

I. Remarques générales

Le sujet de physique 2 de la session 2006 comportait, comme les années précédentes, deux parties distinctes : partie A (**optique**) et partie B (**électromagnétisme**). On peut considérer que la partie A qui compare les performances des spectrographes à prisme et à réseau dans la résolution des doublets du sodium et du mercure est à dominante expérimentale, tandis que la partie B, avec l'étude des dipôles électrostatique, magnétique et oscillant, serait plus théorique. Chacune d'elle, d'une durée de deux heures, couvrait des contenus de MPSI (**optique** : prisme et spectroscopie à prisme ; **électromagnétisme** : dipôle électrostatique) et de MP (**optique** : réseaux et spectroscopie à réseaux ; **électromagnétisme** : dipôle magnétique et dipôle oscillant). L'utilisation du goniomètre pour les mesures d'angles montrait que la partie « Travaux pratiques » n'était pas à négliger dans cette épreuve écrite.

I.1. Erreurs courantes

En optique :

- Le soin apporté au tracé des rayons lumineux n'est pas toujours celui attendu par les correcteurs. On doit pouvoir différencier des rayons lumineux par des couleurs ou des fléchages différents.
- Les différentielles d'une fonction de plusieurs variables n'ont jamais été introduites pour les calculs d'incertitudes, et les applications numériques associées à ces incertitudes sont restées sans réponse.
- Peut-être par manque de temps, les pouvoirs de résolution PR_1 et PR_2 n'ont pratiquement pas été calculés.
- Il semble que la valeur $k = -3$ pour le recouvrement des spectres des radiations violette et rouge du mercure ne soit jamais apparue que sur une seule copie. Les seules tentatives donnaient $k = -2$.
- La dernière question n'ayant pas été traitée, les candidats ne connaîtront pas les performances des spectrographes à prisme et à réseau dans la résolution des doublets du sodium et du mercure.

En électromagnétisme :

- Le barycentre G des électrons de la molécule HF a posé problème, à tel point que la distance FG ne fut trouvée que très rarement.
- Etablir l'expression $V_d(M)$, pour un point M éloigné du doublet, ne se résume pas à écrire simplement son résultat.
- La valeur de $k_1 = 3$ dans l'expression du champ électrostatique $E(M)$ provenait plus de la mémoire du candidat (ou de sa calculatrice), que de la déduction du potentiel $V_d(M)$.
- Unanimité des candidats pour nous fournir une mauvaise définition des lignes de champ et nous présenter un tracé des équipotentielles et lignes de champ très éloignés des exigences de la physique.
- L'utilisation de l'angle solide pour le calcul de $B(M_a)$ n'est apparue que sur une, voire deux copies. Le B.O 2004 (MP) mentionne pour cet angle solide « s'il n'est pas utilisé en première année, il est introduit en seconde année lorsque le professeur le juge nécessaire » : les résultats à cette question montrent que la nécessité ne s'est pas fait ressentir.

- L'expression du champ magnétique $\mathbf{B}(\mathbf{M})$ en fonction du $\mathbf{grad}_M \left(\frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{OM}}{OM^3} \right)$ n'a pas eu grand succès auprès des candidats malgré les formules d'analyse vectorielle mises à leur disposition.
- L'expression du travail W_0 et la valeur du facteur numérique k_3 ne furent que très peu abordées.
- La résolution de la question du champ électromagnétique ($\underline{\mathbf{E}}(\mathbf{M},t)$; $\underline{\mathbf{B}}(\mathbf{M},t)$) s'est bien souvent réduite à la formulation de $\underline{\mathbf{E}}$ et de $\underline{\mathbf{B}}$.
- Enfin, nous serions incomplets dans nos remarques si nous n'exprimions pas nos regrets concernant les négligences infligées au patrimoine linguistique français : nous laisserons à « Bescherelle » le soin d'enrayer ce mal endémique.

I.2. Remarques sur le texte, sa compréhension

Il semble, d'après les correcteurs, que les questions posées étaient très claires et bien détaillées, de difficulté croissante dans chacun des paragraphes I, II, III et IV des parties A et B, contenant de nombreuses parties indépendantes et des indications sur les résultats intermédiaires. L'énoncé du sujet est apparu plus long que ceux des années précédentes, mais il nous a semblé équitable que les candidats les plus rapides aient l'opportunité de s'exprimer.

I.3. Réactions prévues ou non

- Des candidats se sont attachés à résoudre en premier le problème d'électromagnétisme proche du programme MP car les notions d'optique sur le prisme demandaient des rappels plus lointains de MPSI.
- Quelques candidats ont choisi de ne rédiger qu'un seul problème.
- Les applications numériques furent souvent inexistantes sur les copies.
- D'après les correcteurs, il reste encore un effort à faire de la part des candidats pour présenter une rédaction soignée accompagnée de dessins légendés.

