étudiants ont des problèmes d'unités dans la relation des gaz parfaits (universellement connue des candidats). Le volume d'une sphère n'est pas toujours connu. Seulement environ un quart des candidats aboutissent à l'estimation du rapport demandé.

Q2 - Plusieurs définitions, macroscopiques et microscopiques du gaz parfait ont été acceptées. Bien souvent, la justification de l'adoption de ce modèle est absente de la réponse fournie : « Donc le modèle est adapté » n'est évidemment pas un argument recevable.

Q3 - L'énergie potentielle a parfois été affublée d'un signe moins, son origine n'a quasiment jamais été précisée. Il n'est pas rare de voir des confusions entre les interprétations microscopiques (agitation thermique, collisions) et macroscopiques (poussée d'Archimède, pression). Visiblement certains candidats ont assimilé les atomes du gaz aux grains étudiés par Jean Perrin.

Q4 - La masse volumique a été correctement déterminée dans une très grande majorité de copies. Certaines ne suivent pas la voie imposée par l'énoncé de l'étude de l'équilibre mécanique de la tranche d'air pour aboutir à l'équation différentielle sur $P(z)$ et sont donc sanctionnées.

Q5 - La valeur numérique classique de la distance caractéristique H ne semble pas connue des étudiants et ils n'exercent à cet égard aucun esprit critique. On lit souvent une hauteur de 8m, au grand désespoir des alpinistes. Par ailleurs, plusieurs candidats conservent le modèle gaz parfait pour étudier la variation de la pression dans l'eau. La détectabilité de la variation de pression est très rarement rigoureusement argumentée, on a fréquemment l'impression que le candidat répond au hasard à la question, et il n'est pas rare de voir une réponse manifestement en contradiction avec la valeur numérique de H trouvée précédemment.

Q6 et 7 - Questions bien traitées, quelques absences d'interprétation physique du facteur de Boltzmann.

Q8 et 9 - Bilan des forces exceptionnellement faux. Par contre l'obtention de l'équation différentielle a été à l'origine de nombreuses erreurs de signes (la définition par l'énoncé de $\vec{v} = -v\vec{e}_z$ n'y est probablement pas étrangère). Néanmoins, les étudiants ne semblent nullement troublés d'obtenir une solution divergente ou, au choix, une solution correcte mais en incohérence avec leur équation. Ils sont également nombreux à trouver une vitesse limitée négative alors que l'énoncé pose la vitesse comme une grandeur explicitement positive.

Q10 - De nombreuses copies écrivent la bonne relation (y compris en terme de signe) entre les vecteurs j_c et j_n , sans aucune justification, probablement guidées par l'obtention ultérieure d'une équation différentielle à solution convergente. Le reste de la question en découle souvent sans erreur.

Q11 - Bien traitée par les candidats ayant traité la question précédente.

Q12 - Des réponses souvent justes par homogénéité, mais sans le nécessaire passage par l'écriture de l'intégrale sur la hauteur de la colonne.

Q13 - L'exploitation d'une régression linéaire, la détermination du coefficient directeur avec une unité correcte est parfois confuse et l'identification avec H_b laborieuse, même si de nombreux candidats arrivent finalement au résultat.

Q14 - Bien peu de tentatives de réponses sur les causes expérimentales d'erreur, encore moins contenant des causes plausibles.

Q15 - Souvent bien traitée, mais trop de copies ne justifient pas par la valeur numérique de la constante de temps que le mouvement s'atténue très vite (être face à une décroissance exponentielle n'est évidemment pas suffisant pour affirmer que celle-ci est rapide !)

Q16 - Bien réussie.

Q17 - Une réponse très fréquente a été « la vitesse quadratique est égale au carré de la vitesse ». Pour de nombreux candidats, évaluer une vitesse à une vitesse au carré ne semble pas poser de problème. Beaucoup de copies n'ont pas appliqué le théorème d'équipartition au cas particulier demandé, ce qui conduit à une erreur de facteur 3 dans le résultat.

Q18 - Question calculatoire bien réussie.

Q19 - Calculs bien menés par les candidats ayant traité la question. La justification de l'approximation linéaire est souvent menée sans les ordres de grandeur demandés par l'énoncé.

Q20 - Peu traitée, réussie si Q18 et Q19 réussies.

Q21 - Souvent les conditions de Gauss et leurs conséquences sont mélangées : le stigmatisme devenant une condition de Gauss et les rayons paraxiaux une conséquence.

