

2.2.3. Physique I — PC

Remarques générales

La physique des interactions laser matière est très riche. Le développement récent des impulsions laser ultra brèves, de l'ordre de la femtoseconde, a permis d'atteindre des puissances et des champs suffisants pour ioniser la matière.

Dans ce contexte, le sujet s'intéressait à l'émission lumineuse d'un plasma résultant de l'irradiation d'un gaz ou d'un solide par une telle impulsion laser.

Il s'articulait autour de trois parties, chacune s'appuyant sur des documents précis fournis en annexe.

La première partie de dix questions mettait en évidence la création d'un plasma au sein d'un gaz par une impulsion laser et étudiait quelques propriétés de leurs interactions.

La seconde partie, comportant sept questions, reprenait les mêmes thèmes, mais pour les solides. Après une étude des oscillations plasma, et de la propagation des ondes électromagnétiques, on mettait en évidence l'émission cohérente de trains d'ondes dans le sillage des électrons mobiles à l'intérieur du plasma.

Par une analyse de la pulsation plasma maximale, la dernière partie, de quatre questions, abordait la recherche de la température du plasma vu comme un gaz parfait et sa dépendance avec l'épaisseur.

Le problème de difficulté croissante s'appuyait sur le cours d'électromagnétisme de deuxième année, en particulier, l'électrostatique et les ondes électromagnétiques dans les plasmas. Comme c'est le cas pour de nombreuses parties du cours dans la filière PC, de nombreuses questions de ce problème reposaient sur une approche documentaire,

L'aspect quantitatif tenait une place importante dans ce problème. Il était rare d'avoir à réaliser une simple application numérique à partir de valeurs données et d'un résultat littéral. Il fallait analyser les documents et extraire les données pertinentes pour trouver les valeurs numériques des grandeurs essentielles à la compréhension des phénomènes. Les candidats ayant consacré du temps à ces déterminations ont été récompensés. Par contre, une lecture superficielle des documents, l'absence de mise en perspective des résultats fournis avec les connaissances de base du programme ont souvent conduit à un survol préjudiciable du sujet.

Les calculatrices n'étant pas autorisées, il semble important de se préparer avec cette même condition. Le sujet, dans la majorité des questions, ne nécessite aucun développement calculatoire technique. Pourtant de nombreuses erreurs ont été commises lors de l'intégration de la deuxième loi de Newton à la question 8, ou dans le calcul d'une grandeur moyenne à la question 9, ou encore lors de l'égalisation de deux fonctions cosinus à la question 10.

Il est surprenant que certains candidats se présentent à cette épreuve sans connaître les fondamentaux du cours de physique comme la force coulombienne et de Lorentz, les équations de Maxwell, le rapport entre énergie et puissance, entre force conservative et énergie potentielle. Il est recommandé de parfaitement maîtriser ce noyau de fondamentaux pour ensuite acquérir des compétences plus techniques.

Si les dernières questions de chaque partie nécessitaient de mobiliser des compétences avancées où une compréhension des mécanismes mis en jeu devait s'accompagner d'une analyse fine des documents

proposés, le reste était plus accessible. Il fallait malgré tout montrer une rigueur dans les raisonnements et du soin dans la rédaction, ne pas démarrer un calcul si l'objectif n'était pas identifié, ne pas affirmer des résultats sans en préciser les hypothèses ou encore encadrer un résultat incohérent avec le développement qui le précède.

Remarques particulières

Q1 : beaucoup de candidats oublient de préciser ce qu'est une force centrale. La force coulombienne et l'obtention d'une énergie potentielle dont elle dérive font partie des éléments de base de la physique et ne peuvent être ignorés.

Q2 : les raisonnements conduisant à la valeur de l'énergie mécanique demandée sont parfois inexistant ou erronés. Il fallait partir des hypothèses d'un mouvement circulaire uniforme et ne pas utiliser des résultats sans démonstration sur l'énergie potentielle. La conversion d'une énergie en Joule, en électron-Volt, pose problème.

Q3 : le passage d'une énergie à une puissance moyenne ne devrait pas être un obstacle. Malgré les informations fournies dans le document I sur l'éclairage, le lien entre puissance éclairage et enfin champ électrique pose problème. Une lecture éclairée du document suffisait pour calculer les grandeurs demandées. Un champ électrique ne s'exprime ni en Volt, Joule, Watt ou Coulomb.

Q4 : affirmer que z est nul ne constitue pas une explication recevable. Comparer deux grandeurs comme ω et k qui ne possèdent pas la même dimension est impossible.

Q5 : inutile de renier l'énergie potentielle de la question 1 pour trouver une cohérence avec la figure II.a. Malgré le rappel, en début de partie I, de la définition de la variable r , désignant une distance, le lien avec la variable algébrique x est souvent non connu.

Q6 : ne pas connaître la force de Lorentz, confondre relation de structure et relation de dispersion et ne pas savoir trouver une énergie potentielle à partir d'une force conservative témoignent d'une préparation défaillante.

Q7 : 0 et T ne sont pas deux valeurs distinctes d'une fonction T -périodique. Les valeurs recherchées de l'énergie potentielle ne sont pas correctement déterminées.

Q8 : il faut apporter une attention particulière aux conditions initiales pour obtenir un résultat correct.

