



## 1/ Remarques générales

### 1. Erreurs courantes

Les erreurs de dimension sont légion, même sur des expressions simples. On voit par exemple des ordres d'interférences homogènes au carré d'une longueur.

Les applications numériques ont souvent été effectuées mais pour nombre de candidats le résultat comportait trop de chiffres significatifs et n'était pas suivi d'une unité.

Il y a des confusions entre grandeurs de dimension différente comme force et énergie, potentiel et énergie potentielle ; certains candidats expriment la tension en Joules.

Beaucoup utilisent à tort la comparaison de la vitesse de la particule à  $c$  pour en déduire si l'étude doit être effectuée dans le domaine quantique.

### 2. Remarques sur le texte, sa compréhension

Les candidats devraient lire avec plus d'attention les questions et regarder plus attentivement les figures. Par exemple, la première question n'a pas toujours été comprise même par des candidats qui ont su utiliser par la suite les relations demandées. De même, la lecture du sous-titre « ondes de matière » aurait pu leur éviter des fautes. L'information fonction d'onde nulle dans l'énoncé pour un domaine ne devrait pas être suivie d'une représentation contradictoire.

### 3. Réactions (prévues ou non)

Le mot 'commenter' est rarement suivi d'effet.

Beaucoup de parties étaient quasiment des questions de cours et les correcteurs ont été très déçus d'obtenir, dans ces questions, des réponses floues voire fausses ou absence de réponse.

Quand l'énoncé donnait des résultats, certains élèves le retrouvent par des méthodes « malhonnêtes ».

Quelques candidats analysent leur résultat quand ils voient leur absurdité.

Le soin et l'orthographe laissent encore à désirer dans certaines copies même bonnes. On trouve beaucoup trop d'abréviations dans les copies.

### 4. Bilan

Un grand étonnement devant le fait que certains candidats ne maîtrisent pas certaines notions pourtant essentielles du cours de physique. Par exemple, la notion de système isolé, la qualité vectorielle de la quantité de mouvement, l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique ou la notion de la différence de marche posent problème. L'énergie  $E = h\nu$  et la quantité de mouvement  $p = h/\lambda$  qui figurent au programme de Terminale, de MPSI et de MP sont encore ignorées de certains candidats (dans une épreuve où la calculatrice était autorisée).

## 2/ Remarques détaillées par question

### PARTIE I

- I-1** La question a été souvent mal comprise. Beaucoup ont placé là la relation de dispersion dans le vide (ce qui ne convenait pas dès la question I-3 et aurait dû les faire réfléchir). Les correcteurs ont tenu compte d'une bonne réponse placée plus tard mais invitent les candidats à lire les questions jusqu'au bout et à bien regarder en fonction de quelles grandeurs on leur demande d'exprimer un résultat.
- I-2** Quelques erreurs dans le passage des J aux eV.
- I-3** La formule étant dans l'énoncé, des candidats la retrouvent par des moyens faux.
- I-4** Plus de résultats exacts pour le vecteur d'onde que pour la pulsation car beaucoup confondent énergie et énergie cinétique (un candidat attentif qui lisait I-5 aurait dû revenir sur son erreur).
- I-5** Un festival dans cette question : peu pensent à utiliser le théorème de l'énergie cinétique, certains confondent la force et le champ, certains le potentiel et l'énergie potentielle, certains supposent le potentiel indépendant de la position. Ceux qui essaient de passer par le principe fondamental de la dynamique n'arrivent jamais au bout. Heureusement ceux qui maîtrisent le théorème de l'énergie cinétique font souvent a et b.
- I-6** De façon étrange, de nombreux candidats statuent sur le caractère quantique de l'électron en regardant s'il est relativiste. Dans les réponses exactes les candidats ont utilisé la longueur d'onde ou l'action.
- I-7** On pourrait faire un « bêtisier » : certains citent Newton, Boltzmann et même Kant ; « l'expérience » du chat dans la boîte est citée comme ayant été réalisée. Dans les travaux d'Einstein, on propose ceux sur la relativité... L'orthographe des noms est souvent étrange alors que le sujet en citait plus de trois.
- I-8** Ces questions ont été bien faites par bon nombre de candidats. Par contre, certains mettent une masse au phonon, qu'ils remplacent dans l'application numérique par la masse de l'électron.
- I-9** Le principe fondamental étant rarement cité puis intégré, la justification de la conservation de la quantité de mouvement est donc souvent fautive. Beaucoup confondent système isolé et système fermé. Dans les grandeurs conservatives est citée la masse (pour un système de particules sans masse). Pour l'énergie, il y a confusion entre l'énergie et l'énergie cinétique. Beaucoup pensent que conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement sont conséquences l'une de l'autre. Les bases de mécanique manquent à beaucoup. On trouve un grand nombre de contresens et de contradictions dans cette question qui n'était faite que pour aider les candidats.
- I-10a** Alors que le dessin traduit la conservation de la grandeur vectorielle quantité de mouvement, beaucoup écrivent la conservation de la somme des modules. Ils ne voient

pas qu'obtenir la différence de fréquence des photons, c'est obtenir, à un facteur multiplicatif  $h$  près, l'énergie du phonon. Certains obtiennent la bonne relation, qui n'était pourtant pas donnée dans le texte, en affectant la vitesse  $V$  au photon !

