

Composition de Physique A, filière PC (XE)

Le sujet traitait du ralentissement de la lumière dans un milieu constitué d'atomes froids de sodium dont le spectre d'émission présente un doublet (deux raies très voisines). Un laser dont la fréquence correspond à une de ces deux raies, bien choisie, place l'ensemble des atomes dans un état qui les empêche d'absorber la lumière à la fréquence de l'autre raie. Une impulsion laser émise autour de la fréquence de cette autre raie peut alors être considérablement ralentie.

Ce sujet se composait d'un texte de 4 pages, intitulé *la lumière ralentie* incluant 4 figures, extrait et adapté d'un article publié dans le dossier n°53 de la revue *Pour la science*, paru en 2006 sous la plume de Lene Vestergaard Hau. Les données utiles pour l'analyse du texte et les applications numériques étaient fournies aux candidat(e)s en préambule de la partie intitulée *Analyse de l'article*. Les candidat(e)s devaient s'appuyer sur ces documents pour répondre à une série de 32 questions d'analyse et de compréhension. Ces questions étaient regroupées en quatre parties distinctes indépendantes.

- La première partie, (*Le dispositif expérimental*), étudiait un dispositif expérimental permettant de piéger et de refroidir des atomes de sodium en phase gazeuse et les conditions expérimentales nécessaires pour sa mise en application.
- La deuxième partie, (*Etude de l'analogie mécanique*), s'intéressait à la transparence induite pouvant être observée pour une impulsion dont la fréquence correspond à une des deux raies du doublet des atomes de sodium lorsque ceux-ci sont mis en présence d'un laser de couplage ayant sa fréquence ajustée à la valeur de l'autre raie. La physique de ce phénomène était abordée de manière très simple et pédagogique grâce à une analogie mécanique basée sur un modèle de deux oscillateurs harmoniques couplés, l'un des deux oscillateurs étant forcé.
- La troisième partie (*Transparence induite*) se focalisait sur l'étude de la forme analytique du creux du spectre d'absorption induit, correspondant au phénomène de transparence induite de la lumière.
- La quatrième et dernière partie (*Lumière ralentie*) décrivait dans le cadre du modèle abordé précédemment, le phénomène de ralentissement de la lumière dans un tel milieu soumis à un couplage externe. La variation de l'indice optique induit du milieu (en présence du laser de couplage) et l'évolution de la vitesse de groupe d'une onde électromagnétique s'y propageant étaient étudiées en fonction de la pulsation de l'onde.

Les quatre parties étaient relativement indépendantes les unes des autres de façon à permettre aux candidat(e)s de traiter le sujet dans son ensemble en abordant par exemple les diverses parties de l'énoncé séparément. En procédant ainsi, de nombreux candidat(e)s ont pu avancer assez loin dans la résolution du problème. Ce sujet permettait de tester les connaissances des candidats sur une grande partie du programme de physique des classes préparatoires à travers quelques questions de cours et une mise en pratique des notions acquises en première et deuxième années des classes préparatoires, balayant plusieurs chapitres : oscillateurs harmoniques en régime forcé, thermodynamique des gaz parfaits et propagation des ondes électromagnétiques.

La répartition des notes pour les candidats français est résumée dans le tableau suivant :

Tranche	Nombre de copies	pourcentage
$0 \leq N < 4$	53	4,38 %
$4 \leq N < 8$	362	29,89 %
$8 \leq N < 12$	489	40,38 %
$12 \leq N < 16$	225	18,58 %
$16 \leq N \leq 20$	82	6,77 %

Total de copies :	1211
Moyenne :	9,71
Écart-type :	3,74

Remarques générales:

Rappelons comme chaque année quelques règles générales, qui pourtant bien qu'évidentes restent peu respectées par de nombreux candidat(e)s:

- De nombreuses copies, rédigées dans un français très approximatif, présentent de multiples erreurs grammaticales et orthographiques qui rendent difficile et pénible la lecture et la compréhension des explications données pour justifier un raisonnement ou un résultat.
- Il est toujours affligeant pour les correcteurs de constater que des expressions littérales sont dimensionnellement incorrectes. Nous encourageons donc les candidat(e)s à vérifier systématiquement l'homogénéité de leurs résultats.
- Des résultats donnés sans aucune explication ne sont pas considérés valides. Il est donc essentiel de justifier les hypothèses faites et d'invoquer les principes appliqués lors d'un raisonnement. Il convient également de définir de manière très explicite les variables introduites pour mener à bien un calcul. Nous encourageons les candidat(e)s à s'aider parfois de schémas explicatifs.
- Les applications numériques demandées constituent une part importante de l'évaluation et de la note finale obtenue par les candidat(e)s. Il est donc important de ne pas les négliger.
- Un résultat numérique est en général considéré faux s'il est présenté sans unités. Les candidats doivent également veiller à ce que le nombre de décimales significatives données soit en adéquation avec les données numériques fournies par l'énoncé.

