

## Physique 2

### Présentation du sujet

Le sujet est consacré à l'étude des trajectoires électroniques dans un atome soumis à un champ magnétique (effet Zeeman), puis au rayonnement électromagnétique produit par un tel système.

La première partie concerne le cas de l'atome isolé.

Dans la seconde partie, l'atome est placé dans un champ magnétique. Le sujet propose tout d'abord une mise en équation du problème à partir de la seconde loi de Newton puis une étude énergétique.

La troisième partie étudie la structure des ondes électromagnétiques émises par l'atome. La fin du sujet s'intéresse à un dispositif expérimental (polarimètre) permettant l'analyse d'un tel rayonnement.

### Analyse globale des résultats

La partie I a été abordée par l'ensemble des candidats mais souvent avec manque de rigueur. Dans les parties II.A et II.B, beaucoup de candidats n'ont pas compris l'esprit du problème. La partie II.C n'a été que très rarement traitée. Dans de trop nombreuses copies, les résultats de la partie III.A n'étaient pas homogènes. Les candidats capables d'effectuer, sans erreur, des calculs sur les nombres complexes et ayant assimilé le cours sur la polarisation des ondes électromagnétiques ont abordé avec succès la fin du problème.

### Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

#### I Atome isolé

**I.A** Trop de candidats ne connaissent pas l'expression de la force de Coulomb entre deux charges ponctuelles. Il y a confusion entre force gravitationnelle et force électrostatique alors que le sujet rappelait que « la force qui s'exerce sur l'électron se réduit à la force électrostatique exercée par le noyau ». Certains candidats n'hésitent pas à proposer  $k = m_1 m_2 \varepsilon_0$  ou  $k = e$  ou  $k = e^2$ . D'autres utilisent le théorème de Gauss pour calculer le champ créé par le proton puis en déduisent la force  $\vec{f} = -e\vec{E}$  après une page de calculs et d'étude de symétries. Beaucoup de temps perdu dès le départ.

**I.B** Trop peu de démonstrations complètes correctement menées. Beaucoup de candidats supposent dès le départ que le mouvement est plan pour essayer de le démontrer dans la suite.

**I.C** Assez bien traitée dans l'ensemble.

**I.D** Le jury attend d'un futur ingénieur une certaine honnêteté intellectuelle et il n'apprécie pas que certains candidats, partant d'une expression fautive de  $k$ , n'hésitent pas à attribuer une valeur aberrante au rayon atomique  $a$  ( $10^{-40}$  m) pour obtenir l'ordre de grandeur  $10^{16}$  rad · s<sup>-1</sup> de  $\omega_0$  fourni dans l'énoncé. Inversement, une application numérique donnant  $10^{-16}$  rad · s<sup>-1</sup> doit amener un commentaire du candidat.

## II Atome placé dans un champ magnétique extérieur

### II.A – Mise en équation

**II.A.1** Des erreurs assez fréquentes sur le signe de la charge de l'électron.

**II.A.2** Des confusions entre unité et dimension. Le résultat d'un calcul d'ordre de grandeur ne doit pas comporter un nombre de chiffres significatifs trop élevé.

### II.B – Étude générale

**II.B.1** Quelques erreurs dans les projections. Certains candidats introduisent un angle de rotation  $\theta$  mais ne l'expriment pas en fonction de la vitesse de rotation uniforme  $\omega$ . On a parfois pu lire :  $\theta = r\omega$ ,  $\theta = \omega$ ,  $\theta = \omega t/r$ .

**II.B.2-4** Pour ces questions, trop de candidats n'ont pas compris que l'objectif était de **RE**-démontrer pas à pas les formules de changement de référentiel, sans utiliser la formule de dérivation vectorielle ou fournir de mémoire des résultats du cours surtout dans une épreuve où la calculatrice est autorisée. Encore trop de réponses non homogènes.

**II.B.5** Quelques candidats s'arrangent dans les calculs pour obtenir l'expression de la pulsation de Larmor que l'on pouvait intuitivement grâce aux questions suivantes.

**II.B.6** Question importante pour saisir l'esprit de cette partie. Trop peu de candidats ont compris qu'en présence du champ magnétique extérieur  $\vec{B}$ , le choix judicieux du référentiel tournant  $R'$  avec  $\vec{\omega}_{R'/R} = \vec{\omega}_L = \vec{\omega}_1/2$  permettait d'obtenir des trajectoires circulaires comme dans le cas d'un atome isolé en l'absence de champ magnétique.

**II.B.7** Un peu de bon sens physique permettait de justifier correctement les réponses ; peu de candidats ont compris que dans  $R'$ , les trajectoires circulaires pouvaient être parcourues dans les deux sens avec une vitesse angulaire  $\pm\omega_0$ .

**II.B.8** Des projections correctes donnaient la réponse à la question. Rarement bien traitée dans sa totalité.

**II.B.9** Rarement bien traitée.

### II.C – Étude énergétique

**II.C.1.a** Il est surprenant d'observer tant d'erreurs pour l'établissement de l'expression de l'énergie potentielle (erreur de signe, expression non homogène,...). Encore une fois, la question « Déterminer » requiert un minimum de justification dans la réponse.

