ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на выпускную квалификационную (бакалаврскую) работу
Андрея Сергеевича Слободского
“Квазичастичные состояния в сверхпроводящем вихре в гетероструктуре сверхпроводник-киральный ферромагнетик в том числе в присутствии скирмиона”

Тема выпускной квалификационной работы является актуальной в современных исследованиях в физике конденсированного состояния. Поиск и стабилизация майорановских нулевых мод представляет собой одну из ключевых задач для реализации топологически защищенных кубитов. Использование скирмионов в качестве платформы для управления такими состояниями в последние годы привлекает значительный интерес, в связи с экспериментальным прогрессом в изготовлении гетероструктур "сверхпроводник-ферромагнетик" и реализации в них топологических конфигураций "сверхпроводящий вихрь - магнитный скирмион". Однако аналитическое описание подобных систем до настоящего времени оставалось недостаточно разработанным.

В работе А. С. Слободского проведено комплексное теоретическое исследование квазичастичных состояний, локализованных в сверхпроводящем вихре в двумерной гетероструктуре "сверхпроводник-ферромагнетик", в частности, определён их спектр и установлены условия существования майорановских нулевых мод. Решены следующие задачи:

- На основе общего анализа уравнений Боголюбова–де Жена выведены строгие условия существования майорановских состояний, локализованных как в центре вихря, так и на краю системы. Показана ключевая роль спин-орбитальной связи для их стабилизации.
- В квазиклассическом приближении типа ВКБ получены явные аналитические выражения для волновых функций майорановских мод и связанных состояний с ненулевым орбитальным моментом. При этом влияние неоднородной намагниченности скирмиона может быть учтено достаточно просто с помощью матрицы поворота на скирмионный угол.
- Разработаны и реализованы численные подходы (метод пристрелки и конечно-разностная схема), результаты которых находятся в отличном согласии с аналитическими оценками.
- Выявлен важный физический эффект: показано, что при определенных значениях радиуса скирмиона майорановское состояние может быть лучше отделено от остального спектра по сравнению со случаем однородной намагниченности, что обеспечивает лучшую изоляцию майорановских состояний от тепловых флуктуаций и шума в эксперименте.

При работе над дипломным проектом А. С. Слободской показал хорошее понимание квантовой механики и физики сверхпроводимости, проявил высокую степень самостоятельности и овладел как современными аналитическими, так и численными методами.

По материалам дипломной работы опубликован препринт arxiv:2605.06828, который направлен в журнал Physical Review B. В написании текста и подготовке графического материала для публикации А. С. Слободской принимал самое активное участие.

Бакалаврская работа удовлетворяет всем требованиям к выпускной квалификационной работе, а её автор Андрей Сергеевич Слободской несомненно заслуживает присуждения степени бакалавр с оценкой отлично (10).

Научный руководитель
Апостолов Станислав Сергеевич,
док. физ.-мат. наук,
с.н.с. ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
17 июня 2026 г.