

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»

На правах рукописи

Giuseppe Angello

Ауджелло Джузеппе

**Динамика переходов коротких и длинных
джозефсоновских контактов**

01.04.03 – Радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Новгород – 2012

Работа выполнена на кафедре физики Университета г. Палермо (Италия) и на кафедре математики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Научные руководители: профессор Б. Спаньоло (Италия),
к.ф.-м.н., доцент А.А. Дубков.
Официальные оппоненты: д.ф.-м.н., профессор В.Н. Белых,
к.ф.-м.н., доцент Н.В. Агудов.
Ведущая организация: Нижегородский государственный техни-
ческий университет им. Р.Е. Алексеева.

Защита состоится «17» октября 2012 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.166.07 при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-20, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1, радиофизический факультет, ауд. 420.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного университета.

Автореферат разослан «17» сентября 2012 г.

Отзывы и замечания по автореферату в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

к.ф.-м.н., доцент



В.В. Черепенников

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

В последние годы в литературе уделяется большое внимание исследованиям Джозефсоновских контактов, которые используются как в сверхпроводящих квантовых битах (кубитах) [1], так и в наномасштабных сверхпроводящих квантовых интерферометрах для обнаружения изменений слабых магнитных потоков [2]. Для указанных приложений они были изучены при очень низкой температуре в устройствах, позволяющих оперировать зарядовыми, потоковыми и фазовыми кубитами.

В джозефсоновских контактах, работающих как при низких, так и при высоких температурах, окружающая среда существенно влияет на поведение системы. В высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) было экспериментально обнаружено наличие низкочастотного шума, интенсивность которого связана с флуктуациями тока смещения, температуры и магнитного поля [3]. В низкотемпературных сверхпроводящих приборах также проблематично избавиться от влияния окружающей среды, которое, как правило, является источником некогерентности в системе. В этой связи, в частности, было изучено [1] время когерентности шума слабого тока в джозефсоновских вихревых кубитах (ДВК), формируемых на однородных длинных джозефсоновских контактах.

Таким образом, изучение динамики джозефсоновских переходов в присутствии источников шума необходимо для понимания взаимодействий между подобными системами и окружающей средой. В частности, шумовые эффекты заметно влияют на вольт-амперные характеристики джозефсоновских контактов [4].

Поведение вольт-амперной характеристики джозефсоновского контакта жёстко связано со временем жизни метастабильного состояния системы. В последние годы в джозефсоновских контактах были экспериментально найдены шумоиндуцированные эффекты [7, 8]. Было также проанализировано переключение кольцевого джозефсоновского контакта под действием температурной активации [9].

Целью диссертационной работы является исследование эффектов влияния различных типов шумов (цветных и негауссовых) на динамику коротких и длинных джозефсоновских переходов путём реализации численных

экспериментов.

Методы исследования и достоверность научных результатов. Исследование, выполненное в настоящей работе, основано на использовании хорошо известных аналитических и численных методов анализа случайных процессов. Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением с результатами доступными в литературе, посвящённой эффектам влияния белого шума на короткие и длинные джозефсоновские контакты.

Научная новизна. Эффекты влияния белого шума на динамику коротких и длинных джозефсоновских контактов были подробно проанализированы в экспериментальных, теоретических и численных исследованиях. Исследование, предлагаемое в настоящей работе, посвящено эффектам влияния нетемпературных шумов на те же системы, а также возможному применению данных эффектов для улучшения производительности соответствующих приборов.

