

## Physique 2

### Présentation du sujet

Le sujet permet de toucher du doigt l'interférométrie atomique. Les candidats sont amenés à analyser une expérience conçue ces dernières années par des chercheurs du LCAR (Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité) de l'université Paul Sabatier de Toulouse, utilisant un interféromètre de Mach-Zehnder à ondes de matière. Ils sont guidés progressivement vers le résultat de l'expérience, comprenant que les analogies entre ondes de matière et ondes de lumière vont permettre par exemple de créer des lames séparatrices ou des miroirs à atomes à l'aide d'ondes lumineuses. Parmi les multiples applications possibles l'effet Sagnac est évoqué en fin d'épreuve.

### Analyse globale des résultats

Ce sujet offre au candidat un vaste domaine de recherche, où thermodynamique, mécanique des fluides, électromagnétisme, physique des ondes, mécanique quantique, optique... s'entremêlent, montrant à l'étudiant combien il est fondamental d'embrasser tout le spectre des connaissances acquises afin de s'approprier totalement la problématique du sujet. En ce sens, le sujet est ambitieux. Heureusement, il est suffisamment progressif pour qu'une bonne partie des candidats parvienne à obtenir la totalité des points de la première partie. La difficulté s'accroît progressivement sur la seconde partie, avant de devenir, pour la majorité, insurmontable dans la dernière partie. Il a dès lors sans doute été très frustrant pour la plupart de voir s'échapper progressivement l'esprit qu'a voulu insuffler le concepteur du sujet.

Même si le jury reconnaît qu'une bonne dextérité dans les calculs est nécessaire pour exploiter au mieux ce sujet, il ne peut que conseiller aux candidats, plus mal à l'aise mais volontaires, de suivre les conseils basiques distillés, année après année.

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

#### I. Caractérisation de la source atomique

##### I.A – Réalisation d'un jet supersonique

**I.A.1)** Comment un scientifique peut-il affirmer qu'une grandeur est constante sans le justifier ? Une affirmation n'est pas une justification. De très nombreux candidats ont ainsi affirmé que le débit de masse était constant. D'autres ont affirmé l'exact contraire avec la même absence d'explication. Quelques-uns ont même déclaré l'écoulement incompressible. L'argument stationnaire suffisait, encore fallait-il l'exprimer clairement.

**I.A.2–5)** Questions classiques de thermodynamique, réinvesties également lors de l'étude des ondes sonores, mais où le manque de rigueur a souvent mené à des résultats faux. Il n'est pas rare que des candidats se fassent prendre à leur propre piège en écrivant mal, confondant par exemple  $P$  et  $\rho$  au cours de leur démonstration. De nombreuses confusions ont été relevées entre  $U$  et  $H$  : le jury invite les candidats à bien regarder ce que désigne le travail dans le premier principe pour les systèmes ouverts et s'étonne que la fonction enthalpie soit si souvent méconnue, en particulier celle d'un gaz parfait, quand celle-ci est manipulée en physique et en chimie durant les deux années de classes préparatoires.

**I.A.6)** Attention : ce n'est pas parce que le résultat est donné dans l'énoncé qu'il faut à tout prix l'obtenir ! Des erreurs dans les questions précédentes et un résultat juste sur cette question éveillent forcément des doutes chez le correcteur. Il est alors évident qu'une volonté de « s'arranger pour que ça marche » n'a comme seul résultat que de continuer la correction de la copie avec un à priori négatif sur la suite : c'est exactement ce qu'il faut éviter. À contrario, ceux qui ont clairement fait apparaître que leur résultat posait problème et ont préféré le dire plutôt que de tricher ont bénéficié pour la suite du regard bienveillant du correcteur.

**I.A.7)** Un extremum n'est pas un minimum : il convient d'aller jusqu'au bout du raisonnement pour répondre complètement à la question ! Certaines confusions ont fait sourire les correcteurs lors de cette question, telle la réponse d'un candidat qui s'est quelque peu mélangé les pinceaux : « la section de la cuillère doit donc comporter un minimum ».

