

Рецензия на выпускную квалификационную работу (магистерскую диссертацию)
Селезнева Глеба Сергеевича
«Джозефсоновский диодный эффект в асимметричных СКВИДах с
нетривиальным ток-фазовым соотношением»

Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) Селезнева Глеба Сергеевича посвящена теоретическому изучению джозефсоновского диодного эффекта в асимметричном двухконтактном СКВИДе, содержащем контакты с нетривиальными (несинусоидальными) ток-фазовыми соотношениями.

Протекающие в асимметричном двухконтактном СКВИДе процессы анализируются в рамках резистивно-емкостной модели, в которой сила зарядовых и температурных эффектов определяется параметром МакКамбера β и безразмерной температурой θ . Рассмотрено два основных механизма диодного эффекта: фазовый и амплитудный. Фазовый механизм возникает как следствие несинусоидальности ток-фазовых соотношений (ТФС) контактов СКВИДА. Амплитудный механизм работает при наличии контакта с многозначной ток-фазовой характеристикой. Он есть следствие асимметрии амплитуд ТФС контактов СКВИДА при различных направлениях тока. В обоих случаях сила диодного эффекта и его полярность управляются внешним магнитным потоком Φ . При проведении расчетов использовалась комбинация различных пертурбативных методов, явных аналитических расчетов и численный анализ.

Показано, что при наличии ненулевой емкости $\beta \neq 0$ на ВАХ СКВИДа возникают две новые качественные особенности: асимметрия токов возврата и односторонний гистерезис (гистерезисная ВАХ в одном направлении и безгистерезисная ВАХ в противоположном), который можно наблюдать в определенном диапазоне β . Установлено, что тепловые флуктуации при $\theta \neq 0$ приводят к изменениям ВАХ за счет процессов термоактивации. Для случая $\beta \neq 0$ рассчитаны асимметричные времена срыва системы из сверхпроводящего состояния и асимметрия токов переключения, возникающая за счет тепловых флуктуаций. При $\beta = 0$ получено явное выражение для ВАХ, которое демонстрирует экспоненциально сильную асимметрию параметров структуры при токах ниже критических. Исследована возможность управления величиной диодного эффекта посредством приложения резонансного переменного сигнала в контактах с $\beta \gg 1$ и импульсов тока в режиме одностороннего гистерезиса при $\beta \sim 1$. Обсуждены преимущества и недостатки использования контактов с различными значениями β для реализации и управления диодными эффектами.

Несомненным достоинством проведенного автором исследования является его направленность на анализ процессов в конкретных экспериментально реализованных структурах. Так во второй части работы им было дано теоретическое объяснение особенностей диодного эффекта, наблюдаемого в асимметричном СКВИДе, содержащем SNS контакт с синусоидальным ТФЗ и сверхпроводящий наномостик с многозначной ток-фазовой характеристикой. Разработанная в работе теоретическая модель, базирующаяся на аналитическом методе медленно меняющейся фазы, а также численное моделирование в рамках резистивной модели с тепловым шумом позволила дать объяснение экспериментально наблюдаемой значительной асимметрии ступеней Шапиро в таких структурах, существующей на фоне лишь слабой асимметрии критических токов. Установлено, что этот эффект возникает за счет асимметрии амплитуд первых гармоник ТФЗ, которая проявляется через зависимость силы диодного эффекта от мощности внешнего облучения, что связано с повышением температуры системы за счет нагрева образца внешним облучением. Это приводит к периодическому изменению знака диодного эффекта с ростом мощности. Такое поведение является ярким проявлением многозначной природы диодного эффекта и не наблюдается в асимметричных СКВИДах, состоящих исключительно из джозефсоновских контактов с однозначными ТФС. Продемонстрировано хорошее согласие между теоретическими предсказаниями и экспериментальными данными.

Вошедшие в магистерский диплом результаты опубликованы в журнале *Physical Review B* и находятся на рассмотрении в том же журнале.

Тема исследования актуальна, интересна и расширяет довольно подробно изученную раньше область, связанную с исследования диодного эффекта в сверхпроводниковых наноструктурах. Представленные в работе результаты обоснованы и содержательны. В то же время, к работе можно сформулировать следующее замечание:

При расчетах, проведенных для асимметричного СКВИДа, содержащего SNS контакт с синусоидальной ТФЗ и сверхпроводящий наномостик с многозначной ток-фазовой характеристикой, в качестве ТФЗ наномостика использовалась модель Лихарева-Якобсон, справедливая для длинных и узких сверхпроводящих мостиков, находящихся в мейснеровском состоянии при T порядка T_c . Такое приближение оправдано в том случае, когда ширина или длина наномостика не превосходят своих критических значений, равных примерно четырем длинам когерентности в теории Гинзбурга-Ландау $\xi(T) = (2/\pi)\xi/(1-T/T_c)^{-1/2}$. Однако, при низких температурах длина когерентности уже не содержит корневой расходимости, и пленка мостика может находиться в статическом смешанном состоянии с ТФЗ существенно отличной от полученной в модели Лихарева-Якобсон. К сожалению, область применимости используемой при расчетах ТФЗ автором не сформулирована.

В целом, считаю, что представленная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам (магистерским диссертациям). Рекомендую присвоить Селезневу Глебу Сергеевичу квалификацию магистра с оценкой отлично.

Рецензент:
доктор физ.-мат. наук, профессор,
главный научный сотрудник НИИЯФ МГУ



Куприянов Михаил Юрьевич,

19__ июня 2025 г.

Подпись руки М.Ю.Куприянова удостоверяю

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ



Сигаева Екатерина Александровна