Теоретическая и практическая значимость. Программное обеспечение, разработанное для представленного исследования, может быть адаптировано к изучению динамики джозефсоновских контактов в достаточно разнообразных физических условиях. В частности, его можно применить для численного анализа диффузии солитонов в длинных джозефсоновских контактах под действием цветных и негауссовых шумов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Резонансная активация и шумоиндуцированная стабильность позволяют выявить область характерных параметров, таких как частота воздействия и интенсивность шума, в которой метастабильность системы может быть продлена или сокращена во времени.
2. Метастабильность системы может контролироваться различными характеристиками шума, такими как частота отсечки коррелированного сигнала или плотность вероятности.
3. Знание характера метастабильности системы под одновременным воздействием температурного и нетемпературного шумов полезно для определения области параметров, в которой эффекты нетемпературного шума существенны.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы были доложены на следующих конференциях: *International Conference on Complexity, Metastability and Nonextensivity*, Satellite Conference of STAT-PHYS23, Catania, Italy, 1th-5th July 2007; *Noise Information and Complexity at Quantum Scale*, Ettore Majorana Centre, Erice, Italy, 4th-10th November 2007; *International Conference on Statistical Physics*, 14th-18th July 2008, Orthodox Academy of Crete Kolympari, Chania, Greece; *22nd General Conference of the Condensed Matter Division of the European Physical Society*, 25th-29th August 2008, "La Sapienza" University, Rome, Italy; *Fourth International Workshop DICE2008*, 22th-26th September 2008, Castello Pasquini/Castiglione, Italy; *22nd Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Fundamentals and Applications*, 12th-17th September 2009, Zakopane, Poland.

Результаты обсуждались также на научных семинарах Радиофизического факультета ННГУ им. Лобачевского в июне 2008 и 2009 гг. и на факультете физики и физических дисциплин Университета г. Палермо (Италия) в ноябре 2007, 2008 и 2009 гг.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 8 печатных работах, включая 3 статьи в журналах из списка ВАК [A1–A3] и 4 работы в сборниках трудов конференций [A4–A7].

Личный вклад автора. Настоящая работа является результатом совместной деятельности научной группы. Автор принимал принципиальное участие в исследованиях описанных проблем, разработке программного обеспечения и интерпретации получаемых результатов.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из четырёх глав, включая Введение и Заключение, Списка источников и трёх Приложений, в последнем из которых представлен список публикаций автора. Общий объём работы составляет 101 страницу, в том числе 85 страниц основного текста, 43 рисунка и 3 таблицы.

Содержание работы

Во **Введении** (Гл. 1) даётся обзор динамики джозефсоновских переходов, сверхпроводимости и квантовых вычислений. Представлены последние исследования шумоиндуцированных эффектов в коротких и длинных джо-

зефсоновских контактах, которые явились основанием для настоящей исследовательской работы. **Вторая глава** посвящена эффектам влияния гауссова и негауссова шума на динамику переходов в коротких джозефсоновских контактах. В **разделе 2.1** представлена модель RSJ — классическая модель для исследования коротких джозефсоновских контактов (КДК). В **разделе 2.2** объяснены особенности коррелированного (окрашенного) гауссова шума. В **разделе 2.3** представлены результаты исследования воздействия цветного шума на систему и эффекты влияния как белого, так и цветного шума. Влияние цветного шума на КДК описаны с помощью уравнения Ланжевена, в котором флуктуации введены как процесс Орнштейна-Уленбека $\zeta(t)$:

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\omega_c \frac{\partial U(\varphi, t)}{\partial \varphi} - \omega_c \zeta(t). \quad (1)$$

Динамика броуновской частицы, находящейся под воздействием цветного шума и изменяющегося во времени нелинейного периодического потенциала $U(\varphi, t)$ исследуется с помощью численного решения уравнения (1) при $\omega_c=1$.

Динамика джозефсоновского контакта под действием шума была исследована методом численного интегрирования уравнения (1). Было проанализировано от $N=5000$ до $N=1000$ траекторий броуновской частицы и численно оценено среднее значение метастабильного состояния, которое является средним временем жизни сверхпроводящего состояния, соответствующего среднему времени переключения (СВП) контакта.

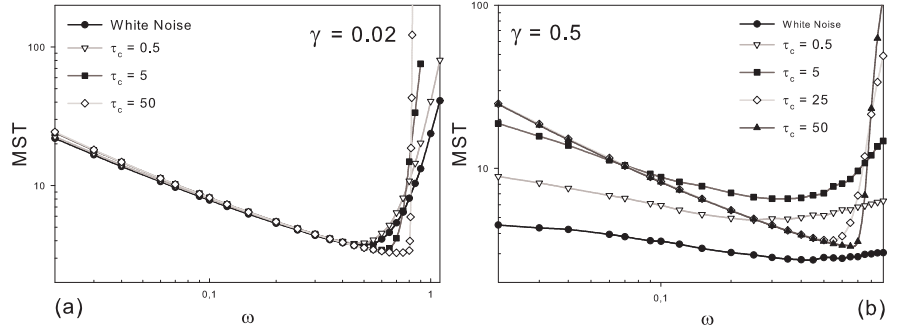


Рис. 1. СВП как функция ω , $i_0=0.8$, $A=0.7$, а) $\gamma=0.02$, б) $\gamma=0.5$.