Q22 - Question très mal traitée : le simple tracé des rayons est très souvent faux, sans parler du trajet du faisceau, très rarement tracé correctement. Très peu de candidats ont su utiliser l'indication « ressortant de L_2 afin de former une image à l'infini », impliquant que l'image intermédiaire se situait dans le plan focal de l'oculaire. Rappelons également qu'un rayon doit porter une flèche indiquant le sens de propagation, et qu'un tracé d'optique géométrique nécessite un minimum de soin et l'utilisation d'une règle de préférence.

Q23 - A donné lieu à beaucoup de calculs inutiles, souvent inaboutis ou non concluants. La confusion virtuelle/imaginaire est fréquente. De même qu'on peut fréquemment lire « l'image A1B1 est sur F2 ».

Q24 - La détermination de Pi est obtenue par un petit tiers des copies. La fin de la question n'est presque jamais traitée, très peu de candidats connaissent le pouvoir séparateur de l'œil.

2.2.4 Conseils aux futurs candidats

- La lisibilité d'une copie (écriture aérée, schémas et graphes annotés, syntaxe correcte et orthographe rigoureuse) donne le ton d'une copie, faisant montre d'une pensée claire, et prédispose favorablement le correcteur.
- Tout résultat littéral doit être soumis à une analyse dimensionnelle de la part du candidat, qui évitera ainsi de perdre les points précieux des applications numériques.
- Le jury invite les candidats à s'entraîner à effectuer les applications numériques au moins en puissance de 10, dans les conditions du concours. Les copies qui les négligent se privent ainsi d'un moyen éventuel de repérer une erreur dans la formule littérale proposée, ainsi que d'une grande partie des commentaires demandés par l'énoncé, et ont par conséquent beaucoup de difficultés à obtenir une note correcte.
- Lorsqu'une application numérique conduit à un résultat aberrant, il est appréciable de ne pas la laisser sans commentaire.
- Il convient d'attacher une grande importance à la rigueur avec laquelle sont traitées les questions dont les réponses sont fournies, le jury est évidemment à l'affût de tours de passe-passe qui ne rapporteront pas de points et donneront un éclairage défavorable sur le reste de la copie. Surveiller en particulier les signes, source de beaucoup d'erreurs.

2.2.5 Conclusions

L'épreuve a permis de réaliser une sélection satisfaisante des candidats tout en leur permettant de traiter un nombre important de questions. La majorité des étudiants maîtrisent le cours et les techniques mathématiques utiles pour traiter ce sujet, souvent la différence se fait sur la rigueur (absence d'erreurs de calcul), les applications numériques et les commentaires ou explications physiques.

2.3 Physique 2 - filière MP

2.3.1 Généralités et présentation du sujet

Le sujet, intitulé *Le marteau de Thor*, s'intéresse à divers aspects de la naine blanche LAWD 21.

Quatre parties le composent :

- Une courte introduction (c'est la seule partie à évoquer le marteau de Thor) s'intéresse à la masse volumique très élevée d'une naine blanche.
- Trois aspects du spectre de l'étoile naine sont abordés : une exploitation de documents sur les raies de Lyman ; le calcul de l'énergie de Rydberg dans le cadre du modèle de Bohr ; un exercice sur la loi de Wien et la température atmosphérique de la naine.
- L'étude de l'équilibre des pressions de dégénérescence quantique et gravitationnelle conduit à l'évaluation du rayon de la naine.
- L'état solide ou liquide de la naine, suivant qu'on se place à sa surface ou en son centre, est évalué en comparant l'amplitude des vibrations des noyaux d'atomes (considérés comme des oscillateurs harmoniques) à un seuil présenté comme le critère de Lindemann.

Les parties sont totalement indépendantes (sauf le résultat numérique de **Q9** qui est réinvesti).

Un ensemble de questions autonomes (**Q1**, **Q2**, **Q9**, **Q11**, **Q12**, **Q16**, **Q23**) exige de la culture scientifique générale, une bonne appropriation de l'énoncé (mettre en place des grandeurs physiques), des savoir-faire habituels (conversions, homogénéité des dimensions, applications numériques).

Quelques questions (**Q13**, **Q17**, **Q20**) relèvent d'une simple restitution du cours. Enfin, les questions **Q7**, **Q8** et **Q21** mettent essentiellement en oeuvre des compétences mathématiques simples (dérivation, recherche d'un extremum, calcul d'une série géométrique).

L'autre moitié des questions appelaient des raisonnements plus élaborés, traités en une question unique ou filés sur deux questions successives - à l'exception des questions **Q15** et **Q22** qui faisaient la synthèse de leurs parties respectives.