**I-10b, c** Beaucoup d'élèves écrivent  $\Delta\lambda = c/\Delta\nu$ . Certains "poussent même le bouchon" jusqu'à trouver un écart relatif de l'ordre de plus de quelques centaines et en déduisent que c'est trop petit pour être décelé avec un réseau. D'autres répondent par un simple oui ou non sans justification en  $c$ .

Pour cette partie I, les correcteurs regrettent que beaucoup de candidats ne maîtrisent pas les relations de de Broglie et confondent les ondes de matière et les ondes électromagnétiques. Ainsi, l'impulsion d'un photon devient  $m \times c$  (avec bien sûr  $m$  la masse du photon, même si le candidat a débuté sa copie en précisant que le photon est de masse nulle). Autre exemple illustrant la précédente remarque : l'onde de matière vérifie apparemment la relation de dispersion d'une OEM :  $k = \frac{\omega}{V}$  où  $V$  est la vitesse de la particule dont le candidat précise qu'elle vaut  $c/n$  dans un milieu d'indice  $n$ . Les correcteurs déplorent ces confusions qui ont été très fréquentes et encouragent les candidats à reprendre la partie concernant l'étude d'une particule matérielle libre.

## PARTIE II

**II-1** On est étonné de voir des réponses fausses ou pas de réponse à cette question.

**II-2** La question a été très mal interprétée par la majorité des candidats. Très peu parlent de rayons successifs en phase et encore moins de l'effet cumulatif.

**II-3** On trouve des expressions extravagantes de l'ordre d'interférences alors que cette notion est la notion centrale du cours d'optique de MP.

**II-9** Là encore, les correcteurs constatent que nombre de candidats ne savent pas retrouver le calcul de la différence de marche dans une lame d'air, alors que le Michelson est le cœur du programme MP. Ils ne semblent pas avoir compris ce qu'est une surface d'onde et ne connaissent pas le théorème de Malus associé au principe de retour inverse. La définition de la différence de marche est souvent fautive.

Le terme de phase est souvent mal écrit.

La forme des figures d'interférences est souvent inexacte, les élèves ne voyant pas la symétrie de révolution dans l'expression.

**II-12** L'analogie n'a pas souvent été traitée.

Pour cette partie II, les correcteurs ont été déçus de constater à quel point l'optique physique, qui est pourtant au programme depuis longtemps, est mal maîtrisée par les élèves de la filière.

Cependant, un certain nombre de candidats ont traité correctement et pratiquement jusqu'à la fin cette partie II, montrant une bonne maîtrise des concepts de l'optique physique. Nous souhaitons qu'ils soient plus nombreux dans les années à venir.

## PARTIE III

**III-1** La plupart des candidats connaissent l'équation de Schrödinger. Ceux qui n'ont pas donné directement l'équation stationnaire ont souvent perdu beaucoup de temps avec des calculs inutiles.

**III-3-4-5** Très peu de candidats trouvent toutes les solutions alors qu'ils tracent le bon dessin (souvenir du cours ?) des deux premiers niveaux, ce qui aurait dû les faire réfléchir au fait qu'ils ont oublié un type de solution... Certains candidats dessinent des fonctions d'onde dans le domaine où l'énoncé leur fait démontrer qu'elles sont nulles.

**III-6** Que d'inégalités d'Heisenberg dans le mauvais sens ou sous une forme fausse ! Là encore il s'agit d'un passage obligé du programme.

**III-7** La comparaison avec une particule non quantique est souvent partielle.

**III-8-9-10** Cette partie a été traitée plus ou moins bien ; les candidats qui trouvent la valeur moyenne ailleurs qu'en  $x = 0$  ne réagissent pas pour la plupart.

Pour la partie III, même constat qu'aux parties précédentes, beaucoup ne maîtrisent pas les notions du cours mais d'autres au contraire tirent bien leur épingle du jeu dans cette partie de physique quantique élémentaire.

## Conclusion

D'abord, des conseils aux futurs candidats qui veulent réussir l'épreuve de physique.

Il faut :

- lire attentivement l'énoncé, utiliser les figures et se laisser guider par le sujet,
- faire attention aux erreurs dimensionnelles des réponses,
- maîtriser les notions essentielles du cours,
- ne pas « tricher » pour retrouver une formule donnée dans l'énoncé,
- justifier ses résultats par un raisonnement structuré,
- et, enfin, présenter avec soin les réponses.

En conclusion, ce sujet qui faisait appel en partie à des notions récemment introduites dans le programme a été traité avec plus ou moins de bonheur par les étudiants.

Toutes les parties ont été traitées, nous laissant penser que le sujet n'était pas trop long. C'est en optique physique plus qu'en physique quantique que les copies montrent de graves lacunes.

Les correcteurs ont trouvé quelques très bonnes copies, malheureusement trop rares.