Чтобы проанализировать поведение СВП как функции частоты, времени корреляции и интенсивности шума, процедура повторялась при различных значениях параметров системы, таких как амплитуда A и частота ω воздействующего тока, время корреляции τ_c и интенсивность γ цветного шума. Зависимость СВП от ω приведена на Рис. 1. Кривые получены для двух значений шумовой интенсивности: $\gamma = 0.02$ (Рис. 1(а)) и $\gamma = 0.5$ (Рис. 1(б)).

Для каждой шумовой интенсивности поведение СВП было найдено при различных значениях τ_c , и кривые приведены вместе с теми, что соответствуют случаю белого шума. Зависимости демонстрируют немонотонный характер, что является признаком эффекта *резонансной активации* (РА). Цветной шум вызывает эффект РА, отличающийся от того же эффекта под действием белого шума.

На Рис. 2 представлено поведение СВП как функции интенсивности белого шума, а также для различных величин времени корреляции цветного шума. Наличие максимума на этих кривых свидетельствует об эффекте *индуцированного шумом повышения устойчивости* (ИШПУ). При анализе Рис. 2 становится очевидным, что при очень малой интенсивности шума, именно $\gamma < 3 \cdot 10^{-3}$, поведение всех кривых становится независимым от шума, и СВП соответствует времени жизни метастабильного состояния детерминированной системы. Эффект ИШПУ соответствует захвату броуновской частицы. Данный захват, препятствующий переключению контакта, возникает благодаря совместному действию зашумлённого сигнала и осциллирующего потенциала. Отметим, что в отсутствие шума при тех же параметрах системы, а именно, $i_0 = 0.5$ and $A = 1$, джозефсоновский переход должен периодически закрываться на некоторые промежутки времени (т.е. при $i(t) > i_c$). Таким образом, временный захват броуновской частицы в метастабильном состоянии вызывается просто действием шума вместе с внешней силой.

В разделе 2.4 представлены свойства используемых негауссовых зашумлённых сигналов.

Раздел 2.5 посвящён изучению влияния негауссовых шумов. Переходная динамика КДК в присутствии негауссова шума исследуется с помощью введения в уравнение Ланжевена флуктуирующего негауссова члена $i_{nG}(t)$ с

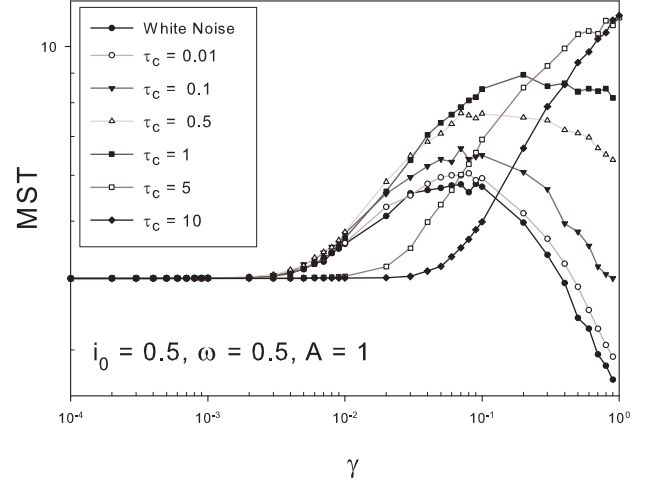


Рис. 2. СВП в зависимости от γ при $i_0=0.5$, $A=1.0$.

α -стабильным распределением:

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\omega_c \frac{\partial U(\varphi, t)}{\partial \varphi} - \omega_c i_{nG}(t). \quad (2)$$

Здесь $U(\varphi, t)$ — флуктуирующий потенциал. Частоты и времена нормированы на характерную частоту ω_c и, соответственно, на обратную величину $1/\omega_c$. Источник негауссова шума $i_{nG}(t)$, рассматриваемый для анализа динамики КДК с помощью уравнения (2), описывается вероятностным распределением Коши-Лоренца или Леви-Смирнова.