Ce sujet évalue les candidats sur un spectre varié du programme : mécanique, thermodynamique, physique statistique, électrostatique ; et sur ces savoir-faire : appropriation de l'énoncé, analyse de données expérimentales, conversions et calculs d'ordre de grandeur, analyse dimensionnelle.

2.3.2 Commentaires généraux

Le défaut de soin apporté aux copies atteint un niveau réellement préoccupant, au point qu'il devient difficile de suivre des candidats dans leurs exposés et que le jury sera conduit à augmenter sa sévérité. Les questions **Q9**, **Q11** et **Q16** montrent combien il reste difficile de s'appropriier l'énoncé et d'en retranscrire les informations dans les grandeurs physiques employées. Or, ces questions, censées mettre en confiance les candidats, sont au départ de raisonnements scientifiques développés.

La mécanique classique en **Q6** et **Q18** reste problématique à cause du formalisme vectoriel : rappelons que la projection d'une égalité vectorielle ne consiste pas à ôter les flèches des vecteurs ; il faut choisir les coordonnées adéquates et appliquer les savoir-faire du cours de cinématique.

Au sujet du calcul, nous insistons sur les points suivants :

- Calcul littéral. Simplifier les fractions (par exemple, $\frac{4}{3}12 = 16$, $\frac{\pi}{\pi^{1/3}} = \pi^{2/3}$, $8^{5/3} = 2^5$).
- Application numérique. Pas de résultat sous forme fractionnaire, mais au format scientifique, avec un nombre de chiffres significatifs adéquat et une unité. (Exigence pourtant connue.)
- On apprécie qu'un résultat littéral soit encadré et une application numérique soulignée.

2.3.3 Analyse détaillée des questions

Q1 - Les conversions d'unités volumiques ont été souvent fatales aux candidats.

Q2 - La question a été dans l'ensemble bien traitée. Souvent, les réponses sont longues alors qu'il s'agit de poser le calcul, le conduire et conclure.

Q3 - Choix du système : il ne faut pas confondre l'énergie de l'électron et l'énergie du photon qui est une différence d'énergie électronique. Cela a perdu beaucoup de candidats.

Q4 - Une réponse qualitative était acceptée, pourvu qu'elle soit rigoureusement logique et suffisamment explicite. La rédaction d'une réponse qualitative reste difficile, des conclusions à l'opposé des observations ont été vues.

Q5 - Question de culture générale en physique pour laquelle nous avons eu quelques réponses convenables. Certains décrivent le phénomène au lieu d'en chercher la cause.

Q6 - Question de mécanique peu réussie. L'étude d'une trajectoire circulaire dans un champ newtonien est classique. Techniquement, il faut 2 équations pour éliminer 2 inconnues.

Q7 - Question assez réussie sur la condition d'extremum. Quand il y a un changement de variable, celui-ci doit être bijectif. Un argument de stricte monotonie nous contentait. Des périphrases comme "les deux variables sont liées" sont insuffisantes.

Q8 - Question moyennement réussie qui demandait d'envisager de négliger e^{-x} . De nombreux cas d'incohérence d'un développement limité de $\exp(x)$ au voisinage de 0 pour conclure $x = 4$.

Q9 - Cette question a souvent posé un problème d'appropriation de l'énoncé : la courbe de la loi de Planck du spectre est explicitement donnée dans la figure 2.

Q10 - Question peu abordée et très peu réussie. Il y a un problème sur le choix du système quand on évoque l'hydrogène atmosphérique de l'étoile alors que la question porte sur le carbone à la surface. Le concept d'énergie d'agitation thermique $k_B T$ est méconnu. Trop de réponses fondées sur une opinion, les explications ne relevant d'aucune loi de la physique

Q11 - Des confusions entre protons et nucléons, voir aussi les commentaires généraux.

Q12 - La dimension d'une énergie, d'une force, d'une pression se justifie au moyen d'une formule.

Q13 - Question de cours bien réussie dans l'ensemble, des erreurs de signe.

Q14 - Question un peu plus technique : il faut y définir la pression par une relation différentielle ($\delta W = -P_g dV^* = -dE_g$), savoir écrire $dV^* = 4\pi R^{*2} dR^*$ et poser correctement la dérivation.

— $P_g dV^* = dE_g$ ne s'intègre pas en $P_g = \frac{E_g}{V^*}$, mais conduit à $P_g = \frac{dE_g}{dV^*}$;

— il faut ne retenir qu'une variable : soit R^* (recommandé), soit (éventuellement) V^* .

