

2.2 - Epreuves écrites

2.2. A - PHYSIQUE I - Filière MP

I) REMARQUES GENERALES

Le problème portait sur la propagation de la lumière, envisagée successivement suivant des modèles géométrique et ondulatoire. Il étudiait en fin de sujet les implications d'une éventuelle masse du photon.

La majeure partie des questions se rapportait à la partie d'électromagnétisme du cours de classe préparatoire et abordait les notions d'énergie, d'équation d'onde, de dispersion. Il nécessitait une connaissance minimale des démonstrations du cours correspondant et une aptitude à les adapter au sujet, en menant correctement certains calculs d'analyse vectorielle.

D'une manière générale, le jury a noté pour une grande majorité des candidats une mémorisation correcte des notions de base. La différence se faisait sur la bonne assimilation des démonstrations et la compréhension de ce qui était attendu par l'énoncé (voir par exemple les questions 9, 10, 12).

L'attention des candidats est portée sur la forme, qui trop souvent est négligée. Rappelons que les correcteurs y sont sensibles. Ne pas respecter quelques règles élémentaires (numéroter les questions, encadrer les résultats, souligner les applications numériques) est perçu comme un manque de respect pour la personne obligée de décrypter la copie.

De même, une copie doit être rédigée. Quelques mots suffisent le plus souvent. Il n'est pas, par exemple, admissible de débiter une question sur la diffraction par une intégrale, sans citer le principe sous jacent ni expliciter, pourquoi pas, sur un dessin, les différences de marche.

A contrario, le jury doit fréquemment rechercher le(s) mot(s) attendu(s) dans une demi page, voire plus, d'explications inutiles ! Donnons un conseil de rédaction, appliqué par des candidats trop peu nombreux. Il permet d'éviter ces deux écueils : souligner dans votre rédaction les mots clés attendus par le sujet. Exemple sur la question 3 :

« Un rayon ne peut émerger d'un milieu d'indice $n_1 > n_2$ que si son angle d'incidence est inférieur à $\text{Asin}(n_2/n_1)$. Au delà on observe une réflexion totale (la loi de Descartes ne peut plus être vérifiée) »

Enfin, le jury déplore une fois de plus le manque de recul de trop nombreux candidats, qui se permettent d'encadrer des résultats non homogènes ou manifestement faux. On attend des candidats, non seulement des capacités calculatoires, mais aussi, voire d'abord un minimum de bon sens ! Rappelons une fois encore que pour qu'un résultat soit juste, il doit commencer par être homogène. Cela fait partie des compétences attendues d'un élève de deuxième année de CPGE de savoir raisonner sur les unités (voir la question 15), ce qui suppose un entraînement tout au long de la préparation.

II) REMARQUES PARTICULIERES

Pour chaque question, nous indiquons entre parenthèses le pourcentage de réussite (une question non traitée étant considérée comme non réussie).

Question 1 (75%) : Trop de candidats ignorent le caractère coplanaire des rayons considérés. Lorsqu'ils y pensent, la notion de plan d'incidence est souvent non ou mal définie, avec des affirmations vaines ("rayons incident et réfracté coplanaires"), ou insuffisantes ("rayons incident, réfléchi et réfracté coplanaires"). Les dates citées sont souvent fantaisistes (du V^e siècle avant JC au XX^e !)

Question 2 (75%) : Beaucoup d'explications trop longues et confuses, la condition $n_1 > n_2$ n'est que trop rarement citée.

Question 3 (50%) : Une partie non négligeable de candidats confond l'angle α_0 de l'énoncé avec l'angle d'incidence. Très peu mentionnent la réflexion totale qui apparaît en haut de la trajectoire du rayon lumineux.

Question 4 (50%) : Question simple, qui aurait dû permettre avec un peu de bon sens à ceux qui avaient fait la confusion mentionnée précédente de s'en rendre compte...

Question 5 (5%) : Question délicate, très peu abordée. Elle a donné lieu à de dangereux tours de passe passe mathématiques. L'analogie mécanique d'une particule dans un potentiel conservatif $U(y) = -n(y)^2/\beta^2$ n'a pas été décelée.

Question 6 (25%) : L'équation différentielle de la trajectoire du rayon a souvent été obtenue. Par contre, sa résolution est restée incomplète, très peu de candidats tenant compte de la condition initiale sur la pente à l'origine. Étrangement, peu de réponses sur la question pourtant simple sur le signe de k .

Question 7 (80%) : Les formules sont connues (heureusement !) mais les unités posent problème. Rappelons que le joule par seconde correspond au watt !

