Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Theoretische Physik

Theoretische Physik

Prof. Dr. Vadim Geshkenbein

ETH Zürich HIT K23.6
CH-8093 Zürich

Wolfgang Pauli Strasse 27
Tel: +41 44 633 4138
Fax: +41 44 633 1115
dimagesh@phys.ethz.ch

Zürich, 27 июня 2025 г.

Отзыв на выпускную квалификационную (бакалаврскую) работу
Матвея Сергеевича Князева
“Пиннинг вихрей в тонких пленках за пределами приближения жесткого кора”

В работе М. С. Князева исследована статистика экстремумов потенциальной энергии одиночного вихря в сверхпроводящей пленке в двумерном случайном потенциале. В рамках теории Гинзбурга-Ландау вблизи критической температуры найдена концентрация минимумов, максимумов и седловых точек энергии пиннинга в присутствии слабого гауссового беспорядка в квадратичном члене функционала Гинзбурга-Ландау (неоднородность критической температуры $\delta T_c(\mathbf{r})$) в первых двух порядках теории возмущений по слабости этого беспорядка.

Работа состоит из двух частей.
В первой части изучается первый порядок теории возмущении по $\delta T_c(\mathbf{r})$. В этом порядке работает приближение “жесткого вихря”, где не нужно изучать изменение параметра порядка $\Delta(\mathbf{r})$, вызванные беспорядком. В этом приближени задача фактически сводится к нахождению экстремумов эффективного потенциала пиннинга. Найдены концентрация минимумов энергии: $n_{\min} = 0.0276/\xi^2$ и характерное расстояние между устойчивыми положениями 6.02ξ, а также распределения средней и гауссовой кривизны в минимумах.

Во второй части работы изучается следующий порядок теории возмущений (деформируемый вихрь). Оказалось, что используемый в первом порядке метод решения не применим напрямую для второго порядка. Качественно это связано с тем, что, если для линейного уровнения, можно поместить вихрь в любую точку пространства, то для нелинейного уровнения Гинзбурга-Ландау вихревое решение существует не для любого его положения, а только для физически осмысленных, т.е. для тех, которые соответствуют локальному миниму энергии. Технически это связано с наличием нулевых мод в уравнении на первую поправку к профилю вихря. Разработан метод преодоления проблемы нулевых мод через введение меры отклонения вихря. Получена поправка к концентрации минимумов. Численно и аналитически доказана независимость результата от выбора меры отклонения вихря.

Среди недостатков работы отмечу некоторую небрежность, Например, интегралы для энергии вихря (15, 18, 19) формально расходятся, т.к. подинтегральное выражение стремится к ненулевой константе вдали от вихря. Чтобы получить конечную величину надо от вышеупомянутых выражений отнять соответствующие интегралы в однородном (безвихревом) сверхпроводнике. На дальнейшие результаты это не влияет, так как все определяется градиентом от энергии в который бесконечный (но не зависящий от положения вихря) член не вносит вклад. Все же, хорошо бы корректно определять величины, статистика которых изучается в работе.

В приближении жесткого вихря задача сводится к статистике экстремумов эффективного потенциала пиннинга. Знание распределения параметра порядка в вихре $\Delta(\mathbf{r})$ дает нам только эффективную корреляционную функцию этого потенциала. В этой связи было бы интересно обобщить решение задачи на общий случай потенциала пиннинга и выразить концентрации экстремумов, через его корреляционные функции. Это бы заметно расширило область применимости работы.

Концентрации минимумов, максимумов и седел получажтся из предположения, что средняя концентрация седел равна сумме концентраций минимумов и максимумов. В приложении это утверждение доказывается прямым вычислением. Было бы интересно понять, есть ли за этим какие-то качественные соображения (как например про то, что концентрация минимумов равна концентрации максимумов). В работе [3] цитируемой автором доля эффективных седел (с добавлением внешней силы) не равна сумме долей максимумов и минимумов.

По поводу наиболее технически сложной второй части хотелось бы понять, узнали ли мы что то новое, кроме того, что вычисления в высших порядках теории возмущений оказываются более сложными, чем в низшем порядке?

Несмотря на указанные недостатки, работа по своему объему и сложности превосходит обычные бакалаврские дипломы, скорее напоминая магистерские диссертации. Разработанная методика может быть применена для анализа более сложных систем и других типов беспорядка. Работа демонстрирует высокий уровень теоретической подготовки автора и владение современными методами математической физики. Я рекомендую оценить представленную работу оценкой "отлично"и присвоить М. С. Князеву степень бакалавра.

В. Б. Гешкенбейн