

Отзыв на магистерскую квалификационную работу У. Е. Ходаевой
“Модификация состояний в коре сверхпроводящего вихря при наличии плоского дефекта”

В работе У. Е. Ходаевой изучается энергетический спектр состояний, локализованных в коре абрикосовского вихря. В чистом случае эта задача была решена Кароли, Де Женном и Матриконом (Caroli, de Gennes, and Matricon). Они получили эквидистантный спектр возбуждений с расстоянием между уровнями, $\omega_0 \sim \Delta^2/E_F$, что с квазиклассической точностью ($\Delta \ll E_F$) эквивалентно непрерывному спектру. Эта аномальная киральная ветвь возбуждений определяет теплоемкость и проводимость сверхпроводника в вихревом состоянии. Наличие сколь угодно близких к поверхности Ферми состояний оправдывает название "нормальный" кор вихря. В то же время для джозефсоновского вихря все возбуждения оказываются выше энергетической щели Δ . Изменяя прозрачность границы можно непрерывно перейти от абрикосовского вихря к джозефсоновскому и поэтому задача о том, что происходит с локализованными уровнями представляет значительный интерес.

Оказывается, что наличие границы приводит к появлению щели в спектре возбуждений. В работе Ходаевой исследуется поведение спектра при прозрачности очень близкой к единице (малый коэффициент отражения R). В этом случае границу можно рассматривать, как возмущение и щель растет, как $E_g \sim \Delta\sqrt{R}$. Результаты сравниваются с работой Самохвалова с соавторами, где похожая задача решалась в рамках квазиклассического траекторий. Также рассмотрено обобщение задачи на случай разнообразных геометрий (вихрь на расстоянии от границы, несколько границ и т.п.). Все рассмотрение производилось в двумерном случае, где граница является не плоским объектом, а линией.

Пространственно неоднородные задачи в теории сверхпроводимости являются технически сложными. Только в редких случаях можно получить результаты аналитически, поэтому в работе активно использовались численные методы. Полученные результаты весьма интересны.

Среди недостатков работы отмечу некоторую небрежность, Например, рисунок 2.4 относится к третьей главе, но помещен, почему-то, во вторую. В уравнении (3.2), судя по всему ошибка в Latex. Во введении написано "But unlike type I superconductors, type II superconductors exhibit an intermediate phase...". Следовало бы знать, что промежуточное состояние (intermediate state), оно, как раз, реализуется в сверхпроводниках первого рода. Вихревое состояние сверхпроводников второго рода, изучаемое в работе, называется смешанным состоянием (mixed state). Есть и более серьезные вопросы к работе. Граница моделируется дельта функционным потенциалом, $V(x) = (\hbar^2\kappa/m)\delta(x)$. Судя по всему, предполагается, что $\kappa > 0$ (потенциальный барьер). Изменяются ли результаты для противоположного знака потенциал (потенциальная яма) остается неясным. Рассмотрение задачи о вихре на расстоянии от границы тоже вызывает вопросы. Вихрь притягивается к границе, почему он оказался на расстоянии? Если его там что то

дополнительное удерживает (что-то невразумительное про это написано), то надо изучать, как это "что-то" влияет на спектр возбуждений. Рассмотрение более сложных геометрий (пересекающиеся границы, звезды и т.п.) выглядит, как посчитаем, чтобы посчитать.

Несмотря на указанные недостатки, в квалификационной работе рассматривается интересная и важная задача, достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Я рекомендую оценить представленную работу оценкой "отлично" и присвоить У. Е. Ходаевой степень магистра.



Гешкенбейн Вадим Борисович, доктор физ.-мат. наук, профессор
4 июня 2022 г