

EPREUVE DE PHYSIQUE C
ENS : ULM

Durée : 6h
Coefficients : 6

MEMBRES DE JURYS : J. Estève, J. Gabelli, F. Levrier, G. Semerjian

Le problème a pour but d'expliquer l'apparition de fluctuations du courant électrique dans un conducteur métallique de taille micrométrique. Ce problème est composé de cinq parties largement indépendantes et s'appuie sur des résultats expérimentaux extraits d'un article de recherche. La première partie décrit le dispositif expérimental permettant la mesure des fluctuations du courant électrique. Elle consiste à étudier un filtre passe-bande actif du deuxième ordre et à déduire des résultats expérimentaux présentés la densité spectrale du bruit en courant $S_2(I)$ générée par le conducteur étudié. Celle-ci évolue linéairement avec le courant continu qui traverse le conducteur. La notion de densité spectrale de bruit est introduite à l'aide de la notation complexe des grandeurs électriques. La deuxième partie montre les limites du modèle de Drude en distinguant le cas des collisions purement élastiques de celui des collisions purement inélastiques. Cette partie s'achève par une description qualitative de la distribution des vitesses des électrons. La statistique de Maxwell-Boltzmann est comparée à celle de Fermi-Dirac et la vitesse quadratique moyenne des électrons est évaluée à l'aide de la vitesse de Fermi. La troisième partie propose ensuite une description purement quantique du transport électronique. Le transport électronique est décrit par des canaux élémentaires de conduction permettant le passage aléatoire des charges élémentaires. Ce modèle permet d'expliquer l'apparition de fluctuations du courant électrique, cependant, la densité spectrale de bruit calculée ne correspond pas à celle mesurée dans la première partie. La quatrième partie présente la description microscopique permettant d'expliquer les résultats expérimentaux observés. Elle exploite, après l'avoir démontrée, la loi de Wiedemann-Franz et ramène le problème des fluctuations du courant électrique à un problème couplant électrocinétique et conduction thermique. La densité spectrale calculée $S_2(I) \approx \sqrt{3/4} I$ est alors en parfait accord avec les résultats expérimentaux. Finalement la cinquième partie traite la validité des hypothèses utilisées dans la partie précédente et montre les limites d'une description de ces fluctuations en terme de source de courant liée.

Le jury a eu le plaisir de corriger de très bonnes copies de candidat(e)s faisant preuve de concision dans la rédaction, de persévérance devant des problèmes nouveaux, et témoignant d'une honnêteté intellectuelle et d'une culture en physique qui ont été récompensées. Certaines questions ont toutefois révélé des lacunes partagées par un grand nombre de candidat(e)s :

- Q1 : peu de candidat(e)s énoncent clairement les caractéristiques d'une source de courant idéale ou d'un amplificateur opérationnel idéal.
- Q6 : un diagramme de Bode ne se résume pas au tracé approximatif de deux asymptotes. Le comportement du filtre dans sa bande passante est une donnée importante.

- Q19 : le calcul de la probabilité de l'intersection de deux évènements ne se traduit pas par de vagues opérations algébriques.
- Q24 : le jury attend des candidat(e)s qu'ils utilisent les résultats démontrés dans les questions précédentes. De nombreux candidat(e)s ont introduit artificiellement une force de frottement visqueux de la forme $-1/\tau_e \vec{v}$ pour retrouver la loi d'Ohm locale.
- Q37 : l'utilisation d'une formule mathématique ne vaut que si les implications physiques qu'elle traduit sont comprises. La représentation graphique est une aide précieuse à cette compréhension, elle doit être faite avec soin.
- Q50 : de nombreux candidat(e)s, faute de lire attentivement l'énoncé, ont déduit la longueur caractéristique l_0 après avoir exprimé la transmission $D(L)$ en fonction de L, l_0 et D au lieu de L et l_0 . Le sens physique de l_0 est alors totalement altéré.
- Q64-Q67 : l'utilisation d'un bilan d'énergie effectué sur un intervalle de temps δt pour calculer une puissance surfacique n'est maîtrisée que par trop peu de candidat(e)s.
- Q72 : l'orientation des flux thermiques lors des bilans de puissance est primordiale. Si celle-ci est fautive, le jury attend du candidat(e) qu'il constate que le résultat qui en découle est physiquement impossible.
- Q82 : les lignes de champ électrique sont des courbes orientées.
- Q83 - Q84 : La loi de Coulomb pour déterminer la densité surfacique d'un conducteur à l'équilibre est trop souvent ignorée.