Р Е Ц Е Н З И Я
на бакалаврскую работу

Серафима Сергеевича Бабкина

«Состояние Ю-Шибы-Русинова в грязном сверхпроводнике»

Хорошо известно, что на классической магнитной примеси, помещенной в сверхпроводник, возникает локализованное состояние, расположенной внутри щели (состояние Ю-Шибы-Русинова). В бакалаврской работе С. Бабкина исследуется задача о том, как добавление рассеяния на потенциальных примесях влияет на положение уровня энергии, локализованного на магнитной примеси. Для решения поставленной задачи рассматривается уравнение Узаделя с дельта-функционным источником, отвечающим многократным рассеяниям на магнитной примеси.

Автором проделана большая и кропотливая работа по анализу одномерного и двумерного случая. В одномерной геометрии уравнение Узаделя может быть проинтегрировано точно, что позволяет свести его решение к решению определенного алгебраического уравнения. Большая часть главы 2 посвящена анализу этого уравнения в различных предельных случаях, допускающих аналитическое рассмотрение.

Случай двумерной геометрии разобран в главе 3. Здесь решение нелинейного уравнения Узаделя не может быть получено в квадратурах, так что автор рассматривает его в ряде предельных случаях, когда решение может быть найдено в том или ином приближении. Важным результатом является понимание того факта, что ширина отклонения уровня от чистого случая по порядку величины совпадает с аналогичным размытием за счет мезоскопических флуктуаций, изучавшихся ранее.

Анализу результатов посвящен раздел 4. Заключительный раздел 5 подводит итоги дипломной работы.

Замечания общего характера

1. Используемый автором термин «зона» в применении к уширению единичного уровня представляется не самым удачным. Правильнее было бы вести разговор о функции распределения энергии связанного уровня (что сделано в разделе 2.4).

2. Вызывает вопрос о применимости описания, основанного на уравнении Узаделя, для вычисления функции распределения энергии локализованного состояния. Поскольку речь идет всего об одном уровне, следует ожидать, данная задача не решается в приближении среднего поля, к классу которого относится и уравнение Узаделя, написанное уже для усредненных по беспорядку величин. Здесь уместна аналогия с вигнеровским полукругом для плотности состояний случайных матриц размера N*N или же аналогичное выражение для плотности состояний на N-м уровне Ландау в присутствии беспорядка. И в том, и в другом случае полукруг возникает только в пределе большого N. В рассматриваемой задаче N=1, что должно приводить к сильному размытию корневых особенностей на краях «зоны». В

переработанной версии дипломной работы это замечание учтено в главе 4. С учетом сказанного, я бы не стал доверять результатам, показанным на графиках 2.5—2.8 (и аналогичных в разделе 3), где имеются корневые особенности.

3. Остается вопрос про применимость модели в (квази)одномерном случае. С одной стороны, автору требуется большое число каналов, чтобы можно было пренебречь эффектами локализации (раздел 2.4), т. е. фактически рассматривается не строго одномерный, а квазиодномерный случай. С другой стороны, решается одномерное уравнение Узаделя, как будто бы примесь была не точечной, а распределенной вдоль сечения провода.

Замечания частного характера

1. В разделе 2, используя разные приближения, решается алгебраическое уравнение (2.7). При этом на рис. 2.2 и 2.3 показаны только решения в разных асимптотических областях, кривые же в общем случае, показанные штриховой линией, просто дорисовываются. Аналогично обстоит дело и с рис. 2.5—2.8, где показана «качественная зависимость» плотности состояний от энергии. Считаю, что более правильным было бы показать результаты несложного численного решения уравнения (2.7).

2. Один из режимов, допускающий аналитическое решение указанных уравнений, характеризуется соотношением $\alpha \ll \gamma^4$. Границы «зоны» для этого режима построены на рис. 2.3. Однако, поскольку сам параметр γ обратно пропорционален кондактансу, возможность экспериментальной реализации такого режима представляется крайне проблематичной, как это, собственно, видно и из диапазона значений на рис. 2.3.

3. В разделе 2.1.4 рассматривается число подщелевых состояний для конкретного соотношения параметров, и получается 1/2. В то же время, в формуле (2.112) число состояний нормировано уже на 1. Какая нормировка правильная? По смыслу смещения единичного уровня это число не должно зависеть от конкретных деталей.

В заключение, отметим, что С. Бабкиным проделана большая работа по анализу поведения среднеполевой плотности состояний в различных режимах и пределах. С учетом вышесказанного, следует считать, что качественно эффект превращения уровня в «зону» описан правильно, однако количественно (включая, главным образом, корневые особенности на краях «зоны») — нет.

Несмотря на указанные недостатки дипломная работа С. С. Бабкина заслуживает оценки «отлично». Рекомендую присвоение автору квалификации «бакалавр».

Рецензент:

д.ф.-м.н.,
с.н.с. ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН М. А. Скворцов

23 июня 2021 г.