

## 2.2.D - PHYSIQUE II - Filière MP

### I) REMARQUES GENERALES

Ce problème étudiait tout d'abord le principe d'un magnétron, oscillateur hyperfréquences utilisé par exemple dans les fours à micro-ondes ou les radars et ensuite, celui d'un klystron ou amplificateur hyper fréquence.

Lors de l'étude du magnétron, on étudiait dans un premier temps le mouvement des électrons dans l'espace inter électrodes sans champ magnétique, puis avec champ magnétique et enfin avec charge d'espace. L'objectif était d'obtenir un mouvement circulaire uniforme pour les électrons dit "mode de Brillouin". Le problème n'allait pas jusqu'à l'étude de l'émission d'ondes par ces électrons. Les candidats étaient donc évalués sur des notions de mécanique, de mouvements de particules chargées dans des champs électriques et magnétiques et aussi des notions d'électrostatique.

L'étude du klystron portait dans sa première partie sur l'étude d'un faisceau d'électrons, son accélération et sa focalisation. Ensuite ce faisceau était modulé ce qui permettait de regrouper les électrons par paquets, le courant étant ensuite détecté "par influence" lors de son passage entre deux plans métalliques. Les notions évaluées ici étaient encore d'électromagnétisme avec surtout de l'électrostatique et de la mécanique, le problème abordait également la décomposition d'une fonction en série de Fourier.

La lecture des copies, très faibles dans l'ensemble, nous a amené les remarques suivantes :

Sur la forme, la présentation des calculs et des résultats sont en fait implicitement évaluées, tout résultat doit être mis en évidence, souligné ou encadré. L'orthographe est trop souvent indigente pour ce qu'on est en droit d'attendre de futurs ingénieurs. On a vu dans la première partie beaucoup de calculs barrés et refaits à la hâte dans un coin de feuille, le candidat ayant pris conscience de ses erreurs suite à une formule donnée par l'énoncé mais négligeant de ce fait tout effort de présentation.

Sur le fond, le correcteur sait tout de suite distinguer un candidat soucieux de rigueur, même si tous ses calculs n'ont pas abouti, de celui plus opportuniste, arrivant parfois au résultat de façon curieuse. Certains candidats vérifient l'homogénéité de leurs formules et le marquent à côté du résultat, cela participe de cette démarche de rigueur. Les fautes d'homogénéité flagrantes ont au contraire été immédiatement sanctionnées.

Les correcteurs ont apprécié les candidats qui ont fait le problème autant que possible dans l'ordre des questions en essayant de comprendre chaque problème au détriment de ceux pratiquant le grappillage de points.

### II) REMARQUES PARTICULIERES

1. Première question pas très facile il est vrai. Le plus rapide était d'utiliser l'équation locale  $\Delta V = 0$  mais attention au Laplacien en coordonnées cylindriques qui n'est pas  $\frac{\partial^2}{\partial r^2}$ . D'autres candidats ont utilisé le théorème de Gauss voire la capacité d'un condensateur cylindrique, mais il fallait éliminer la charge de l'armature intérieure. Cette question a mis en lumière aussi la baisse du niveau en mathématiques et en calcul en général, beaucoup de candidats écrivant par exemple que le logarithme de l'inverse d'un nombre est égal à l'inverse de son logarithme !

2. Beaucoup de candidats ont su dire que la trajectoire était radiale, mais combien de candidats ont intégré le principe fondamental de la dynamique appliqué à l'électron, d'un côté par rapport à t et de l'autre par rapport à r.

3. C'est ici que beaucoup de candidats, voyant la formule donnée par l'énoncé ont repris leurs calculs précédents. Parfois on a vu des racines apparaître miraculeusement dans certaines formules. Le changement de variable  $u = b/a$  a aussi souvent posé problème.

4. Trop de candidats ont ici cru retrouver leur cours sur le mouvement à force centrale et essayé de montrer que le moment cinétique était conservé. Le mouvement plan se prouvait simplement en projetant le principe fondamental de la dynamique selon Oz, mais sans supposer dès le départ dans l'expression de la force de Lorentz que la vitesse était déjà dans un plan ! Il n'y a évidemment pas d'énergie potentielle associée à la force magnétique qui ne travaille pas.

