

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ на выпускную квалификационную работу

Карузина Даниила Константиновича

«Плазмоны и их затухание в грязных сверхпроводящих пленках»

Направление подготовки/специальность: 03.03.01 Прикладные математика и физика

Направленность (профиль) подготовки: Общая и прикладная физика

ВКР Даниила Карузина посвящена построению теории плазменных колебаний в неупорядоченных сверхпроводящих пленках. Известно, что в нормальном металле плазмонный резонанс наблюдается в очень чистых образцах, в которых скорость примесного рассеяния оказывается меньше плазменной частоты. В противном случае плазмон становится чисто релаксационной модой, что связано с диссипацией, возникающей при появлении электрического поля. Перед Даниилом стояла задача проследить эволюцию плазмона и вычислить его закон дисперсии при переходе пленки из нормального в сверхпроводящее состояние и далее вплоть до нулевой температуры.

Для ее решения Даниил использовал микроскопический подход, основанный на нелинейной сигма модели в представлении Келдыша. С его помощью выведено уравнение, описывающее связанную динамику фазы параметра порядка и потенциала электрического поля. Дисперсионное соотношение определяется из условия совместности полученной системы. Показано, что в пределе малых импульсов спектр плазмона выражается через оптическую проводимость сверхпроводника. Теория оптической проводимости была развита в классической работе Маттиса и Бардина (МБ), однако они интересовались ее значением на действительной частоте, в то время как для нахождения плазмонной дисперсии необходимо знать ее в нижней полуплоскости комплексной частоты.

Наиболее ответственной и технически сложной частью работы было построение аналитического продолжения результата МБ. С этой целью Даниилу пришлось продеформировать контур интегрирования по энергии с тем, чтобы правильно образом обойти разрез запаздывающей и опережающей функций Грина, который при движении частоты в нижнюю полуплоскость движутся навстречу друг другу.

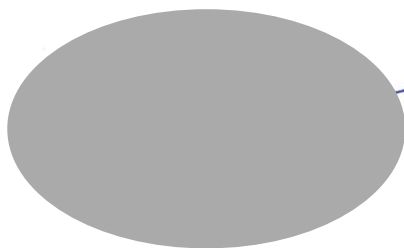
Найденное в результате такого нетривиального деформирования контура поведение оптической проводимости в нижней полуплоскости получено впервые. С его помощью найден спектр плазмонов при произвольных температурах. Этот спектр имеет ряд неожиданных особенностей. Так, при переходе в сверхпроводящее состояние как действительная (равная нулю в нормальном состоянии), так и мнимая часть спектра плазмонов претерпевают скачок. Другой особенностью является наличие у спектра точки окончания, выше которой плазмоны не существуют как хорошо определенные возбуждения.

Развитая Даниилом теория плазмонной дисперсии в грязных сверхпроводниках во всей области температур является существенным вкладом в физику плазмонов в сверхпроводниках. Статья, подготовленная по результатам дипломной работы Даниила, принята в Phys. Rev. B.

В ходе выполнения дипломной работы Даниил показал себя как вдумчивый исследователь, обладающий большими перспективами в области теоретической физики.

Считаю, что магистерская работа Д. К. Карузина соответствует всем предъявляемым требованиям и заслуживает оценки отлично (10), а сам Даниил — присуждения квалификации «магистр» и рекомендации для продолжения обучения в аспирантуре.

Д.Ф.-м.н.,
в.н.с. ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН



М. А. Скворцов

22 июня 2026 г.