

Raport de stagiul de cercetare în cadrul LPS, Université Paris-Sud, Franța

Solicitant: Sticleț Doru Cristian

Echipa de cercetare: E4

Tipul acțiunii: Stagiul de cercetare (SC)

Destinația: Orsay, Franța

Perioada: 1-30 Sept. 2019

Scop: Dezvoltarea de colaborări cu grupuri externe pe tematica fazelor topologice în materia condensată.

Activități :

1. Obiectivul științific principal în cadrul stagiului a fost investigarea efectelor geometrice de fază Berry în supraconductori, datorate unei faze neuniforme în parametrul supraconductor.

Cadru general. În mecanica cuantică, funcțiile de undă pot dobândi o fază nontrivială datorită evoluției adiabatică pe un circuit închis într-un spațiu general de parametrii. Această fază are efecte fizice observabile în diverse sisteme cuantice. Consecințele ei pot fi de exemplu identificate în efectele datorate magnetismului orbital, în efectele de interferență Aharonov-Bohm, în conductivitatea optică din anumiți semiconductori etc.

Problema. Decelarea efectelor datorate fazei Berry într-un supraconductor cu o fază neuniformă.

Faza Berry modifică funcțiile de undă ale sistemului, însă nu energia. Din acest motiv trebuie să mergem dincolo de un calcul al spectrului supraconductorului și să calculăm funcțiile Green ale sistemului. Cu ajutorul lor putem mai apoi calcula densitatea de stări în sistem și în final energia liberă a supraconductorului.

Scopul. Vrem să vedem dacă în mod spontan, faza supraconductorului poate deveni neuniformă pe baza unui calcul al energiei libere în supraconductor.

Abordare. Pentru a atinge scopul am calculat funcțiile Green în sistem. Am recurs la o teorie a perturbației în gradienti spațiali, presupunând o variație lentă a fazei supraconductive. În mod general avem pentru funcția Green dezvoltarea:

$$G = G_0 + G_1 + G_2 + \mathcal{O}(\nabla_r^3). \quad (1)$$

La primul ordin in gradient avem dezvoltare cu următoarea formă diagramatică:

$$G_1 = \frac{i}{2} (G_0 \nabla_k H G_0 \nabla_r H G_0) - (\nabla_k \leftrightarrow \nabla_r) \equiv \text{---} \begin{array}{c} \times \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} \quad (2)$$

Primul ordin depinde de hamiltonianul Bloch-Bogoliubov-de Gennes supraconductor H , care este funcție de poziție \mathbf{r} prin faza parametrului supraconductor.

La ordinul doi avem dezvoltarea:

$$G_2 = \frac{1}{2} \times \begin{array}{c} \times \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} + \begin{array}{c} \times \quad \times \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} + \begin{array}{c} \times \quad \times \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} + \begin{array}{c} \times \quad \times \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} \quad (3)$$

$$+ \begin{array}{c} \times \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} + \begin{array}{c} \times \quad \times \\ \diagup \quad \diagdown \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} + \begin{array}{c} \times \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---} + \begin{array}{c} \times \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---} \end{array} \text{---}$$

Funcțiile Green servesc apoi la calculul densității de stări, și apoi în calculul energiei libere a supraconductorului, care are o expansiune similară în gradienti $F = F_0 + F_1 + F_2 + \dots$

Pentru a avea efecte vizibile trebuie să găsim $F_1 \neq 0$, care indică că, în mod spontan, faza supraconductoră vrea să dobândească o modulare spațială. Acest comportament este așteptat pentru supraconductori noncentrosimetrice, care nu au invarianță la inversie.

Am cercetat două exemple simple de astfel de supraconductori, cu cuplaj spin-orbită Ising și Rashba, însă cu rezultat negativ. Faza supraconductoră tine să rămână omogenă spațial. Aceasta este datorită structurii de tip undă s pe care am ales-o pentru parametru supraconductor.

Credem că în prezența unui cuplaj supraconductor de tip triplet, vom găsi faze neomogene, cum au fost deja prezise.^{1,2} Dacă vom reuși să tratăm aceste cazuri mai complicate și să extragem efectele datorită fazei Berry, credem că rezultatele vor fi suficiente pentru o publicație științifică.

2. Diseminare. Am ținut un seminar științific despre cercetarea realizată la INCDTIM în grupul nostru pe tematica stărilor legate Majorana, care pot fi produse prin depunere de impurități magnetice (atomi ori molecule) pe un substrat supraconductor NbSe₂. Prezentarea a continuat cu discuții cu teoreticienii, cât și cu un grup experimental care a investigat în detaliu fizica supraconductorilor din NbSe₂.

3. Colaborări viitoare. Coordonatorul stagiului F. Piéchon s-a declarat interesat să răspundă cu o vizită de 1-2 săptămâni la INCDTIM, primăvara sau toamna 2020, pe o finanțare proprie pentru a continua colaborarea cu grupul din Cluj.

Am efectuat două vizite de lucru la Institutul de Fizică teoretică, CEA Saclay-Paris în grupul lui C. Bena. Aici am discutat posibilitatea de a colabora pe tema impurităților magnetice în supraconductori și a stărilor induse de ele. S-a discutat și problema unor vizite comune în viitor din finanțarea CEA (fără dată precizată).

Am discutat cu cercetătorul J. N. Fuchs despre posibile colaborări pe tematica fazelor topologice în materia condensată, în cadrul LPTMC, Université Paris 6, cu posibile vizite reciproce (fără dată precizată).

Am discutat cu cercetătorul A. Mesaros și cu profesorul P. Simon despre posibilitatea extinderii studiului impurităților magnetice, la texturi magnetice în supraconductori.

Beneficii:

- Creșterea vizibilității cercetării românești prin prezentări ale activității ei în exterior.
- Asigurarea de vizite reciproce cu partea franceză pentru a asigura creșterea *know-how*-ului în cadrul INCDTIM în tematica fazelor topologice în materia condensată.
- Delegatul a dobândit competențe în calculul energiei libere în supraconductori noncentrosimetrice.

4.10.2019

Sticleț Doru



¹ V. P. Mineev and K. V. Samokhin, Phys. Rev. B **78**, 144503 (2008).

² K. Samokhin, Physica C: Superconductivity **489**, 19 (2013).