

## Composition de Physique (XULSR), Filière MP

L'épreuve de Physique MP consistait cette année en trois problèmes indépendants, qui abordaient différentes modélisations du rayonnement électromagnétique. Le premier problème proposait une approche classique pour établir l'existence d'une quantité de mouvement portée par les champs E et B. Le second problème étudiait la catastrophe ultraviolette du modèle de Rayleigh-Jeans, et la solution apportée par le modèle de Planck. Le troisième problème s'appuyait sur la théorie corpusculaire de la lumière, proposée par Einstein pour interpréter l'expérience de Millikan sur l'effet photoélectrique, et ouvrait sur l'analyse des statistiques de photons.

La plupart des copies ont commencé les trois problèmes, en passant à la partie suivante lorsqu'une question les bloquait. L'épreuve mobilisait des notions d'électromagnétisme, de mécanique, d'électronique, mais aussi une capacité à analyser des résultats expérimentaux et à lire des graphs, ce qui a rarement été le point fort des candidat.es. Le calcul du nombre de modes, de la densité de mode en fréquence et en pulsation, bien que guidé par le sujet, a été un point particulièrement difficile pour beaucoup de copies.

- La moyenne des 2276 candidats français et internationaux est de 9,37/20 avec un écart-type de 3,52.

- Question 1 & 2 :

La différence entre une dimension (masse longueur temps) et une unité (kg, m, s) n'est pas toujours claire. Pour éviter les confusions, il vaut mieux privilégier les grandeurs physiques indépendantes (masse, longueur, temps...) associées à une unité du système international toute analyse dimensionnelle.

- Question 3 & 4 :

L'analyse des symétries est souvent très approximative ; les hypothèses simplificatrices (notamment les effets de bord négligés et l'ARQS en régime transient) sont trop souvent oubliées.

Beaucoup de copies ont tenté d'estimer le champ électrique à partir du théorème de Gauss et conclu que, puisqu'il n'y a pas de charges, il n'y a pas de champ.

- Question 5 :

- Certaines copies se sont efforcées de déterminer la vitesse à tout instant. Il faut bien lire l'énoncé : on ne demande pas la vitesse pour t entre 0 et tau.

- Question 6 :

Si on veut introduire un nouveau vecteur, il faut le définir. Il ne suffit pas d'écrire  $\mathbf{u}_r$ , il faut introduire  $\mathbf{u}_r = \mathbf{PM} / |\mathbf{PM}|$ .

- Question 7 :

Les copies qui ont su répondre aux questions précédentes sont également parvenues au bon résultat ici.

- Question 8 :

Certaines copies ont essayé de répondre à cette question sans avoir établi les résultats précédents. Cependant, elles ont rarement utilisé correctement la seconde loi de Newton pour expliquer la conservation de l'impulsion du système isolé.

- Question 9 :

Certaines copies, sans doute impressionnées par l'aspect quantique du sujet, ont voulu introduire l'équation de Schrödinger à ce stade. On rappelle que c'est aux équations de Maxwell qu'obéit le champ électrique.

- Question 10 :

L'analyse des conditions aux limites est négligée, avec l'évocation d'arguments fallacieux mêlant épaisseur de peau et nullité de la densité surfacique de charge de l'interface.

- Question 12 :

Cette question s'est avérée difficile, et peu de copies l'ont correctement traitée. En particulier, le facteur 1/8 lié au fait de ne compter que les vecteurs d'onde positifs a très rarement été pris en compte.

- Question 13 :

La notion de "nombre de modes par unité de fréquence" a été mal comprise - on a souvent lu  $D(\omega) = N(\omega) / \omega$ , au lieu de  $D(\omega) = dN / d\omega$

Le changement de variable est mal maîtrisé – on a souvent lu  $D(\nu) = D(\omega = 2\pi\nu)$ . Attention à la conservation du nombre de modes lors du changement de variable !

- Question 14 :

Le théorème d'équirépartition a été particulièrement malmené, d'autant plus que le comptage des degrés de liberté a souvent été très arbitraire. Ainsi, le nombre de degrés de liberté quadratique (2 pour un oscillateur harmonique unidimensionnel) a souvent été confondu avec le nombre de directions dans lequel le système peut se déplacer (1 pour un oscillateur harmonique unidimensionnel).

- Question 15 :

- Cette question a été particulièrement mal traitée. Un grand nombre de candidats n'ont pas noté l'utilisation de l'échelle log-log conduisant à des analyses erronées. Certaines copies ont voulu voir dans le maximum de la courbe la forme d'une parabole corroborant le modèle - sans réaliser que la parabole en question aurait dû être croissante. Très peu de copies ont pensé à comparer la pente de la figure en échelle logarithmique à la loi de puissance du modèle.

- Nous avons été surpris de lire dans plusieurs copies l'idée inquiète que la "catastrophe ultraviolette" serait liée aux dangers que représente un excès d'UV pour la vie sur Terre - comme si l'erreur d'un modèle risquait de devenir une réalité physique ?

- Les questions 16 à 20 ont été bien traitées par une majorité de copies. On notera cependant que certaines copies utilisent sans les définir des outils vus en cours, mais absent du sujet (notamment la fonction de partition  $Z$ ).

- Question 21 :

- L'énoncé demandait explicitement que les courbes soient tracées sur un même graphique.

- Pour estimer les plages de fréquences auxquelles les régimes asymptotiques deviennent pertinents, il faut comparer les fréquences à des valeurs de référence. En physique, on peut écrire  $h\nu \ll kT$ , mais pas  $v \ll 1$  !

- Attention : un comportement asymptotique n'est pas simplement une limite !

- Question 22

On ne peut pas montrer que l'énergie  $E$  du photon est inférieure à  $W_0$  en établissant une borne inférieure sur  $E$  ! Approximer  $E = 1.2 / 0.546 \sim 1.2 / 0.6 = 2$  eV établit en réalité  $E > 2$  eV, ce qui ne permet pas de prouver que  $E < 2.4$  eV. Le même raisonnement donnerait un résultat faux si le seuil était à 2.15 eV par exemple.

- Question 23 : Faire un dessin peut beaucoup aider à comprendre la situation.
- Question 24 : Attention au signe (négatif !) de  $U_0$  (cf. figure 4.b)
- Question 26 : Certes la vitesse des photoélectrons est limitée par la vitesse de la lumière, mais ceci n'est pas à l'origine de la saturation de  $I$ .

Des candidats ont souvent cherché à grappiller des points sur les dernières questions de l'énoncé. La précipitation n'a que rarement permis l'analyse physique des résultats étudiés.