Ici, quand on a su définir la pression, c'est le calcul différentiel qui pose le plus souvent problème.

Q15 - L'énoncé indique qu'il faut évaluer les deux pressions. Il faut avoir réussi les questions **Q11** et **Q14**, mais des points sont accordés pourvu qu'il y ait cohérence du calcul et maintien de l'homogénéité. Le résultat est rarement simplifié (voir remarques générales). L'application numérique demandée peut paraître fastidieuse et est souvent délaissée. En fait, un résultat littéral correctement simplifié et les indications de l'énoncé la rendait assez simple.

Q16 - Question relativement bien traitée. Voir aussi les commentaires généraux.

Q17 - Question de cours très classique et réussie. L'étude des symétries et des invariances doit se faire avant l'application du théorème de Gauss ou la résolution de l'équation de Poisson.

Faute d'une expression correcte de la divergence en sphérique (non fournie par l'énoncé), l'intégration directe de $\text{div} \vec{E}$ n'aboutit pas.

Q18 - Question de mécanique peu réussie sur un oscillateur tri-dimensionnel. Quatre parties :

— *Planéité du mouvement* : on observe souvent des tentatives inabouties de raisonnement chez les candidats qui ne pensent pas au moment cinétique ;

— *Oscillations harmoniques* : voir les commentaires généraux sur les vecteurs. Rappelons que le repère cartésien est imposé par l'énoncé. A ce titre, écrire $r \cos \theta$ pour x est très surprenant mais on l'a souvent lu. Pour trouver l'expression exacte de la pulsation, il faut se souvenir que le noyau de l'atome de carbone a une masse $m_c = 12m_p$ et surtout que sa charge vaut $+6e$;

— *La nature de la courbe* : ne pas confondre trajectoire et mouvement. Répondre « une courbe sinusoïdale » relève du non sens quand la sinusoïde est une loi horaire. Il est exigible de savoir qu'une courbe paramétrique avec $x(t)$ et $y(t)$ sinusoïdaux forme une ellipse dont le centre (et non un foyer) occupe l'origine du repère ;

— *La constante s_0^2* : sans tenir compte des erreurs entachant les trois items précédents, les candidats ayant abordé cet item ont souvent proposé des raisonnements valables.

Q19 - Question peu abordée car continuant Q18. Des candidats avisés, tirant parti des propriétés d'un oscillateur harmonique, ont répondu très habilement sans trop dépendre de **Q18**.

Des candidats ont décidé que l'énergie potentielle est nulle, sans justification ni cohérence.

Q20 - Question de cours de physique statistique bien réussie dans l'ensemble.

On attend (dans cette question-ci ou la suivante) le calcul de la normalisation de la probabilité, ce qui a été fait par un peu moins de la moitié des candidats.

Q21 - Question peu abordée ou de manière inaboutie. Il s'agissait de reconnaître l'expression d'une dérivée et de mener le calcul.

Q22 - On y fait la synthèse des questions **Q19** et **Q21**. Elle ne pose pas de problème majeur pour ceux qui y parviennent.

Q23 - C'est une application numérique qui doit mener à une conclusion.

- Des candidats trouvent un résultat numérique, mais ne concluent pas : cela ne sert à rien.
- Des problèmes divers de calculs : les manipulations de puissance de 10, les équivalents de la fonction tangente hyperbolique (dont on rappelle qu'elle vaut quasiment 1 dès que l'argument excède largement 1), et, de manière plus surprenante, certains candidats ont lu $\tan h \frac{\Theta}{T}$ (au lieu de $\tanh \frac{\Theta}{T}$) en interprétant h comme la constante de Planck.

2.3.4 Conseils aux futurs candidats

Nous réitérons aux candidats le conseil déjà donné d'arriver au concours avec une parfaite maîtrise de leur cours, qui leur permettra traiter en confiance les situations classiques mais aussi inédites.

Nous leur recommandons d'accorder un soin correct à leur copie car nous serons contraints à une plus grande sévérité en la matière. De même, nous rappelons l'importance de simplifier une expression littérale, de présenter correctement une application numérique, et de s'attacher à la cohérence de ce qu'on écrit en termes d'homogénéité et d'ordres de grandeur.

Nous leur conseillons de bien s'approprier chaque question de l'énoncé, en s'interrogeant sur le système étudié, pour éviter les hors-propos. Cette compétence se travaille tout au long des deux années de préparation, dans une grande variété de contextes proposés par les enseignants.