- Un résultat numérique donné avec une puissance non entière est considéré comme faux.

Nous insistons sur le fait que cette épreuve ne consiste pas en un simple commentaire de texte et encore moins une paraphrase de celui-ci. Pour chaque question, une réponse argumentée, souvent quantitative et s'appuyant toujours sur un raisonnement physique rigoureux est attendue.

Commentaire sur le caractère particulier de l'épreuve:

La composition de Physique A (XE) du concours d'admission 2020 se différencie des épreuves de physique traditionnellement données aux concours d'admission des grandes écoles scientifiques. L'originalité de cette épreuve réside dans la lecture d'un article scientifique et le commentaire de celui-ci à travers diverses questions posées. Ces questions visent à tester les connaissances scientifiques des candidat(e)s et leurs capacités à comprendre le contenu d'un article scientifique au vue de celles-ci. En ce sens, la réponse aux questions nécessite une démarche scientifique rigoureuse basée sur l'énonciation de principes physiques et de démonstrations faites en utilisant au maximum les informations trouvée dans le texte et les figures de l'article. Il ne s'agit donc nullement de commenter le texte en paraphrasant celui-ci.

Commentaires par question

Partie I: Le dispositif expérimental.

1 Il convenait d'énoncer l'effet Doppler et d'expliciter la fréquence reçue par un récepteur en mouvement relatif par rapport à l'émetteur. Beaucoup de candidat(e)s n'ont pas défini et discuté le signe de la vitesse relative ainsi que son influence sur la fréquence perçue par le récepteur.

2 Question mal traitée dans l'ensemble. Une majorité des candidat(e)s ayant répondu cette question a considéré à tort que l'énergie se conservait lors de la collision entre un photon et un atome, ce qui les a amené à un résultat numérique aberrant. Seul(e)s quelques un(e)s ont pensé à invoquer la conservation de la quantité de mouvement lors de la collision de ce système isolé. Notons enfin que dans quelques copies une mauvaise lecture de l'énoncé a conduit des candidat(e)s à calculer le nombre de photons nécessaires pour ralentir l'ensemble des atomes de sodium du gaz et non pas un seul, comme cela était pourtant clairement énoncé dans la question.

3 Question bien traitée dans l'ensemble. Beaucoup de candidat(e)s ont eu la bonne idée de s'aider d'un schéma explicatif.

4 Quelques candidat(e)s n'ont pas compris que l'éjection des particules les plus rapides diminue la valeur moyenne de la vitesse quadratique des atomes du gaz et donc la température. Une erreur classique commise dans de nombreuses copies consiste à penser que la température diminue parce que le nombre d'atomes diminue.

5 De nombreux(ses) candidat(e)s ont obtenu pour le résultat, une valeur numérique fausse car il(elle)s ont pris pour mener à bien ce calcul, la valeur de la masse molaire des molécules exprimée en $g.mol^{-1}$ et non pas en $kg.mol^{-1}$.

6 Beaucoup de réponses farfelues pour cette question. Très peu de candidat(e)s ont compris que la pression doit être faible dans la chambre d'expérimentation afin de limiter l'éjection des atomes du condensat du fait de collisions avec les molécules du gaz résiduel.

7 Question de cours sans réelle difficulté.

Partie II: Etude de l'analogie mécanique.

8 Beaucoup de réponses sont une simple paraphrase du texte alors qu'il convenait d'utiliser la relation de Planck-Einstein et les valeurs numériques données par le texte (lignes 85 à 92) pour les différences d'énergie entre les niveaux 1 et 2 et 3 et 2 pour quantifier l'écart relatif énergétique entre les deux transitions atomiques.

9 Peu de bonnes réponses. Il fallait, pour répondre correctement à cette question, appliquer le principe fondamental de la dynamique aux deux masses. Dans beaucoup de copies, la

force F n'apparaît pas du tout dans le bilan des forces s'appliquant à la masse 1 ou alors elle est prise en compte dans le bilan des forces s'appliquant aux masses 1 et 2 alors que la figure 1 du texte montre pourtant explicitement que cette force ne doit s'appliquer qu'à la masse 1. Nous avons également noté dans de très nombreuses copies des erreurs de signe sur les termes linéaire en déplacement couplant les deux équations différentielles entre elles. Dans quelques copies, les candidat(e)s qui introduisent les longueurs à vide des deux ressorts, ne pensent pas à utiliser le fait que la nullité de la somme des forces s'appliquant sur chacune des deux masses à l'équilibre permet de simplifier les équations différentielles obtenues et d'éliminer les longueurs à vide de celles-ci.

10 Bien que cette question soit très simple, de trop nombreux candidat(e)s n'obtiennent pas la totalité des points à la question car il(elle)s ne détaillent pas suffisamment leurs réponses.