Q9 : le résultat du calcul de la moyenne d'une fonction $\sin^2(\omega_0 t)$ peut être utilisé directement, mais il concerne uniquement une fonction dépendant du temps. Il ne fallait pas oublier le potentiel coulombien W_Q dans le calcul de l'énergie du photon émis lors de la recombinaison.

Q10 : les deux ondes invoquées se propagent dans le même sens. La condition de phase entre les deux ondes est trop rarement écrite à 2π près.

Q11 : la signification d'une équation locale n'est pas acquise pour tous les candidats et provoque la confusion $\operatorname{div} E M = 0$ et $E M = 0$. L'utilisation du théorème de Gauss ou l'analogie avec le condensateur plan sont rarement bien réalisées. Les candidats doivent bien réfléchir avant de se lancer dans des combinaisons des équations de Maxwell associées à des modèles de conductivité pour établir l'expression de la pulsation plasma.

Q12 : les équations de Maxwell sont une des notions fondamentales du programme de deuxième année, elles sont pourtant parfois mal connues. Les grandeurs ou opérateurs vectoriels doivent faire apparaître une flèche. En dehors de ce point de détail, il est surprenant de voir apparaître l'équation de D'Alembert sur le champ électrique ou magnétique dans un milieu comme le plasma. L'énoncé ne demandait pourtant rien d'autre que ce qui était au programme de la classe de PC. Et que penser ensuite, d'une équation d'onde type D'Alembert qui conduit finalement à la relation de dispersion demandée ?

Q13 : le document a souvent été bien utilisé quand cette question était abordée.

Q14 : un schéma et une explication simple permettaient de justifier la conservation de la composante k_y du vecteur d'onde. La norme du vecteur d'onde dans le vide se déduisait de la relation de dispersion dans ce milieu et permettait d'en déduire de nouveau k_y et de trouver enfin k_x .

Q15 : il fallait bien utiliser les variables demandées dans le texte et faire le lien entre $\omega_p(x)$ et ω_{max} .

Q16 : cette question a été très peu traitée. Un raisonnement qualitatif était exigé pour tester l'annulation de k_{px} .

Q17 : le schéma a été souvent mal exploité, et le retard mal calculé.

Q18 : le modèle du gaz parfait est souvent mal connu, il fait pourtant partie des fondamentaux du programme des classes préparatoires.

Q19 : à partir du document IV, la conservation du nombre d'électrons a souvent été bien exploitée.

Q20 : les pulsations maximales dans les spectres de la figure IV.b pour estimer L ont très rarement été utilisées.

Q21 : l'expression de la pulsation maximale n'a pas été abordée.

Conclusion

Il semble peu rentable de survoler un tel sujet en négligeant systématiquement l'aspect quantitatif, en affirmant des résultats sans explication, ou en ne vérifiant jamais l'homogénéité des valeurs obtenues.

La numérisation des copies et leur correction sur un écran de dimensions supérieures à celles d'une copie, fait ressortir les défauts de présentation. Il est important de rendre une copie lisible, claire, organisée, où les réponses à plusieurs questions ne sont pas mélangées. Cette présentation témoigne souvent d'une pensée structurée et rigoureuse. Le jury a justement été sensible aux copies soignées, dans lesquelles les hypothèses sont clairement identifiées, les réponses ressortent après un raisonnement clair et les valeurs numériques sont commentées et comparées entre elles.

2.2.4. Physique II — PC

Le sujet portait sur différents aspects de la physique atomique et disposait de nombreuses parties indépendantes portant sur des points variés des programmes de PCSI et PC, permettant aux candidats de pouvoir toujours faire quelque chose. Pour avoir un score correct, il fallait néanmoins ne pas se contenter de faire les premières questions des parties.

Les copies sont globalement assez bien rédigées et soignées. Les résultats sont encadrés et la plupart des schémas ou courbes sont tracés à l'aide d'une règle. L'ensemble conduit à un certain confort pour le correcteur et ceci le met dans de bonnes dispositions à l'égard du candidat. Néanmoins, les correcteurs ont également eu à corriger quelques copies très mal soignées et rédigées. Les candidats doivent prendre conscience qu'un tel manque de soin ne peut que leur porter préjudice.

Les applications numériques se font sans calculatrice et sont donc généralement rémunérées, car le jury a conscience du temps et des efforts que certaines d'entre elles nécessitent. À ce sujet, le jury a été indulgent, se contentant d'un chiffre significatif, voire zéro dans certains cas. Rappelons d'ailleurs qu'une application numérique doit être présentée sous la forme d'un nombre entier ou éventuellement décimal, assorti de la puissance ENTIÈRE de 10 appropriée et OBLIGATOIREEMENT de l'unité de la grandeur s'il y a lieu. Par exemple, $2.10^{2,5}$, $\sqrt{3}.10^4$ ou $\frac{5}{3}.10^3$ ne sauraient convenir.

Un grand nombre d'équations ou de résultats démontrés dans les copies présentent des problèmes d'homogénéité. Les dimensions et les unités sont mal utilisées et on y trouve beaucoup d'erreurs liées à des problèmes de conversion d'unités (en particulier concernant la conversion eV ↔ J).