Зависимости СВП от частоты ω внешнего тока приведены на Рис. 3. Кривые соответствуют шумам с распределениями Гаусса, Коши-Лоренца и Леви-Смирнова. Видна немонотонная зависимость от ω , что является признаком эффекта РА.

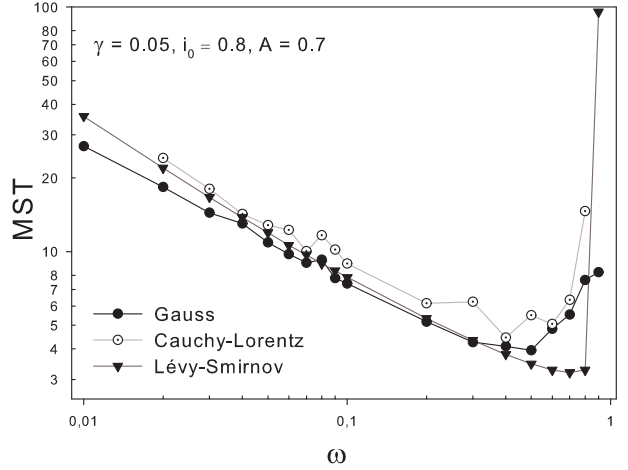


Рис. 3. СВП как функция ω при $i_0 = 0.8$, $A = 0.7$ и $\gamma = 0.05$.

Поведение СВП как функции интенсивности шума показано на рис. 4(a).

Графики, соответствующие распределениям Гаусса и Коши-Лоренца немонотонны, что означает наличие эффекта ИШПУ. При очень низкой интенсивности шума $\gamma < 10^{-3}$ все три кривые стремятся к одному и тому же значению СВП, соответствующему времени жизни сверхпроводящего состояния детерминированной системы. Это время примерно равно четверти периода T колебаний потенциального барьера, что есть $T/4 = \pi/2\omega \simeq 3$ при $\omega = 0.5$.

Для более высоких значений шумовой интенсивности кривая СВП, соответствующая распределению Леви-Смирнова, убывает. Увеличение интенсивности прыжков Леви приводит к быстрому выталкиванию частицы из сверхпроводящего состояния, делая СВП короче.

Шум Леви вызывает значительные изменения координаты частицы за короткие промежутки времени (прыжки Леви), что хорошо видно на Рис. 4(b).

Немонотонное поведение СВП характерно для кривой, соответствующей распределению Коши-Лоренца. Её максимум смещён в область более высокой шумовой интенсивности по сравнению со случаем гауссова распределения.

Сравнение одномерных траекторий свободной диффузии броуновской частицы для случаев гауссова шума и шума с распределением Коши-Лоренца (Рис. 4(b)), при низких значениях интенсивности шума, а именно, при $\gamma = 0.04$, даёт по-

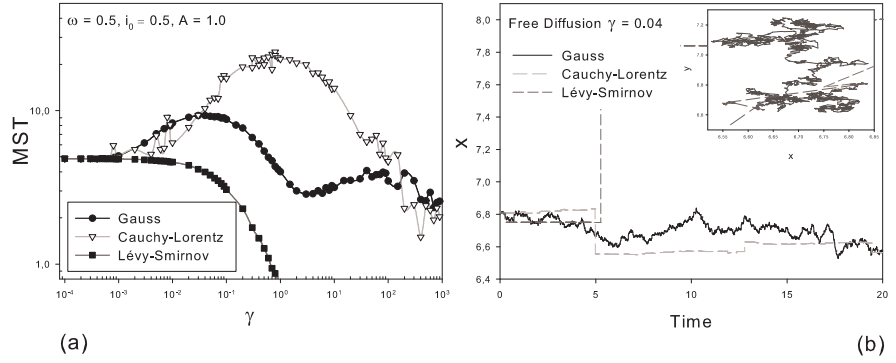


Рис. 4. а) СВП в зависимости от γ при $\omega = 0.5, i_0 = 0.5, A = 1.0$. б) Одномерная и двумерная (на вставке) траектории свободной диффузии при $\gamma = 0.04$.

