

Rapport sur l'épreuve de physique PSI (Ulm, 6h)

Membres du jury : Erwann Bocquillon, Sylvain Nascimbène, Raphaël Saint-Jalm

Commentaires généraux

L'épreuve de physique pour le concours PSI, session 2018, portait sur l'étude d'un dispositif supraconducteur (la jonction Josephson) ainsi que sa mise en œuvre à basse température dans un réfrigérateur à dilution.

Le sujet était divisé en deux parties largement indépendantes. Chacune comportait plusieurs sous-parties, et s'appuyait sur différentes notions du programme de 1^{ère} et 2^e années PCSI/PSI. Les questions de calcul ont reçu peu de points, sauf si elles appelaient un développement long. Pour ce type de questions, un minimum de justifications est attendu et le jury a été particulièrement vigilant à la rigueur des calculs. L'analyse des résultats et des formules établies a souvent été évitée par les candidats alors que le jury a apprécié et valorisé ceux qui ont proposé des commentaires construits et justifiés, même s'ils n'étaient pas complètement aboutis. De même, les applications numériques ont souvent été négligées, ce qui est regrettable et dommageable pour les candidats. Le jury cherche en effet à recruter de futurs physiciens ayant une capacité à estimer rapidement les ordres de grandeurs des différents paramètres régissant un problème.

Première partie

La première partie traitait de la physique des jonctions Josephson, dispositifs supraconducteurs imaginés en 1962 et dont les équations électrocinétiques sont très inhabituelles. Ces jonctions sont devenues un élément central de la métrologie moderne, et leurs différentes variantes font encore l'objet de nombreuses études à l'heure actuelle.

Section 1

Dans la première sous-partie, le candidat dérivait les équations Josephson et en étudiait les solutions dans un régime statique.

Les premières questions visaient à obtenir les équations Josephson par la résolution de l'équation de Schrödinger adéquate. Celle-ci n'était évidemment pas au programme et a donc été donnée. La plupart des candidats ont correctement su résoudre les questions de calcul (80 % de réponses correctes à Q2/3/4) et obtenir les équations Josephson (50% à Q7). De manière regrettable, l'estimation du rapport f_J/V a donné lieu à de nombreuses erreurs, notamment lors de la conversion dans les unités naturelles GHz/ μ V. En revanche, l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde (Q1) et le travail des forces électriques (Q8), pourtant au programme ont posé beaucoup de problèmes.

Les sections suivantes portaient sur la réponse à un champ magnétique d'une jonction simple ou d'un montage de deux jonctions en anneaux (SQUID).

Même si l'obtention des courants critiques de chaque montage (Q12 et Q14) a parfois posé des difficultés, ces deux sections ont surtout permis de mettre en évidence d'importantes lacunes pour en tracer l'allure une fois la formule obtenue (Q13 et Q14). Il est souhaitable que les candidats acquièrent des réflexes simples pour analyser les propriétés (périodicité, monotonie, signe, zéros) des fonctions à tracer. La question 17, assez ouverte, a été peu traitée. Le jury a valorisé les réponses souvent pertinentes mais rarement totalement abouties des candidats qui se sont risqués à y répondre.

Section 2

Dans la seconde sous-partie, la dynamique des jonctions Josephson était étudiée, sous la forme d'un circuit électrique (modèles RSJ et RCSJ), et d'un problème de mécanique équivalent.

Les questions Q18 à Q29 nécessitaient peu de calcul mais permettaient de jauger efficacement la capacité des candidats à comprendre qualitativement la dynamique du système. Alors que les questions Q18 à Q20 ont été relativement bien traitées, le développement au voisinage d'un minimum de potentiel a été décevant (Q21). Ensuite, peu de candidats ont réussi à mener les raisonnements qualitatifs et les calculs jusqu'à la fin, mais le jury a largement récompensé ces efforts.

La seconde moitié (Q30 à Q38) s'intéressait à la réponse du système à un forçage sinusoïdal, dans lequel un verrouillage de phase peut apparaître. Peu de candidats ont traité cette partie plus mathématique.

Partie II

La seconde partie avait pour but de décrire les principes de base d'un réfrigérateur à dilution, dispositif cryogénique atteignant des températures de l'ordre de 10 mK. Chaque section ou sous-section en décrivait un mécanisme, afin de pouvoir proposer un modèle complet bien que rudimentaire de cet équipement, incontournable des laboratoires de physique de l'état solide.

Section 3

Les questions Q39 à Q47 étaient centrées sur la modélisation du circuit de pré-refroidissement à Hélium 4 pompé. La description, assez grossière, visait à obtenir la puissance frigorifique et la température limite d'un tel montage dans des conditions réalistes.

60% des étudiants ont su démontrer la relation de Clapeyron, mais trop peu ont réussi à obtenir les températures limites. À nouveau, les candidats s'en sont trop souvent tenus à l'expression littérale et ne font pas l'application numérique, pourtant fortement valorisée.

Section 4

Cette section se penchait sur plusieurs aspects du circuit principal de dilution, contenant le mélange binaire $^3\text{He}/^4\text{He}$ et qui permet d'atteindre 10 mK.

Le diagramme binaire a semblé être bien compris dans l'ensemble, même si une partie des candidats a inutilement perdu des points en ne répondant pas à toutes les sous-questions de Q49. En revanche, la partie sur la pression osmotique, notion au programme en PSI, a été dans l'ensemble mal traitée. La réponse à Q51 a souvent été insuffisamment justifiée tandis que les calculs des questions suivantes ont rarement abouti à l'expression correcte de la pression osmotique.

Le jury a été surpris par la qualité des réponses dans la dernière partie. Le calcul des puissances frigorifiques du circuit de dilution a été souvent bien mené, démontrant la maîtrise des outils au programme sur les systèmes thermodynamiques ouverts.