

2.2. D - PHYSIQUE II - Filière MP

I) REMARQUES GENERALES

La notion de diode sert de fil directeur au problème. La première partie propose l'étude élémentaire de la diode à vide dans le modèle cartésien qui aboutit à la loi de Child-Langmuir. La deuxième partie aborde la physique de la jonction PN. Il ne s'agit pas d'obtenir la caractéristique de cette diode, mais plutôt de montrer à partir de considérations physiques simples qu'une jonction PN polarisée en inverse est équivalente à un condensateur de capacité contrôlée par la tension de polarisation. Une troisième partie envisage une application électronique d'une jonction polarisée en inverse. Il s'agit de constituer un filtre passe-bande accordable susceptible de sélectionner un signal radio centré autour de la fréquence porteuse d'une station radio.

Ce problème a été abordé de multiples fois dans différents concours par le passé et ne devait dérouter aucun étudiant. Sur le plan technique, il ne comprenait aucune difficulté et a permis, ce qui est le but du concours commun mines-ponts, de départager les meilleurs candidats. Le niveau d'ensemble est faible. Une proportion considérable d'étudiants est incapable de répondre aux questions très proches du cours qui émaillent le sujet.

Cette année encore les questions qualitatives ont été l'occasion d'un défouloir général pour une grande majorité d'élèves qui pensent grappiller quelques points à peu de frais. Le raisonnement qualitatif représente le sommet de l'art du physicien. Il nécessite une grande rigueur intellectuelle. Pour élaborer une réponse qualitative, il faut partir de prémisses physiques clairement énoncées, puis dégager de façon rationnelle leurs conséquences. Un travail en profondeur des concepts du cours de physique est un préalable nécessaire pour réussir ce genre d'exercice.

Malgré quelques légers progrès, on lit encore trop de copies où les résultats ne sont ni encadrés ni même soulignés. L'orthographe demeure désastreuse et indigne de futurs ingénieurs.

II) REMARQUES PARTICULIERES

Question 1 : L'équation de Poisson est connue d'une écrasante majorité d'élève.

Question 2 : Répondre à la question, c'est évaluer le champ électrique entre cathode et anode pour une tension raisonnable. En négligeant la charge d'espace, on détermine le champ en fonction de la tension et de la distance entre cathode et anode et par la suite, son ordre de grandeur.

Peu d'élèves réussissent cette question.

Beaucoup sont incapables de donner l'unité correcte du champ.

De nombreux élèves tentent de calculer le champ électrique entre deux électrons voisins sans évidemment pouvoir relier la distance moyenne qui les sépare aux caractéristiques géométrique et électrique de la diode.

Question 3 : En général la question est bien réussie.

Question 4 : La question est bien traitée par une immense majorité, mais quasiment aucun candidat ne souligne que la fonction vitesse $v(x)$ doit être choisie positive puisque les électrons émis par la cathode se dirigent vers l'anode portée à un potentiel positif. Cette remarque aura une incidence à la question 7.

Question 5 : La notion d'intensité n'a de sens que si la convention d'orientation est précisée. Les candidats n'en prennent pas conscience, ce qui les gênera beaucoup par la suite.

On pouvait utiliser la convention réceptrice de la diode (ce que proposait implicitement l'énoncé) en écrivant $I = - \rho v S > 0$ ou poser $I = \rho v S < 0$ en convention génératrice.

Question 6 : On attend simplement que les candidats rappellent la conservation de la charge en régime permanent et déduisent dans la géométrie du problème l'indépendance de la densité de courant vis à vis de l'espace. Beaucoup trop d'entre eux ont produit des raisonnements ridicules visant à prouver que les variations spatiales de ρ compensent celles de v .

Question 7 : Le texte annonce clairement le signe positif du facteur a . Bien peu d'élèves parmi ceux qui ont choisi la convention génératrice osent s'interroger sur ce signe qui est tributaire du choix de convention de la question 5.

Question 8 : La question est calculatoire et sélective. Il faut montrer que le potentiel varie comme la puissance $4/3$ de x .

