

Modes collectifs d'un supraconducteur

Hadrien Kurkjian

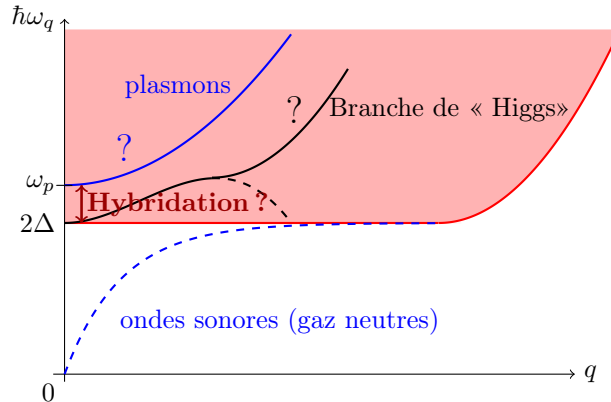
Laboratoire de physique théorique, université Paul Sabatier

(Stage théorique à l'interface entre matière condensée et gaz quantiques)

Les supraconducteurs sont des systèmes que l'on connaît à la fois très bien et très mal. D'un côté, on maîtrise bien la phénoménologie de ces systèmes (la résistivité qui chute à zéro sous la température critique, l'effet Meissner, la cohérence macroscopique entre les paires de Cooper). De l'autre, il demeure sur les supraconducteurs des questions ouvertes parmi les plus importantes de la physique quantique à N corps. C'est le cas notamment pour le spectre d'excitation d'un supra (même conventionnel) comme l'illustrent les récentes controverses sur l'existence d'une branche de Higgs [1, 2]. Ainsi, alors qu'on sait depuis Anderson [3] que les fluctuations de phase du paramètre d'ordre ne donnent pas lieu à un mode acoustique (un mode de Goldstone dirait-on en physique des hautes énergies) dans un supraconducteur, mais à une branche de plasmons (c'est le mécanisme de Higgs-Anderson), on ne sait toujours pas calculer la relation de dispersion (et notamment pas le taux d'amortissement) de ces plasmons lorsqu'ils se couplent au continuum de brisure des paires de Cooper. Lorsque l'énergie plasma est comparable au gap du supra, on imagine que les plasmons s'hybrident avec le mode de Higgs pour former un mode habillé (voir la figure ci-dessous), bien plus facilement observable que le mode de Higgs nu, et pourtant jamais décrit à ce jour.

L'objectif principal du stage sera donc d'établir analytiquement une équation de dispersion décrivant les modes collectifs. On s'inspirera du calcul fait pour un gaz de fermions non chargés [4], en ajoutant l'interaction de Coulomb à l'interaction de contact. Si la durée du stage le permet (l'étudiant est encouragé à poursuivre prolonger son stage après la fin mai), on utilisera les méthodes développées pour les fermions neutres (notamment un ensemble de programmes en fortran) pour isoler les solutions de l'équation de dispersion. À plus long terme, on pourra s'intéresser à d'autres effets propres aux supraconducteurs, comme le couplage aux phonons du réseau cristallin [5], ou la présence d'impuretés limitant le temps de vie des excitations fermioniques [6, 7].

Une rémunération du stage est prévue, notamment pour un stage étendu.



Références

- [1] H. KURKJIAN, S. N. KLIMIN, J. TEMPERE et Y. CASTIN : Pair-Breaking Collective Branch in BCS Superconductors and Superfluid Fermi Gases. *Phys. Rev. Lett.*, 122:093403, mars 2019.

- [2] P. B. LITTLEWOOD et C. M. VARMA : Amplitude collective modes in superconductors and their coupling to charge-density waves. *Phys. Rev. B*, 26:4883–4893, novembre 1982.
- [3] P.W. ANDERSON : Random-Phase Approximation in the Theory of Superconductivity. *Phys. Rev.*, 112: 1900–1916, 1958.
- [4] H. KURKJIAN, J. TEMPERE et S. N. KLIMIN : Linear response of a superfluid Fermi gas inside its pair-breaking continuum. *Scientific Reports*, 10(1):11591, 2020.
- [5] Romain GRASSET, Yann GALLAIS, Alain SACUTO, Maximilien CAZAYOUS, Samuel Mañas VALERO, Eugenio CORONADO et Marie-Aude MÉASSON : Pressure-Induced Collapse of the Charge Density Wave and Higgs Mode Visibility in $2H\text{-TaS}_2$. *Phys. Rev. Lett.*, 122:127001, Mar 2019.
- [6] S.N. ARTEMENKO et A.F. VOLKOV : Collective excitations with a sound spectrum in superconductors. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.*, 69:1764, 1975. [English version : JETP, Vol. 42, No. 5, p. 896, 1975].
- [7] Yoji OHASHI et Satoshi TAKADA : Goldstone Mode in Charged Superconductivity : Theoretical Studies of the Carlson-Goldman Mode and Effects of the Landau Damping in the Superconducting State. *Journal of the Physical Society of Japan*, 66(8):2437–2458, 1997.