

Рецензия на выпускную квалификационную работу (диплом бакалавра)
Анненкова Дмитрия Сергеевича
«Неоднородные сверхпроводящие состояния в низкоразмерных слоистых структурах с сегнетоэлектрическим упорядочением»

Выпускная квалификационная работа (диплом бакалавра) Анненкова Дмитрия Сергеевича посвящена теоретическому изучению взаимного влияния сегнетоэлектричества и сверхпроводимости в ван-дер-ваальсовых структурах. Исследуется модель сегнетоэлектрического бислоя, в котором предполагается наличие межслоевых сверхпроводящих корреляций. Рассмотрены случаи синглетного и триплетного спаривания. Используется формализм уравнений Горькова, на основе которых Дмитрию Сергеевичу удалось построить обобщенную квазиклассическую теорию, адаптированную для решения рассматриваемого класса задач. При решении применяется комбинация аналитических и численных методов.

Показано, что однородный сегнетоэлектрический порядок подавляет как синглетную, так и триплетную межслойную сверхпроводимость. В случае нулевого межслоевого перескока обнаружена математическая эквивалентность между рассмотренной задачей и задаче об однородном сверхпроводнике в зеемановском поле. Продemonстрировано, что в случае синглетного типа спаривания наличие межслоевого перескока частично восстанавливает подавленную сегнетоэлектричеством сверхпроводимость, а в случае триплетного спаривания — наоборот, подавление сверхпроводимости усиливается. Для случая наличия уединённой сегнетоэлектрической стенки аналитически и численно продемонстрирована возможность образования локализованных сверхпроводящих состояний, с критической температурой превышающей температуру перехода в однородное сверхпроводящее состояние. Для случая однородной поляризации изучено влияние внешнего магнитного поля, параллельного плоскости слоёв. Показано, что орбитальный эффект поля приводит к подавлению туннелирования между слоями. За счет парамагнитного эффекта внешнего поля продемонстрирована возможность возникновения возвратных (или индуцированных полем) сверхпроводящих фаз. В триплетном случае предсказана анизотропия критического поля, в зависимости от взаимного направления магнитного поля $\mathbf{H}$ и $\mathbf{d}$ -вектора триплетных корреляций.

Ван-дер-ваальсовы материалы и гетероструктуры на их основе очень активно исследуются в последние десятилетия. Свойства таких материалов и гетероструктур проявляют большую вариабельность и чувствительность к составу и внешним параметрам. Поэтому они проявляют очень богатую физику и рассматриваются как перспективная платформа для конструирования квантовых функциональных материалов с заданными свойствами. Таким образом, тема исследования актуальна и интересна. Представленные в работе результаты обоснованны и содержательны. В то же время, к работе можно сформулировать ряд вопросов и замечаний:

1. Было бы полезно обсудить насколько рассматриваемый диапазон значений основных параметров задачи (обусловленный сегнетоэлектрической поляризацией относительный сдвиг зон проводимости слоев, величина межслоевого перескока, ширина доменной стенки) релевантен существующим экспериментам, которые отчасти послужили мотивацией данного исследования.
2. Хотелось бы увидеть результаты зависимости критической температуры от сдвига зон проводимости в большем диапазоне значений межслоевого перескока.
3. В работе подмечена любопытная аналогия между рассматриваемой системой и сверхпроводником в зеемановском поле при нулевом межслойном перескоке.

Интересно, существует ли аналогия для эффекта межслоевого перескока (например, не является ли его действие аналогом спин-орбитального взаимодействия определенного вида)?

4. Было бы полезно хотя бы качественно обсудить возможные механизмы межслоевого спаривания в рассматриваемой структуре.

В целом, считаю, что автор продемонстрировал уверенное владение серьезными методами теоретического анализа, а представленная работа выполнена на высоком уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам (бакалаврским дипломам). Рекомендую присвоить Анненкову Дмитрию Сергеевичу квалификацию магистра с оценкой отлично.

Рецензент:

Бобкова Ирина Вячеславовна, доктор физ.-мат. наук,
зав.-лаб. спиновых явлений в сверхпроводящих
наноструктурах и устройствах МФТИ

25 июня 2025 г.