Question 8 (50%) : Le flux n'est quasiment JAMAIS orienté. Quelques erreurs de signe dans l'équation locale. Pour l'essentiel des candidats qui ont traité la question, les expressions « flux de puissance », « puissance qui passe pendant dt », « énergie qui passe pendant dt » et « flux d'énergie » sont toutes correctes et synonymes. Cela traduit certainement des confusions dans les notions abordées : le flux du vecteur de Poynting à travers une surface fermée ne correspond pas à l'énergie perdue pendant dt (ce serait alors un infiniment petit), mais à la puissance traversant cette surface. On demandait une équation de conservation analogue à celle de Poynting : les réponses sont souvent décevantes.

Question 9 (60%) : Les justifications de l'existence des potentiels sont majoritairement connues, certains omettant le terme faisant intervenir A dans l'expression de E . Beaucoup trop de candidats, par contre, ne comprennent pas la dernière question posée et établissent une équation de propagation qui ne saurait être équivalente aux équations de Maxwell.

Question 10 (50%) : Beaucoup ne vont pas au bout de la question : on ne saurait se satisfaire de réponses du type « Ψ^* . Ψ est relié à la densité d'énergie électromagnétique ». Il faut effectivement *relier* ces deux grandeurs par une *formule mathématique*.

Question 11 (70%) : Beaucoup de candidats établissent une équation de propagation sur E ou B , et/ou ne démontrent pas celle demandée sur Ψ . La relation de dispersion vue en cours est souvent correctement établie. On note l'utilisation du laplacien sphérique pour une onde plane... avec des justifications abusives pour retomber sur ses pieds et aboutir à la relation de dispersion.

Question 12 (35%) : Trop de calculs touffus et d'erreurs de calcul et d'unités. Beaucoup utilisent de façon abusive la notation complexe pour trouver le vecteur de Poynting moyen. On trouve un Poynting complexe et par miracle l'opération moyenne donne le bon résultat (réel). Un élève de deuxième année de CPGE doit savoir que la moyenne d'un \cos^2 vaut $1/2$. Le bilan d'énergie sur le cylindre, pourtant immédiat pour qui a compris les bilans d'énergie thermique, est peu abordé.

Question 13 (60%) : Question simple, mais qui a donné lieu à beaucoup d'erreurs (on rencontre souvent $k = \omega/nc$ au lieu de $k = n\omega/c$) et de calculs inutiles.

Question 14 (20%) : Question dans l'ensemble peu abordée, les candidats qui la traitent oublient le plus souvent les indices n_1 et n_2 dans le calcul de la différence de marche. Certains d'entre eux, aboutissant alors au maximum d'intensité émergente dans la direction du faisceau incident, prétendent sans sourciller que l'on retrouve les résultats de l'optique géométrique, malgré la contradiction manifeste ! De nombreux

candidats semblent penser qu'en physique, on peut toujours écrire $\sin(\alpha) = \alpha$. Souvent, le principe d'Huygens-Fresnel n'est pas cité, la réponse commençant par une intégrale.

Question 15 (50%) : Beaucoup d'erreurs, ou d'unités non irréductibles.

Question 16 (30%) : Des erreurs, souvent de signe, dans l'établissement de la relation de dispersion. De nombreux candidats, ayant pourtant obtenu une relation correcte, n'aboutissent pas à l'écriture correcte de l'équation de Klein-Gordon, le terme en $1/\delta^2$ se retrouvant dans la dérivée temporelle ou dans le laplacien.

Nombreux sont ceux qui ne font pas le lien avec la question précédente. L'équation qu'ils obtiennent à la question 16 est trop souvent en désaccord avec l'unité proposée pour δ à la question 15.

Question 17 (30%) : Les équations de Maxwell modifiées sont le plus souvent correctes, ainsi que la justification de l'existence des potentiels. Par contre, très peu de réponses au reste de la question, plus calculatoire.

Question 18 (15%) : Des candidats, sans avoir traité les questions précédentes, citent la jauge de Lorentz pour déterminer la valeur de χ . Ceci n'est pas licite, la condition de jauge ayant été fixée par l'énoncé à la question précédente.

Question 19 (5%) : Très peu traitée. L'argument de linéarité permet de conclure sur Ψ sans calcul à partir de l'équation de Klein-Gordon vérifiée par les champs E et B, contrairement à l'esprit de l'énoncé qui semble attendre un calcul direct.

La fin du sujet n'a été abordée qu'épisodiquement, avec peu de réussite, à l'exception de la question 22, proche du cours sur les plasmas, assez bien traitée. Les candidats y sont nombreux à penser que la relation $v_\phi \cdot v_g = c^2$ est forcément vérifiée... alors que c'est seulement un cas particulier. Beaucoup calculent la vitesse de groupe mais peu pensent à parler de la dispersion du paquet d'onde, réponse attendue par l'énoncé.

Question 23 (5%) : La plupart des candidats concernés utilisent la vitesse de phase pour calculer le temps de trajet des photons, ce qui est induit par la rédaction de l'énoncé. Les photons, vecteurs de l'énergie, se déplacent avec la vitesse de groupe.