## I.B – Estimation des grandeurs thermodynamiques à l'issue de l'expansion

**I.B.1–3)** Une reprise propre des questions précédentes permettait de traiter convenablement ces questions qui ont malheureusement souvent été éludées. Dans la question I.B.2, la formulation « densité atomique » (au lieu de « masse volumique ») ne semble heureusement pas avoir gêné les candidats.

**I.B.4)** Le jury a été particulièrement surpris qu'une telle question ait reçu un si mauvais accueil ! Une simple lecture graphique permettait d'obtenir la valeur du nombre de Mach. Précisons toutefois que, lorsqu'il est demandé de fournir une « estimation de la valeur », il convient de ne pas abuser du nombre de chiffres significatifs : si les conséquences étaient moins désastreuses que pour le sujet de l'an passé, le jury invite fortement les candidats à réfléchir au sens du mot « significatif ».

## II. Diffraction du jet atomique par une onde stationnaire

### II.A – Onde stationnaire

Question particulièrement classique et amplement facilitée par la donnée d'un formulaire, lui-même annoncé en début de sujet : le jury regrette sincèrement que bon nombre de candidats n'aient pas saisi l'opportunité qui leur était donnée. Les justifications ont souvent été très maladroites et les erreurs de signe se sont avérées très fréquentes.

### II.B – Notion de potentiel lumineux

Là encore, un travail attentif permettait d'atteindre le résultat sans encombre, mais force est de constater que la moyenne d'un sinus carré est trop souvent ignorée. Si un nombre non négligeable de candidats a su aboutir, le jury a pu constater que, pour une tranche significative d'étudiants, il subsiste des confusions entre moyenne temporelle et moyenne spatiale.

### II.C – Équation de propagation de l'onde de matière

**II.C.1–2)** Questions souvent bien traitées, mais pour lesquelles, malheureusement, les applications numériques posent problèmes. Notons que si un candidat n'est pas sûr de lui, il est préférable qu'il laisse son résultat en unité internationale, plutôt que, par exemple ici, de confondre nm et pm. Il est surprenant que tant de candidats ignorent la relation de de Broglie.

**II.C.3)** La question, qui commençait par « Écrire », n'appelait pas de longues démonstrations : nombreux sont les candidats qui se sont perdus dans les méandres de démonstrations plus ou moins bien ficelées et ont abouti sans s'en apercevoir à des équations manifestement fausses car inhomogènes.

**II.C.4–5)** Si ces questions demandaient une certaine dextérité calculatoire, le jury s'est attaché à l'exposition honnête des développements et a sanctionné des maquillages déplacés.

#### II.D – Résolution de l'équation de propagation

**II.D.1–3)** Petit à petit, le niveau d'exigence s'élève et le nombre de candidats répondant à ces questions diminue. Évoquer la notion de conservation de l'énergie et faire un schéma correct était ici un minimum !

**II.D.4)** Cette question était particulièrement difficile. Aussi, le jury aurait été heureux de voir les candidats écrire qu'ils avaient du mal à arriver au bout, plutôt que d'essayer de masquer leurs difficultés par des pirouettes plus ou moins habiles. Remarquons également que la confusion entre onde incidente et onde transmise a été quasi générale.

**II.D.5)** Question en général bien traitée.

**II.D.6)** Il était attendu du candidat qu'il utilise à bon escient les calculs en ordre de grandeur.

**II.D.7–10)** L'obtention et la résolution d'équations différentielles est sans grande difficulté, mais les erreurs, sans doute accentuées par la fatigue engendrée par le début de problème, se sont accumulées. Il est important de traiter avec soin ce genre de questions, classiques, en exposant avec clarté chaque étape et en particulier le rôle des conditions aux limites.

**II.D.11–13)** Questions le plus souvent peu traitées, où le jury attendait surtout de la cohérence dans les réponses. Le calcul du vecteur de Poynting est en général mal mené. Nombreux sont les candidats qui ont affirmé que l'efficacité de diffraction était de 100% sans aucun début de justification : le correcteur ne peut pas se contenter d'affirmations brutes !