I.4. Bilan, moyenne, écart type

Notation en optique :

- Le prisme (MPSI) : 30 Pts
- Le spectrographe à prisme (MPSI) : 40 Pts
- Le réseau par transmission (MP) : 15 Pts
- Le spectrographe à réseau (MP) : 15 Pts

Notation en électromagnétisme :

- Le dipôle électrostatique (MPSI) : 40 Pts
- Le dipôle magnétique (MP) : 30 Pts
- Le dipôle électrique oscillant (MP) : 30 Pts

Moyenne : 9,45

Ecart-type : 3,02

II. Rapport détaillé

Partie A. Optique

A.I. Le prisme

A.I.1. Formules du prisme

Ces formules sont connues de la plupart des candidats. Le choix des orientations des angles, différentes à l'entrée et à la sortie, permet d'obtenir des relations symétriques en i et i' et en r et r' , lors de l'application de la loi du retour inverse de la lumière (convention des physiciens).

A.I.2. Conditions d'émergence

Les constantes k_1 et k_2 sont obtenues avec plus ou moins de rigueur. Plusieurs candidats ont pensé que pour $i = \pi/2$ le rayon incident arrivait suivant la normale sur la face du prisme. Les schémas des deux trajectoires des rayons lumineux devaient faire apparaître deux fois le couple (i_0, A) , mais lors des corrections, une copie sur trois cents (environ) mentionnait ces quatre angles.

A.I.3. Minimum de déviation

En lisant correctement l'énoncé, certains candidats pouvaient se dispenser d'avoir recours au calcul différentiel (hors programme) pour obtenir $i = i'$ au minimum de déviation. Si la relation explicitant n en fonction de D_m et A a souvent été trouvée, la formulation exacte de l'incertitude relative $\Delta n/n$ n'est apparue que très rarement (peut-être une copie sur mille d'après les rapports des correcteurs). Les candidats de MP, auxquels les mathématiques ne sont pas étrangères, pouvaient, grâce aux différentielles logarithmiques des fonctions de deux variables, exprimer cette incertitude relative. Encore fallait-il connaître le passage des différentielles aux incertitudes.

A.I.4. Mesure de l'indice n

Si les valeurs numériques des angles A et D_m et de l'indice n ont été, pour un grand nombre de candidats, correctement calculées, cette partie proche de l'expérience, n'a pas permis de donner la valeur exacte de ΔA et la description du repérage du minimum de déviation du faisceau s'est faite souvent sans stylisme. La question consacrée au calcul de l'incertitude relative de n n'a jamais fourni une réponse correcte, car certains résultats provenaient de l'application : $\Delta n(A, D_m) = n(\Delta A, \Delta D_m) !!$

A.II. Le spectrographe à prisme

A.II.1. Spectrographe, spectroscopie et spectromètre

Question qui n'a suscité que peu d'intérêt de la part des candidats.

A.II.2. Tracé de rayons lumineux

Le tracé correct du rayon de longueur d'onde λ_2 à travers le prisme et l'objectif ne se trouve que très rarement sur les copies. Bien souvent le rayon lumineux ne franchit pas l'objectif.

A.II.3. Variation de la déviation D_m

Le résultat étant donné, cette question fut donc bien traitée.

A.II.4. Doublet jaune du sodium

Déduites de la question précédente, les expressions de dD_m et d_p sont trouvées par de nombreux candidats, mais l'application numérique de d_p n'est pratiquement jamais abordée.

A.II.5. Pouvoir de résolution

Cette partie qui comprenait douze questions n'a pas mobilisé les candidats, peut-être par manque de temps. La seule approche, avec succès, concernait les questions (b.1) et (b.2). Les correcteurs n'ont pas trouvé dans les copies les valeurs numériques de PR_1 et PR_2 .

A.III. Le réseau par transmission

A.III.1. Type de réseau - modifications d'une onde incidente plane après la traversée d'un réseau

Aucune réponse totalement satisfaisante à cette question. Si le réseau par réflexion est trouvé, les modifications apportées par ces réseaux sur une onde incidente plane ne sont guère citées.

A.III.2. Relation fondamentale des réseaux

La relation fondamentale des réseaux est connue de la plupart des candidats mais un signe (+) dans l'expression de δ s'est glissé dans plus d'une copie.

A.III.3. Dénombrement des maximums principaux

L'oubli des valeurs absolues dans $|\sin \theta_k| \leq 1$ n'a pas conduit aux valeurs de k espérées. La valeur exacte de l'ordre k du recouvrement des spectres n'a donc pu être obtenue.

A.IV. Le spectrographe à réseau

A.IV.1. Minimum de déviation

Question peu abordée par les candidats et les seules tentatives n'ont pas fourni la valeur de i_m .

A.IV.2. Dispersion angulaire, dispersion linéaire

Les questions (a) et (b) furent correctement traitées car déduites de la relation fondamentale des réseaux.

A.IV.3. Résolution des doublets du sodium et du mercure dans les spectres d'ordre 1

Ces questions sont restées sans réponse.

Partie B. Electromagnétisme

B.I. Le dipôle électrostatique

B.I.1. Doublet électrostatique – Moment électrique p d'un dipôle

A l'exception du calcul de la distance FG , les candidats ont correctement traité ces questions.

