

О статье Л.П. Горькова “Об энергетическом спектре сверхпроводников”

Л.П. Питаевский

Представляемая статья Л.П. Горькова [1] (“Об энергетическом спектре сверхпроводников”, ЖЭТФ, 34, 735 (1958)) является одной из самых важных работ по теории сверхпроводимости, выполненных после выхода статей Бардина–Купера–Шриффера (БКШ) [2]. В этих статьях и последовавшей за ними работе Боголюбова [3] была развита микроскопическая теория сверхпроводимости. Но оставались неясными важные принципиальные вопросы.

Теория предсказывала фазовый переход второго рода в сверхпроводящую фазу, но что именно является параметром порядка для этого перехода, оставалось неизвестным. Фактически физический смысл перехода не был объяснен. Также оставалась неясной связь с весьма успешной полуприноменологической теорией Гинзбурга–Ландау.

Методы, как БКШ, так и Боголюбова могли быть применимы лишь к “чистым” сверхпроводникам. В первоначальном виде они также не позволяли немедленного обобщения на задачи, связанные с поведением сверхпроводников в сильных магнитных полях, и были ограничены приближением слабой связи.

Работа Горькова [1] основана на глубокой физической идее. Автор понял, что переход в сверхпроводящее состояние можно рассматривать в некотором смысле как бозе-эйнштейновскую конденсацию куперовских пар. Неустойчивость к образованию этих пар была обнаружена в оригинальной статье Купера [4] и их существование лежало в основе теорий Бардина–Купера–Шриффера [2] и Боголюбова [3].

Горьков показал [1], что аналитически это выражается в появлении в разложении двухчастичной функции Грина аномальных функций Грина типа $\langle T(\psi(x_1))\psi(x_2) \rangle$ и $\langle T(\psi^\dagger(x_1))\psi^\dagger(x_2) \rangle$ (см. уравнение (5)). Таким образом сверхпроводящий переход, как это следует из этой и последующих работ автора, характеризуется появлением недиагонального дальнего порядка. Комплексным параметром порядка для этого перехода и является аномальная функция Грина, точнее ее значение для совпа-

дающих временных аргументов, имеющее смысл волновой функции пары. В рассмотренной автором модели слабой связи модуль этой величины оказалась пропорциональной щель в энергетическом спектре. Уравнения Горькова обладают явной градиентной инвариантностью, которую нелегко проверить в предыдущих подходах.

В дальнейшем Горьков показал, что вблизи температуры перехода T_c его параметр порядка удовлетворяет уравнению Гинзбурга–Ландау, но заряд электрона e в этих уравнениях нужно заменить на заряд пары $2e$ [5]. Кстати, это сразу улучшило согласие с экспериментом.

Работа Горькова [1] имела большое практическое значение для ученых, работающих в этой области. Вычисления "по Горькову" существенно проще, чем с использованием предыдущих методов. Достаточно отметить, что в этой трехстраничной работе не только сформулирован совершенно новый метод, но и вычислены энергетический спектр и теплоемкость. Но главное, что техника Горькова позволяет решать задачи, где недостаточно первого приближения, а нужно суммировать бесконечное число членов. Уравнения Горькова имеют удобную диаграмматическую интерпретацию, что позволяет графически выделить главные члены и просуммировать их.

Замечательным приложением этих возможностей явились совместные работы Абрикосова и Горькова по теории сверхпроводящих сплавов [6]. Разумеется, даже важнейшие результаты полученные этим методом невозможно перечислить.

Замечу в заключение, что работа Горькова [1] превосходно написана и читать ее большое удовольствие. Даже сейчас, через столько лет, в ней не нужно изменить ни слова - это родовая черта классических работ.

[1] Л. П. Горьков, ЖЭТФ **34**, 735 (1958).

[2] J. Bardeen, L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer, Phys. Rev. **106**; 162 (1957), **108**, 1175 (1957).

[3] Н. Н. Боголюбов, ЖЭТФ, **34**, 58 (1958).

[4] L. N. Cooper, Phys. Rev. **104**, 1189 (1956).

[5] Л. П. Горьков, ЖЭТФ **36**, 1918 (1959).

[6] А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, ЖЭТФ **35**, 1558 (1959); **36**, 319 (1959).

Л. П. Питаевский