### III. Interféromètre de Mach-Zehnder

#### III.A – Signal de sortie de l'interféromètre

**III.A.1)** Les candidats ayant mené une lecture attentive du sujet pouvaient se souvenir que la réponse était donnée dans le préambule !

**III.A.2–5)** Si ces questions, particulièrement périlleuses, n'ont trouvé que très peu de réponses justes, elles ont eu le mérite de ne pas trop handicaper les candidats arrivés jusque-là, puisqu'elles étaient placées en fin de parcours.

#### III.B – Application à la mesure d'une vitesse de rotation

**III.B.1–2)** Si ces questions n'ont que très peu été abordées, il était possible de continuer sans.

**III.B.3)** Un nombre appréciable de candidats a su voir qu'il était possible de répondre à cette question par simple lecture attentive du sujet.

**III.B.4–7)** S'il n'était pas aisé de comprendre dans sa globalité cette fin de sujet, il y avait toutefois des points qui auraient pu être mieux traités. Rappelons, à l'image de ce qui était demandé à la question **III.B.6**, qu'un bon dessin permet souvent de faire l'économie de longs calculs et évite bien des erreurs.

### Conclusion

À l'issue de cette session, le jury a pleinement conscience que la majorité des candidats retiendra de cette épreuve la difficulté à donner le meilleur de soi-même. Par conséquent, il tient à remercier

tous ceux qui, au-delà des difficultés rencontrées, ont su fournir un travail réfléchi, bien construit et cohérent. Ils ont compris que c'est à ce prix que la science avance : ce sujet avait clairement cette vertu.

Finissons par quelques conseils aux futurs candidats.

Le premier paraît être une évidence qu'il semble pourtant utile de rappeler. Avant de se présenter à une épreuve, il est important de s'imprégner de son esprit. Le rapport de jury a cette fonction et le jury s'étonne de devoir toujours renouveler les mêmes observations. En voici deux exemples.

Le premier est plutôt anecdotique mais révélateur : l'an passé, le rapport mentionnait que le mot « gaz » est invariable. Or plusieurs copies contiennent, cette année encore, la graphie « *gazs* ».

Le second, plus profond et terrible pour le candidat, c'est sa propension plus ou moins importante à maquiller ses erreurs pour parvenir au résultat intermédiaire fourni. Si le sujet fournit certains résultats, c'est pour que le candidat puisse s'appuyer dessus même s'il a fait précédemment une erreur qui risquerait de le handicaper pour toute la suite. Le cas échéant, le candidat doit signaler la divergence entre son résultat et celui proposé et peut repartir sur de bonnes bases. Si d'aventure il s'autorise quelques « calculs » exotiques pour aboutir à ce qui lui est demandé alors qu'il est mal parti, il met le correcteur dans les pires conditions pour aborder la suite de la copie. Il n'est tout simplement pas imaginable pour un scientifique de faire preuve de tant de légèreté, voire de mauvaise foi.

Le jury rappelle également aux futurs candidats que si la première étape de la résolution consiste à comprendre, la seconde consiste à se faire comprendre. Si le fond compte, la forme est également importante. Le jury remercie tous ceux qui ont soigné l'un et l'autre et demande à tous d'être attentifs à quelques points fondamentaux : mon encre est-elle suffisamment foncée pour être lisible ? ma réponse ressort-elle clairement ? ai-je répondu à toutes les parties de la question ? mon résultat est-il homogène ? ma valeur numérique semble-t-elle cohérente ? le nombre de chiffres significatifs est-il en rapport avec les données ?

Enfin, à l'image de cette épreuve, le jury rappelle aux étudiants que la préparation commence à l'entrée en classes préparatoires : un concours réussi résulte d'un travail régulier, permettant d'apprécier la cohérence du programme. Souhaitons ainsi à chacun de prendre plaisir à découvrir les richesses de la physique et de dévoiler, dans les années à venir, quelques-unes des promesses qu'elle recèle !