5. Beaucoup ont su appliquer le théorème du moment cinétique mais peu ont pensé à l'intégrer par rapport au temps pour obtenir une constante du mouvement, ce qui leur a évidemment manqué pour la suite de ce problème. Certains se sont aperçu seulement à ce niveau que le moment cinétique n'était pas conservé et ont repris la question 4 avec des pages entières de calculs barrés. Il est donc souvent utile de lire les questions qui suivent avant de se lancer dans trop de calculs.

6. Question qui a été faite en général par ceux (peu nombreux) qui avaient su faire la question 5, il suffisait d'annuler la vitesse radiale en  $r = b$ .

7. Il suffisait de montrer ici que la vitesse angulaire des électrons ne pouvait être indépendante du rayon  $r$  dans ce modèle sans charge d'espace.

8. Cette question a pu être faite même par des candidats qui n'avaient pas fait ce qui précédait, encore fallait-il exprimer correctement l'accélération pour un mouvement circulaire uniforme que beaucoup ont supposé nulle !

9. Question pas très facile il est vrai à comprendre dans sa rédaction. De ce fait elle a dérouté les meilleurs candidats.

10. Obtenir un ordre de grandeur aberrant pour le potentiel ou le champ magnétique devrait appeler une remarque pour suspecter une erreur de calcul.

11. La question certainement la plus prisée des candidats. Attention de ne pas confondre symétries et invariances. Ce n'est pas parce qu'un champ électrique ne dépend que de  $r$  (invariance par rapport à  $\theta$  et  $z$ ) qu'il est radial, c'est parce qu'il appartient aux plans de symétrie.

12. Certains candidats n'ont pas lu assez attentivement la question : ils ont un champ électrique qui dépend de  $r$  et se retrouvent donc avec une équation différentielle à résoudre.

Attention de comparer des grandeurs comparables : pour prouver que la déviation  $\Delta r$  est négligeable, il faut la comparer au rayon «  $a$  » du faisceau et non pas à 1, ce qui est une grave faute d'homogénéité !

13. Question pas très difficile, l'intégration de l'équation de Maxwell-Gauss a souvent été faite avec plus ou moins de bonheur. Là aussi pour trouver  $I_2$ , il fallait comparer une différence de potentiel à un autre potentiel et à rien d'autre.

14. Il fallait supposer se placer à un instant  $t$  donné et supposer le potentiel uniforme dans les espaces de glissement de longueurs  $l$  et  $L$ .

15. Cette question devait être faite avec le théorème de l'énergie cinétique et non pas avec le principe fondamental de la dynamique. La non résolution de cette question a bloqué beaucoup de candidats pour toutes les questions 17 à 24.

16. Une réponse qualitative était attendue. A noter que beaucoup de candidats parlent d'un électron subissant une force dissipative de frottement. C'est utilisé dans certains modèles mais au niveau microscopique, il n'y a pas de frottements pour un électron mais essentiellement des interactions électromagnétiques.

17. Il suffisait de faire le lien entre vitesse, distance et temps, mais encore fallait-il avoir fait la question 15.

18. Question très fine qui permettait de comprendre l'intérêt du klystron avec l'image donnée par son concepteur des voitures quittant San Francisco à intervalles réguliers et arrivant par paquets à Palo Alto. Quelques très rares candidats ont compris la notion de paramètre de groupement.

19 à 24. Questions abordées par très peu de candidats, certains ont pu calculer la distance  $L_m$  correspondant à l'accord du klystron à partir de la courbe donnée.

25. Question de cours sur le condensateur plan faite par beaucoup de candidats.

26. Trop de lignes de champ non orientées et non perpendiculaires aux conducteurs ou aux surfaces équipotentielles. Le théorème des éléments correspondants n'a pas été correctement appliqué en général.

27. Question assez fine, quelques candidats ont compris que l'électron, en influençant une grille puis l'autre engendrait un courant électrique "par influence" dans le circuit de détection que certains ont appelé à tort courant induit.

28. Exemple typique de question à laquelle des candidats ont répondu sans avoir fait ce qui précédait et sans raisonnement construit, ce qui donne peu de crédit à la dite réponse même si elle est juste ( $i_D$  était effectivement nul).

29. Question très rarement traitée.