

# Physique 2

## Présentation du sujet

Cette année, le sujet s'intéresse à la définition du kelvin. Le préambule contextualise parfaitement la problématique : passer d'une définition s'appuyant sur la valeur du point triple de l'eau, à une définition associée à la valeur exacte d'une constante fondamentale, la constante de Boltzmann. Il est intéressant de comprendre que derrière cette problématique se cache le souci d'obtenir le maximum de précision possible au moyen d'expériences réalisées dans des domaines bien distincts et faisant appel à des lois de la physique différentes. Ainsi, après une étude se basant sur l'agitation thermique, une seconde fait appel à une mesure acoustique, le problème s'achevant en étudiant une méthode dans le domaine de la spectroscopie laser. Tout au long de cette épreuve, le candidat est amené à mesurer l'importance de la métrologie en physique.

## Analyse globale des résultats

Ce sujet nous est apparu comme un excellent moyen de mettre en lumière l'importance de la métrologie. Tout candidat, qu'il soit passionné par la physique ou non, pouvait s'imprégner facilement de la problématique afin de la faire sienne et mesurer l'importance qu'il faut accorder au nombre de chiffres significatifs... s'il voulait qu'ils demeurent vraiment significatifs !

De plus, le candidat, alors qu'il était face à une problématique claire, avait l'occasion d'exercer ses talents dans des domaines bien différents de la physique, ce qui lui permettait de comprendre combien le programme qu'il aborde au cours de ses deux années de classes préparatoires forme un tout cohérent.

Mais bien sûr, face à cette volonté clairement affichée par le sujet, nous avons dû faire face à des réactions particulièrement diverses. Sans entrer dans les détails du fond qui seront abordés ci-après, notons que la présentation de certaines copies — en nombre croissant — nous est apparue inadmissible : la volonté d'aller vite fait parfois oublier au candidat que sa copie a vocation à être lue et la tâche devient alors particulièrement pénible pour le correcteur ! Cette précipitation conduit systématiquement le candidat à écrire des choses fausses ! En effet, lorsqu'il utilise des opérateurs vectoriels comme des scalaires, lorsqu'il projette sans trop savoir comment mais parce que « ça marche » (croit-il !), ou même tout simplement lorsqu'il ne sait plus lui-même si ses exposants en sont vraiment ou non, il se piège lui-même et incite le correcteur à faire preuve d'une sévérité légitime mais regrettable.

Enfin, notons qu'un candidat ne doit pas rester indifférent aux règles orthographiques en vigueur : combien de fois avons-nous pu lire « gaza » ?

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

### I. L'agitation thermique

#### I.A – L'agitation thermique dans l'atmosphère

**I.A.1)** Ces deux premières questions de cours nous ont souvent donné une idée de la suite. De nombreux candidats les ont traitées correctement, mais un nombre non négligeable est reparti

de l'expression de  $n_v(z)$  et a « bricolé » avec plus ou moins de bonheur pour obtenir le résultat escompté. Trop de candidats manquent de cohérence, prêts à tout pour obtenir un résultat (fourni), y compris à se contredire : une pression naïvement fonction affine de la température est suivie d'une densité de particules à répartition exponentielle. Notons que certains ont confondu poids et énergie potentielle de pesanteur, la plupart restant trop vagues sur cette énergie.

**I.A.2)** Cette question a été très diversement traitée : certains candidats se contentent d'écrire le résultat, d'autre y consacrent deux pages. Il est évident que nous attendions un traitement intermédiaire, et que nous aurions été heureux de voir évoquée ici la notion d'« ordre de grandeur » !

**I.A.3)** De nombreuses digressions ici, amenant souvent à des affirmations erronées : une distinction macroscopique / microscopique nous est apparue comme indispensable.

#### I.B – L'agitation thermique dans un circuit électrique

**I.B.1)** Beaucoup de vérités ou de contre-vérités, énoncées parfois sans la moindre forme de justification !

**I.B.2)** Question majoritairement bien réussie. Cependant, notons, pour cette question comme pour les suivantes, qu'une dérivée partielle ne s'écrit pas comme une différentielle totale exacte : nous avons eu affaire à beaucoup d'erreurs de ce type, fort déplorables !

**I.B.3)** Si les candidats sont majoritairement arrivés aux résultats, le chemin pour y parvenir n'a pas toujours été clair, loin s'en faut. Il est important de réaliser que nous sommes beaucoup plus sévères avec le candidat qui aboutit à une équation juste après des résultats intermédiaires faux qu'avec le candidat qui fait une erreur et la conduit jusqu'au bout des calculs : alors que ce dernier peut être considéré comme étourdi, le premier fait preuve de malhonnêteté.