**II.C.1.b** Il est rappelé aux candidats que ce n'est pas aux correcteurs de terminer un calcul et qu'il est nécessaire de répondre à la question posée et donc d'écrire un résultat final en fonction des données fournies dans le sujet. Une lecture correcte de l'énoncé aurait donc permis d'exprimer correctement l'énergie en fonction de  $m$ ,  $k$  et  $\omega$ , car beaucoup de candidats se sont contentés d'écrire  $E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{k}{r}$  alors qu'ils avaient par ailleurs tous les éléments pour transformer l'expression.

**II.C.1.c** Rarement bien traitée.

**II.C.1.d** La rigueur dans l'expression française est importante : ce n'est pas le champ magnétique, mais la force de Lorentz qui ne travaille pas.

**II.C.1.e** Très rarement bien traitée. Les quelques candidats ayant compris le phénomène physique confondent trop souvent les inductions de Neumann et Lorentz.

**II.C.2.b** Rarement bien traitée.

**II.C.2.c** Confusion assez fréquente entre la composante  $L_z$  du moment cinétique et sa norme. Pour beaucoup de candidats, on a toujours l'égalité  $\|\vec{r} \wedge \vec{v}\| = rv$ .

**II.C.2.d** Certains candidats qui ont affirmé, quelques questions auparavant, à juste titre, que la force magnétique ne travaille pas, se contredisent et obtiennent un travail non nul de cette force.

**II.C.2.e-f** Rarement traitées correctement.

### III Étude des ondes électromagnétiques émises

Il y avait une coquille dans l'expression du champ électrique mais elle n'a eu aucune conséquence dans l'évaluation des candidats : les résultats, avec ou sans erreur sur la puissance de  $r$ , ont toujours été validés.

#### III.A – Structure de l'onde émise

**III.A.1** Correctement traitée dans l'ensemble.

**III.A.2** Là aussi, ce n'est pas parce qu'il n'y a pas de calculs à faire qu'il faut négliger la rigueur dans l'expression française. Il y a eu énormément de phrases trop approximatives du genre :  $t - r/c$  est le temps mis par l'onde pour se propager,  $t - r/c$  est le retard. . .

**III.A.3** La définition rigoureuse d'un dipôle électrique n'est que trop rarement connue, ce qui a eu de lourdes conséquences dans les expressions des champs rayonnés des questions suivantes : les calculs sont souvent menés correctement, mais avec au départ soit une faute de signe dans l'expression du moment dipolaire et au final un résultat erroné, soit l'oubli du terme  $e$  et donc l'écriture de résultats non homogènes.

**III.A.6** Le rôle de la masse réduite n'a été que très rarement cité. Certains candidats évoquent à tort les raies d'émission spectrales, l'influence de la gravitation ou attribuent une charge au neutron du noyau de deutérium.

**III.A.7** Question rarement abordée.

#### III.B – Étude d'un polarimètre

Il était nécessaire de bien maîtriser les définitions et propriétés de base des états de polarisation pour traiter correctement cette partie. Il fallait également éviter les erreurs dans les calculs.

**III.B.1.c** Parmi les candidats ayant répondu à cette question, beaucoup se sont contentés d'affirmer le résultat sans le démontrer (ou sans le vérifier explicitement sur la copie). Était-ce de la devinette ou les calculs ont-ils été menés au brouillon ?

**III.B.2.c** Très peu de candidats ont abordé cette question, et encore moins ont mené correctement le calcul jusqu'au bout sans essayer de s'arranger.

### *III.C – Application*

Aucun candidat n'a répondu correctement à ces questions.

## **Conclusions**

Les résultats sont cette année assez décevants. Une grande partie des candidats ont un niveau faible ce qui se traduit par un manque évident de recul sur les notions abordées dans le sujet. Dans un nombre non négligeable de copies, il est très difficile de trouver au moins une question traitée correctement.

Des candidats n'ayant rendu que deux copies ont parfois des résultats meilleurs que ceux qui en ont rempli quatre ou cinq. Une réponse juste est évidemment préférable à cinq fausses.

Quelques conseils que l'on peut donner aux futurs candidats :

- avant de répondre à une question, la lire attentivement afin d'y répondre exactement : « donner », « rappeler », « en déduire », « montrer », « déterminer », « exprimer en fonction de » sont des termes qu'un candidat doit comprendre ;
- il faut rédiger de façon précise et rigoureuse, il est indispensable de donner la loi physique mise en œuvre, de justifier les étapes clés d'un calcul ;
- il faut absolument soumettre le résultat final à un contrôle d'homogénéité dimensionnelle ; le rapport de deux grandeurs de même dimension est bien sûr sans dimension ; ne pas confondre dimension et unité ;
- s'assurer d'une gestion rigoureuse des expressions vectorielles ; une réponse du type « vecteur = scalaire » ne peut être considérée comme correcte, ne pas oublier les flèches sur les vecteurs, les parenthèses dans les doubles produits vectoriels, ne pas diviser par un vecteur ;
- pour comparer deux grandeurs de même nature, il est commode d'évaluer leur rapport.