11 Question mal traitée dans son ensemble car il convenait d'abord d'avoir établi préalablement à la question 9 les expressions correctes des deux équations différentielles régissant le mouvement des deux masses. Trop peu de candidat(e)s pensent à utiliser le fait qu'en régime forcé, le déterminant des deux équations algébriques linéaires régissant le mouvement des deux masses doit être nul à la résonance. De manière surprenante, en dépit de l'énoncé de la question, certain(e)s candidat(e)s ne pensent pas à effectuer un développement limité à l'ordre 1 en Ω/ω_1 pour obtenir une expression simplifiée de Ω_r .

12 Répondre à cette question ne présentant pas de réelle difficulté nécessitait cependant d'avoir répondu correctement aux questions 10 – 11, préalablement, ce que seule une minorité de candidat(e)s a malheureusement su faire.

13 Idem pour cette question.

14 Très peu de bonnes réponses complètes à cette question. Les candidat(e)s ayant travaillé avec les notations complexes se sont très souvent arrangé(e)s pour donner la bonne expression du résultat final donné par l'énoncé en dépit d'un raisonnement faux. Ceux-celles ayant conservé les notations réelles ont obtenu de bien meilleurs résultats.

15 Question relativement peu traitée dans son ensemble. Par étourderie, dans quelques copies la masse n'apparaît pas dans le résultat final. Une simple vérification par analyse dimensionnelle leur aurait permis de corriger cette erreur d'homogénéité.

16 Dans de nombreuses copies, les masses m_1 et m_2 sont considérées immobiles alors que seule la masse m_1 , qui est pourtant celle recevant l'excitation l'est en réalité.

17-19 Peu de résultats corrects à ces trois questions, du fait, la plupart du temps de mauvaises réponses aux questions précédentes.

Partie III: Transparence induite.

20 Question simple. Pour obtenir le bon résultat numérique, les candidat(e)s ont soit utilisé la longueur d'onde de la radiation principale émise par des atomes du sodium, soit la valeur de la différence en énergie entre les niveaux 1 et 2, donnée dans l'énoncé en eV . Nous félicitons les candidat(e)s connaissant la valeur exacte de la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium. Notons cependant que quelques candidat(e)s ne connaissent pas l'ordre de grandeur de la longueur d'onde correspondant à une radiation visible jaune.

21 Il convenait de rappeler les valeurs numériques données dans l'énoncé pour γ_1 et Ω_r et de les comparer à la valeur de ω_1 .

22 Beaucoup de candidat(e)s se sont limité(e)s à indiquer que Ω_r augmentait avec l'intensité du laser, I , alors qu'il convenait de démontrer que Ω_r variait linéairement avec I . Pour parvenir à cette bonne réponse, il fallait avoir établi préalablement à la question 11 que Ω_r variait quadratiquement avec Ω .

23 Question de cours. Quelques étourdi(e)s ont écrit $k=\omega/(nc)$.

24 Les candidat(e)s ayant abordé cette question, ont dans la majorité des cas, donné des réponses qualitatives satisfaisantes en s'aidant des explications fournies dans le texte de l'article.

25 Très peu de réponses correctes à cette question car il fallait avoir établi préalablement à la question 18 que la largeur à mi-hauteur valait Ω_r^2/γ_1 , un résultat auquel très peu sont malheureusement parvenus. Certain(e)s candidat(e)s ont néanmoins pu obtenir des points à la question 25 en donnant la valeur numérique expérimentale de cette largeur à mi-hauteur grâce à une lecture attentive de la figure 3a de l'article. Nous les en félicitons.

Partie IV: La lumière ralentie.

26 Obtenir le maximum des points à cette question simple nécessitait de rappeler que l'indice optique du gaz lorsque $\omega=\omega_1$ valait 1 et donc que la vitesse de phase donnée par $v=c/n$ valait c .

27 Question relativement bien traitée par la majorité des candidat(e)s, cependant nous avons été surpris de constater qu'un nombre significatif de candidat(e)s connaît très mal la notion de vitesse de groupe d'une onde et l'expression mathématique permettant de la calculer à partir de la relation de dispersion.

28 Beaucoup de candidat(e)s n'ont pas pensé à comparer les ordres de grandeur de chacun des deux termes du dénominateur de la vitesse de groupe $v_g=c/(n+\omega n')$ et à indiquer

que la lumière était d'autant plus ralentie que $n'(\omega)$ était grand et positif, ce qui correspond à la région autour de ω_1 sur la figure 3b où la pente est maximale.

29 Question très peu abordée. De manière surprenante et inexpliquée, beaucoup de ceux ayant répondu à cette question, omettent le préfacteur N au dénominateur de l'expression de v_g .

30 Les candidat(e)s ayant abordé cette question ont dans leur majorité bien répondu à la question en s'aidant pour cela des données de l'article (légende de la figure 3a et figure 4).

31 Question seulement abordée par quelques candidat(e)s.

32 Question peu traitée. Pour répondre correctement à cette question, il fallait expliquer que la vitesse de groupe augmente avec l'intensité du laser mais que le prix à payer est que la largeur de la fenêtre de transmission diminue aussi (vu à la question 25). Beaucoup de réponses sont soit confuses soit fausses.