**I.B.4)** Le début de la question a généralement été bien traité, la suite beaucoup moins, en particulier l'expression de l'intensité où bon nombre d'expressions se sont avérées non homogènes.

**I.B.5, 6)** L'aspect énergétique est souvent un écueil pour les candidats : cette partie n'a pas dérogé à la règle. Là encore, nous aurions aimé que le candidat nous propose au moins des relations homogènes. Nous tenons en revanche à nous excuser quant à l'expression de la valeur efficace, écrite de deux façons différentes : nous avons été indulgents vis-à-vis des notations utilisées.

**I.B.7)** Cette question nous est apparue particulièrement intéressante pour évaluer la capacité des candidats à lire un diagramme en échelle logarithmique. Nos conclusions recoupent celles que font régulièrement nos collègues évaluant les candidats en travaux pratiques : l'immense majorité des candidats abordant la question se contente de dire qu'il est logique d'avoir une droite, sans penser que le coefficient directeur est mesurable, ni même se demander pourquoi il y a deux droites. Quant à la deuxième partie de la question, elle a donné lieu à des réponses souvent très fantaisistes, beaucoup de candidats imaginant qu'une enceinte métallique constitue un isolant thermique hors pair !

### II. Mesure acoustique

#### II.A – Principe

**II.A.1)** Cette question a été très diversement appréciée, et la pression limite au-delà de laquelle un gaz ne peut plus être considéré comme parfait a varié de  $1 \times 10^{-13}$  Pa à  $1 \times 10^{28}$  bar, sans que ces résultats n'interpellent celui qui les proposait !

**II.A.2)** Ces questions de cours ont donné lieu à des traitements radicalement opposés : alors que certains s'efforçaient de bien restituer leurs connaissances en expliquant la démarche utilisée à

partir de l'approximation acoustique, d'autres se contentaient d'écrire, sans plus d'explication, les équations, sans même prendre le temps de définir les termes utilisés : cette forme de désinvolture nous a profondément agacée et nous en avons d'autant plus apprécié les copies bien structurées.

**II.A.3)** Ici, nous avons pu mesurer combien la notion d'incertitude relative était un concept encore très théorique pour certains, qui obtenaient des incertitudes relatives de l'ordre de  $10^8$  sur la célérité des ondes acoustiques, sans réaliser qu'il devait y avoir un sérieux problème.

#### II.B – L'onde acoustique sphérique

**II.B.1)** Alors que tout était donné dans le formulaire et l'énoncé pour répondre efficacement à ces questions, certains n'ont pas compris la signification du terme « montrer que » : évidemment, nous attendions là une démarche claire et sans ambiguïté !

**II.B.2)** La majorité des candidats a su répondre à cette question de bon sens, même si la mise en forme laissait souvent à désirer.

**II.B.3)** La définition du vecteur densité de courant énergétique étant donné, la réponse aurait dû être simple : dans les faits, nous avons constaté de nombreuses confusions avec le vecteur densité de courant particulaire, notamment dans les interprétations demandées. De trop nombreux candidats oublient le caractère vectoriel de ce vecteur !

**II.B.4, 5)** Ces questions n'ont pas fréquemment été abordées : nous avons alors particulièrement apprécié les copies où elles ont été traitées proprement.

**II.B.6, 7)** Il est regrettable que si peu de candidats se soient risqués à ces questions. En effet, les aspects calculatoires, nous en sommes parfaitement conscient, sont chronophages. Mais nous aurions vraiment aimé que les candidats se rendent compte, à la lumière des incertitudes relatives données, que seule l'incertitude sur le rayon  $a$  devait être prise en compte. S'en suivait une simplification non négligeable et il devenait alors possible de fournir un résultat en cohérence avec la précision annoncée ! Cette cohérence n'est que trop rarement apparue !

### III. Mesure par spectroscopie laser

#### III.A – Conformations de la molécule d'ammoniac

**III.A.1)** Nous avons souvent trouvé de belles explications à ce niveau, mais il est à noter qu'un nombre non négligeable de candidats confond « interpréter » et « décrire ».

**III.A.2)** Question souvent juste numériquement, mais les commentaires attendus se sont bien souvent résumés à un seul mot !

#### III.B – Inversion quantique de la molécule d'ammoniac

**III.B.1)** Dans une telle question, où le point de départ et le point d'arrivée sont donnés, rien de plus facile pour le candidat que de recopier la réponse en s'imaginant que le regard du correcteur ne portera pas sur le chemin suivi ! Rien de plus faux : il est essentiel de voir que la démarche est correcte !

**III.B.2)** Là encore, beaucoup de précipitation nuisant à la clarté et à la note !, alors qu'aucune difficulté ne devait gêner le candidat rigoureux.