лезную подсказку для объяснения данного явления. На Рис. 4(a) вблизи интенсивности $\gamma = 0.04$ кривая для гауссова шума достигает максимума, тогда как кривая для шума Коши-Лоренца продолжает возрастать, показывая, что среднее время жизни метастабильного состояния возрастает даже в присутствии более интенсивного шума. Очевидно, что даже если при $t = 5$ траектория, соответствующая шуму Коши-Лоренца совершает скачок, то для следующего длинного временного интервала смещение частицы меньше, чем в случае гауссова шума. Это означает, что частица совершает случайные движения в потенциальной яме с амплитудой меньшей, чем при гауссовом шуме. То же самое видно на вставке Рис. 4(b). Даже если траектория частицы, полученная под действием шума Коши-Лоренца, совершает длинные прыжки, то смещение частицы под действием гауссова шума всё равно оказывается бóльшим. Как следствие, эффект захвата становится более продолжительным во времени, и СВП продолжает расти, достигая максимума при бóльших значениях интенсивности шума. После преодоления этого максимума колебания потенциального профиля уже не в состоянии захватывать частицу, что означает спад СВП.

В разделе 2.6 рассматриваются эффекты одновременного воздействия гауссова и теплового шума. Проведён анализ уравнения Ланжевена с флуктуирующим членом $i_f(t) = i_{TN}(t) + i_{nG}(t)$, где $i_{TN}(t)$ — белый гауссов шум, а $i_{nG}(t)$ — шум с распределением Коши-Лоренца. На Рис. 5 и 6 представлено СВП в зависимости от частоты внешнего сигнала и интенсивности шума

Коши-Лоренца, соответственно. Кривая на Рис. 5, полученная при $\gamma_{TN} = 0.0$, выявляет эффект РА. С увеличением γ_{TN} немонотонный характер СВП как функции частоты изменяется. Для интенсивностей теплового шума на порядок больших $\gamma_{Cauchy} = 0.02$, а именно, для $\gamma_{TN} = 0.2$, поведение соответствующей кривой начинает отличаться от случая $\gamma_{TN} = 0$. Кривые на рис. 6 демонстрируют эффект ИШПУ.

В отсутствие теплового шума ($\gamma_{TN} = 0$) поведение СВП в зависимости от шумовой интенсивности немонотонно с максимумом в районе $\gamma_{Cauchy}^{Max} \simeq 0.6$. Малый тепловой шум не нарушает поведение ИШПУ кривой, пока его интенсивность меньше, чем $\gamma_{Cauchy}^{Max} \simeq 0.6$. Когда интенсивность теплового шума превышает γ_{Cauchy}^{Max} (кривые, соответствующие $\gamma_{TN} = 1.0$ и $\gamma_{TN} = 10.0$), эффекты теплового шума более заметны, чем эффекты шума

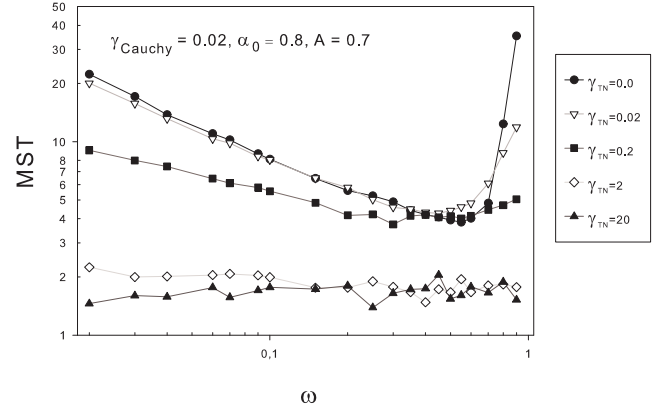


Рис. 5. СВП в зависимости от ω при различных интенсивностях теплового шума и при $\gamma_{Cauchy} = 0.02$, $i_0 = 0.8$, $A = 0.7$.

