

**Рецензия на выпускную квалификационную работу на степень бакалавра
А.А. Люблинской «Состояние Ю-Шибы-Русинова в контакте нормальный металл –
сверхпроводник»**

В работе рассмотрена задача о влиянии магнитной примеси, находящейся в нормальной части SN или SNS контакта на такие сверхпроводящие свойства системы как энергия связанных состояний и вероятность андреевского отражения. Рассматриваются три одномерные задачи: чистый SNS контакт, чистый NS контакт и грязный NS контакт.

Задачи в чистом пределе решаются методом уравнений Боголюбова — де Жена. Результаты этого расчета могут быть применены к реальным системам, представляющим собой нанопровода в пределе одной поперечной моды квантования.

В грязном пределе решается уравнение Узаделя, обобщенное на случай сильной (неборновской) магнитной примеси. Здесь область применимости полученных результатов вызывает вопросы, т.к. чисто одномерная задача в диффузном пределе неизбежно связана с сильнейшими локализационными эффектами, которые в работе не учитываются. Можно попробовать придать непосредственный смысл полученным результатам, предположив, что рассматривается трехмерная задача, в которой примесь на самом деле является слоем, параллельным NS границе. Тогда математически задача сводится именно к одномерному уравнению Узаделя, однако такая модель выглядит несколько искусственной.

Кроме того, обобщенное уравнение Узаделя (5) не содержит никакой спиновой структуры. Оно справедливо для точечной примеси с заданным положением в пространстве, но после усреднения по направлениям магнитного момента примеси. Это также выглядит несколько искусственно.

В целом, по моему мнению, задача в чистом случае может иметь непосредственное применение к одномерным нанопроводам и служить первым шагом на пути к рассмотрению истинно трехмерных систем (в которых необходимо рассматривать различные углы падения на границу), тогда как задача в грязном пределе является полезным техническим упражнением, не применимым к реальным системам непосредственно.

Вышеприведенные комментарии относятся к постановке задачи. Что же касается представленных результатов, они интересны и их вывод довольно подробно изложен. Работа написана аккуратно и понятно.

Было бы интересно увидеть наглядные следствия уравнения (19) для андреевских уровней при наличии потенциала на границах в SNS контакте. Это позволило бы сравнить результаты для этого случая с аналогичными результатами рис. 2 в отсутствие отражения на границах. В заключении (раздел 5) утверждается, что отражение на границах не вносит качественных отличий. В то же время, наличие потенциального рассеяния на двух границах и на самой примеси (расположенной между ними) позволяет ожидать резонансных явлений (той же природы, что и резонансы Фабри-Перо), что могло бы приводить к качественному отличию двух ситуаций.

Также в разделе 5 обсуждается, что неожиданным результатом является положение максимума для коэффициента андреевского отражения от NS границы, которое не равно энергии YSR. Кажется, что это как раз довольно естественно, т.к. энергия YSR является характерной энергией в случае примеси, со всех сторон окруженной сверхпроводником. Если же примесь находится внутри нормальной области NS контакта, то сверхпроводимость в этой

области «слабее», чем в объеме сверхпроводника. При этом обычные уровни YSR пропорциональны параметру порядка (т.к. «силе» сверхпроводимости), поэтому вполне можно ожидать, что соответствующая характерная энергия для примеси в N слое будет меньше. Для случая примеси, сидящей ровно на NS границе, получается довольно простое аналитическое выражение для этой энергии (т.е. для положения максимума). Возникает вопрос: имеет ли этот результат простое объяснение? Это было бы полезно для понимания этого масштаба энергии.

Приведенные выше замечания и комментарии связаны с тем, что как научное исследование эта работа по-видимому еще не завершена. При этом я считаю, что как бакалаврская ВКР, данная дипломная работа удовлетворяет всем предъявляемым требованиям и заслуживает оценки отлично.

23 июня 2021 г.
д.ф.-м.н. Я.В. Фоминов