**III.B.3)** Cette résolution a posé énormément de problèmes à la majorité des candidats. Nombreux sont ceux qui ont alors perdu un précieux temps en se lançant dans des développements particulièrement énergivores sans aboutir.

**III.B.4)** Là encore, il ne s'agit pas de tout reprendre pour passer de  $\varphi_B$  à  $\varphi_A$  : une analogie claire suffit !

**III.B.5)** Bien que ces questions ne présentent pas de difficultés particulières, nombreux sont les candidats qui n'ont pas été vigilants sur la condition entre  $E$  et  $V_0$ , fournissant alors une expression erronée de  $K$ .

**III.B.6)** Une fois de plus, nous constatons bien souvent une précipitation malsaine, qui entraîne le candidat rapide à écrire le bon résultat sans aucune justification : cette course au point, sans chercher à comprendre le sens qu'il y a derrière le cheminement proposé par le sujet, nous paraît vraiment regrettable et à éviter absolument !

### III.C – Spectre d'absorption de la molécule d'ammoniac

**III.C.1)** Cette question aurait dû être une question de cours. Si, de fait, elle l'était, elle a été particulièrement mal réussie. En effet, nombreux sont les candidats qui se sont cru dans le vide et ont cru bon d'écrire l'équation de d'Alembert. Nous n'avons pas davantage apprécié les candidats qui ont écrit une relation de dispersion correcte « hors sol » : Lorsqu'une question demande de déduire d'une première équation, une relation, il nous paraît légitime d'attendre l'équation en premier !

**III.C.2)** Là encore, peu de raisonnements, mais bien plus une restitution de connaissances apprises par cœur et qui nous ont bien souvent laissé sur notre faim.

**III.C.3)** Les quelques rares candidats arrivés ici ont su trouver les bonnes applications numériques, mais pas toujours le bon domaine d'ondes !

**III.C.4)** Le radar remporte la palme des applications connues de l'effet Doppler, cependant les calculs associés sont très souvent incertains mais encore plus souvent inexistant !

**III.C.5, 6)** Questions très peu abordées par les candidats.

## Conclusion

Au terme de cette session, nous tenons tout d'abord à remercier les nombreux candidats qui nous ont offert des prestations remarquables : nous ne voulons pas qu'ils soient oubliés malgré les nombreuses remarques précédentes qui ont pour seul but d'aider les candidats des sessions à venir.

Nous constatons en effet une très grande diversité, tant sur le fond que sur la forme, et engageons tout étudiant en Classes Préparatoires aux Grandes Écoles à ne jamais délaisser l'un pour l'autre ! La formation qui leur est dispensée est exigeante sur les deux tableaux : c'est ce qui fait sa force, c'est ce qui fait ensuite la force de l'ingénieur qui devra savoir aussi bien utiliser toutes ses connaissances que ses compétences acquises au cours de sa formation pour les mettre au service de la cause qu'il sert.

Concrètement, cela se traduit dans une copie par la volonté de se faire comprendre, en s'efforçant de faire ressortir les résultats essentiels, sans donner l'impression que le sujet n'est pas maîtrisé, sans non plus se cacher derrière des résolutions fort compliquées et inutiles : dans un cas comme dans l'autre, la crédibilité du candidat est atteinte.

Nous tenons à rappeler aux candidats qu'ils ne sont pas tenus d'être parfaits à tout prix, mais qu'ils sont tenus d'être honnêtes, vis à vis d'eux-mêmes comme vis à vis du jury : il n'y a pas plus désagréable sensation que celle du correcteur qui découvre une réponse maquillée pour aboutir au résultat : il devient dès lors intraitable sur le reste de la copie ! Un bon moyen de prendre du recul

consiste à s'interroger sur l'homogénéité de l'expression, puis sur l'ordre de grandeur obtenu : bien des résultats auraient pu être corrigés si le candidat avait fait preuve de ce recul nécessaire.

Enfin, ce sujet offrait au candidat la possibilité de mesurer l'importance de la métrologie. Il pouvait apparaître à certains égards long pour le candidat, mais il nous paraît essentiel de rappeler qu'en telle circonstance, la volonté d'arriver à tout prix au bout favorise le grappillage de points et vide de son sens le but que le concepteur du sujet s'est efforcé d'atteindre. Par conséquent, dans pareille situation, nous engageons vivement le candidat à aller le plus loin possible sereinement, en privilégiant la qualité à la quantité : il n'en éprouvera que davantage la satisfaction intellectuelle d'avoir conçu un ouvrage cohérent et clair !

Forts de toutes ces recommandations, nous souhaitons au futur candidat ingénieur du cœur à l'ouvrage !