Коши, что проявляется в изменении немонотонного характера кривой. Одновременное присутствие источников теплового шума и шума Коши в КДК влияет на переходную динамику контакта, изменяя характеристики РА и ИШПУ. При рассмотрении эффекта РА в случае высоких интенсивностей теплового шума следует отметить, что немонотонность графика исчезает и СВП становится независимым от частоты сигнала. Эффект ИШПУ тоже изменяется под действием теплового шума в виде смещения максимумов соответствующих графиков, хотя эти максимумы присутствуют даже при очень больших интенсивностях теплового шума.

В **Главе 3** исследуется переходная динамика длинных джозефсоновских контактов (ДДК). В **разделе 3.1** вводится эквивалентная схема и механическая модель длинного джозефсоновского контакта. В **разделе 3.2** представлено стохастическое уравнение синус-Гордона с цветным шумом и показана процедура расчёта СВП. **Раздел 3.3** посвящён анализу влияния цветного

шума на СВП контакта.

Уравнение синус-Гордона, описывающее динамику ДДК в присутствии окрашенного шума под действием тока смещения имеет вид:

$$\beta\varphi_{tt} + \varphi_t - \varphi_{xx} = i(x, t) - \sin \varphi + i_{cn}(x, t). \quad (3)$$

Здесь $i_{cn}(x, t)$ — коррелированный шумовой сигнал. Роль длины контакта в переходной динамике ДДК исследовалась путём рассмотрения влияния цветного и белого шумов на СВП контакта. Поведение СВП в зависимости

от длины контакта L в значительной мере определяется формированием кинк-антикинк пары вдоль фазовой струны. Длина контакта нормируется на джозефсоновскую длину проникновения. На Рис. 7 представлен случай однородного тока $i(x) = i_0$ при $\beta = 0.01$. Сравниваются белый и цветной шум с одинаковой интенсивностью. При очень малой длине контакта, а именно, при $L < 1$, СВП стремится к тем значениям, которые характерны для КДК. В этой области длин не формируются пары кинк-антикинк, поэтому струна переключается целиком. С увеличением длины контакта СВП также увеличивается при воздействии как белого, так и цветного шума. Когда длина струны превышает $L = 5$, процесс переключения управляется формированием пары кинк-антикинк. Время распространения кинка и антикинка зависит, очевидно, от длины струны, таким образом и СВП больше для длинных струн. С другой стороны, на длинной струне могут сформироваться несколько пар кинк-антикинк, что ускоряет процесс выхода из потенциальной ямы. Сосуществование этих двух явлений приводит к насыщению СВП как функции длины струны и независимости от длины при $L > 5$. Кривые, соответствующие различным значениям τ_c цветного шума, демонстрируют поведение отличное от их поведения в случае белого шума. В частности, эффекты, вызванные памятью шумового сигнала, за-

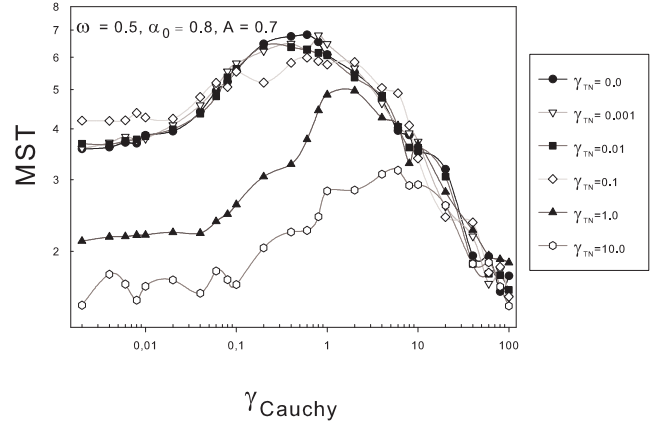


Рис. 6. СВП в зависимости от γ_{Cauchy} при различных интенсивностях теплового шума и $\omega = 0.5$, $i_0 = 0.8$, $A = 0.7$.

держивают процесс выхода из потенциальной ямы, увеличивая тем самым СВП для всех значений длины L . Значения СВП, полученные в присутствии цветного шума, оказываются больше, по сравнению со случаем белого шума, на величину примерно равную τ_c . Анализ эффектов воздействия на ДДК длины $L = 10$ был выполнен для осциллирующего потенциала.