Question 9 : La réponse découle directement de la question précédente.

Question 10 : On souhaite une remarque physique simple sur le sens du champ électrique qui empêche ou autorise le mouvement des électrons entre cathode et anode pour éprouver la cohérence du résultat précédent. Mais de nombreux élèves donnent une justification mathématique sans la relier à la physique de la diode.

Question 11 : Il s'agit de tracer la caractéristique et de vérifier que ce dispositif, ne laissant pas suffisamment passer le courant pour une tension de 10V, ne se comporte pas comme une diode. Le tracé est rarement en accord avec le choix de convention. L'application numérique est encore plus rarement juste. Mais les étudiants qui ont obtenu un courant faible, aboutissent à une conclusion correcte.

Question 12 : Les interactions entre électrons que peuvent envisager les étudiants sont les suivantes :

- l'interaction électrique en régime permanent
- l'interaction magnétique liée aux mouvements électroniques
- les chocs

Il s'agissait simplement de savoir si au moins une de ces interactions avait été négligée où prise en compte de manière partielle. Malheureusement beaucoup trop de candidats se sont livrés à un verbiage stérile souvent dénué de sens.

Question 13 : A température nulle, la conductivité d'un semi-conducteur est nulle, car il ne possède aucune charge libre. Lorsque la température augmente le texte indique qu'il y a création de paires électron-trou par le processus d'ionisation thermique. Ainsi le nombre de porteurs de charge croît avec la température et par suite la conductivité.

Un métal possède des électrons libres et conduit donc l'électricité. Lorsque la température s'accroît le nombre de porteurs ne varie pas, par contre la fréquence des collisions des

électrons avec les ions du cristal métallique croît, ce qui ralentit le mouvement d'ensemble des porteurs. Ainsi la conductivité d'un métal décroît avec la température.

On attend des élèves une réponse argumentée à partir d'éléments fournis par le texte (modèle des semi-conducteurs) ou de connaissances du cours (modèle de Drude). Ici encore, le jury a lu des élucubrations très fantaisistes qu'il a justement sanctionnées.

Question 14: En général, la question est bien traitée.

Question 15: Il suffisait de rappeler la neutralité de la jonction. Il y a parfois des erreurs de signe.

Question 16 et 17: Questions faciles et pourtant assez sélectives. Beaucoup de candidats ont obtenu des expressions exactes des champs et des potentiels sans pouvoir les représenter correctement. D'autres ont obtenu des champs électriques discontinus alors que les densités de charges sont volumiques.

Question 18: La réussite à cette question dépend directement des résultats de la question 17.

Question 19: La question est relativement bien réussie par ceux qui ont répondu correctement à la question 18.

Question 20: Il s'agit de représenter correctement le graphe $i(V)$ avec son asymptote. Trop de candidats en sont incapables. Il y avait ici quelques points faciles à grappiller à condition de répondre point par point aux questions posées. Que de réponses fantaisistes pour désigner le facteur $K T$!

Question 21 : Cette question est sans doute la plus difficile du problème. C'est une question qualitative et elle suscite comme précédemment des développements creux ou absurdes. Les étudiants devraient s'interdire d'écrire quoi que ce soit quand ils ne savent pas, par simple respect pour le jury.

Questions 22 et 23: Seuls les bons candidats conduisent correctement les calculs.

Questions 24, 25 et 26: Ces questions étaient extrêmement faciles. Le jury a été très déçu par le traitement de ces petites questions de cours que le barème valorisait généreusement. Certains élèves ne réussissent pas à obtenir l'expression de la fonction de transfert. D'autres, très nombreux, sont incapables de déduire le facteur de qualité à partir de celle-ci. Les tracés du diagramme de Bode et du diagramme asymptotique associé révèlent le faible niveau des candidats. La question 25 a été redoutablement sélective!

Question 27 et 28: Seuls quelques très rares candidats apportent une réponse partielle à ces questions.

Question 29: La question est très peu traitée et les réponses justes sont rares.