B.I.2. Potentiel scalaire électrostatique $V(M)$

Le potentiel électrostatique $V(M)$ est connu de tous les candidats, mais son expression $V_d(M)$, pour un point M éloigné du doublet, fut donnée sans démonstration. Evidemment, le produit vectoriel ($\mathbf{p} \times \mathbf{r}$) est apparu sur quelques copies.

B.I.3. Champ électrostatique $E(M)$

Certains correcteurs ont découvert que des calculs erronés en (a) pouvaient engendrer un bon résultat en (b). En effet la valeur exacte du facteur numérique k_1 est sortie plus de la mémoire du candidat (ou de celle de sa calculatrice) que du passage de (a) vers (b). Seuls quelques candidats sont parvenus à la relation entre les angles β et θ de la question (d) ; quant à la valeur de θ_1 on pouvait la trouver à la fréquence d'une copie sur trois cents (environ).

B.I.4. Equipotentiels et lignes de champ

Unanimité des correcteurs pour affirmer que la définition des lignes de champ est inconnue de la plupart des candidats, et que la représentation des lignes équipotentiels et des lignes de champ laisse à désirer. La non-représentation du vecteur $\mathbf{p}$ dans un système d'axes mal défini, ne permettait pas de différencier les équipotentiels des lignes de champ.

B.I.5. Action d'un champ électrique extérieur uniforme E_e

Ces questions furent correctement traitées par les candidats.

B.II. Le dipôle magnétique

B.II.1. Spire circulaire de courant – Moment magnétique $\mathbf{m}$ de la spire

L'évolution des programmes en MP n'a pas changé l'expression de la surface d'un disque de rayon R : c'est toujours πR^2 et non $2\pi R$, $4\pi R^2$...

Le calcul de champ magnétique $\mathbf{B}(M_a)$, à l'aide de la loi de Biot et Savart, a posé bien des problèmes aux candidats. La vérification du résultat par l'utilisation de l'angle solide n'a pu avoir lieu car cette question (c) fut écartée par les candidats à la simple lecture « d'angle solide ». Cette notion n'était pas nouvelle pour les candidats qui avaient lu un rapport d'oral où il était mentionné « Le concept d'angle solide, souvent utile en électrostatique, est malheureusement méconnu ». Nous ajouterons donc « utile en électrostatique et en magnétostatique » dans ce rapport d'oral.

B.II.2. Potentiel vecteur magnétique $\mathbf{A}(M)$

Beaucoup de candidats ignorent l'expression du potentiel vecteur. La confusion entre produit scalaire et produit vectoriel, entre $\mathbf{m}$ et $\mathbf{OM}$ dans l'expression de $\mathbf{A}(M)$, s'est retrouvée dans quelques copies. On connaît bien l'analogie entre les formules des champs en électrostatique et en magnétostatique, mais le produit scalaire ou vectoriel n'est pas toujours à la bonne place.

B.II.3. Champ magnétique $\mathbf{B}(M)$

Les questions (a) et (b) sont souvent résolues par les candidats, mais l'expression donnée en (c) de $\mathbf{B}(M)$ est rarement établie.

B.II.4. Action d'un champ magnétique extérieur $\mathbf{B}_e$

Les deux premières questions furent traitées par un certain nombre de candidats mais l'expression de W_0 et la valeur numérique de k_3 ne sont apparues que très rarement sur les copies.

B.III. Le dipôle électrique oscillant

B.III.1. Le dipôle oscillant. Moment dipolaire $\mathbf{p}(t)$.

Les réponses furent correctes pour les candidats qui ont abordé cette partie.

B.III.2. Potentiels retardés ($\mathbf{A}(M,t)$; $\mathbf{V}(M,t)$)

Le traitement des questions s'est fait de façon régressive de (a) vers (c). Le développement de (c) plus long n'a occupé, pour ainsi dire, que très peu de candidats.

B.III.3. Champ électromagnétique ($\underline{E}(M,t)$; $\underline{B}(M,t)$)

Par manque de temps, seules les relations entre le champ magnétique $\underline{B}$ et le potentiel vecteur $\underline{A}$ d'une part, puis entre le champ électrique $\underline{E}$ et les potentiels $\underline{V}$ et $\underline{A}$ d'autre part, furent données par un grand nombre de candidats. On ne s'est pas trop attardé à exprimer les composantes de $\underline{E}$ et de $\underline{B}$ en coordonnées sphériques.

B.III.4. Rayonnement du dipôle à grandes distances

Vu la longueur du sujet, ces différentes questions n'ont pas été (ou très peu) abordées. Certains correcteurs ont trouvé quand même, sur quelques très rares copies, la résolution correcte et complète de la partie B.III.

Conclusion.

Le sujet, très proche du cours et des TP, permettait aux candidats de retrouver des résultats connus. Dans certains cas la calculatrice fut une mémoire de secours. Les candidats pouvaient entrer à différents niveaux dans les parties indépendantes de A et de B. En optique, l'utilisation du goniomètre pour la détermination des angles A et D_m émanait des recommandations du B.O 2003 : « les connaissances et savoir-faire expérimentaux peuvent faire l'objet de questions aux épreuves écrites ». On notera avec satisfaction et malgré la longueur du sujet, l'existence de quelques bonnes copies.