Кривые СВП, полученные численно, демонстрируют немонотонный характер с минимумом в зависимости от частоты внешней силы, что свидетельствует об эффекте РА в случае как белого, так и цветного шума (Рис. 8). Поведение этих кривых показывает также множество других явлений, найденных в случае КДК. На Рис. 8 показана зависимость СВП от τ_c при $\omega = 0.9$. Начинаясь при белом шуме ($\tau_c = 0$), график достигает максимума при $\tau_c \approx 5$ и затем убывает до уровня насыщения СВП ≈ 3.6 при $\tau_c > 20$. Значение $\tau_c = 5$ соответствует $\omega_{cutoff} \approx 1.2$, что очень близко к частоте $\omega = 0.9$. Это может быть признаком эффекта резонансного типа под действием цветного шума, который возникает, если частота внешней силы примерно равна частоте отсечки коррелированного сигнала.

Подробное исследование переключательной динамики ДДК требует изучения характера СВП при учёте различных интенсивностей белого и цветного шума. Возможное существование эффекта ИШПУ должно быть связано с эффектом захвата на фазовой струне. В этом случае переключение контакта будет управляться не только током смещения, но и шумовой интенсивностью. СВП как функция интенсивности белого и цветного шума при $i_0 = 1.2$ в отсутствие внешнего воздействия показано на Рис. 9. Потенциальный профиль при токе смещения большем критического значения $i_c = 1$ является монотонным. В данной конфигурации в качестве начального условия на фазовой струне было выбрано $\varphi(x, 0) = \pi/2$.

Под действием тока смещения, превышающего критическое значение,

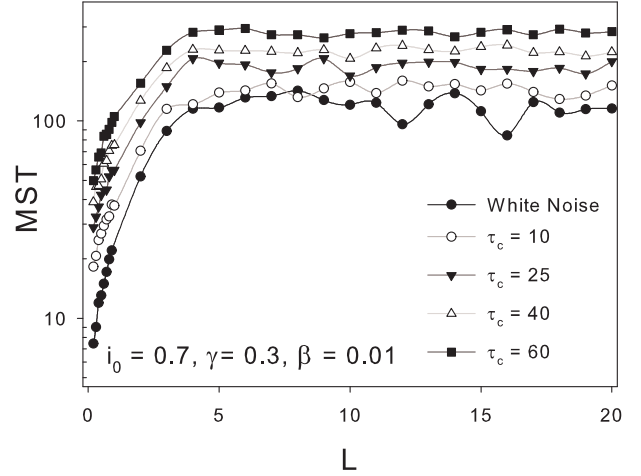


Рис. 7. СВП в зависимости от длины L при $i(x) = i_0$, $\beta = 0.01$, $i_0 = 0.7$, $\gamma = 0.3$.

в отсутствие шума частица должна скользить вниз под уклон потенциального профиля и достигать фазового порога $\varphi_{thr} = \pi$ за детерминированное время, необходимое для покрытия отрезка $[-\pi/2, +\pi]$. Шумовое воздействие изменяет эту динамику, вызывая задержки движения фазовой струны.

При низкой интенсивности белого и цветного шума график СВП стремится к детерминированному времени, что видно из графика на Рис. 9 для, примерно, $\gamma < 0.01$. С ростом интенсивности кривые обнаруживают немонотонный характер с двумя максимумами, что выявляет эффект ИШПУ. Два максимума были уже обнаружены в случае белого и негауссова шума в КДК. В случае белого и цветного шума с $\tau_c = 0.1$, при промежуточных значениях шумовой интенсивности, а именно, при $0.01 < \gamma < 0.2$, максимум лежит в области СВП бóльших, чем детерминированное значение. Это означает, что шумовой сигнал в среднем задерживает движение частицы, увеличивая время переключения контакта.

При высокой интенсивности, а именно, $\gamma > 0.2$, шум ускоряет движение частицы, что показано на Рис. 9, где кривые с круглыми маркерами лежат в области, соответствующей СВП меньшему, чем детерминированная величина. В этом случае шумовой сигнал уменьшает время переключения контакта. Явление *увеличения времени переключения* заметно при больших временах корреляции, а именно, при $\tau_c = 3$ (Рис. 9) в области шумовой интенсивности $0.01 < \gamma < 50$ и $\tau_c = 10$ (Рис. 9) при $0.01 < \gamma < 100$.

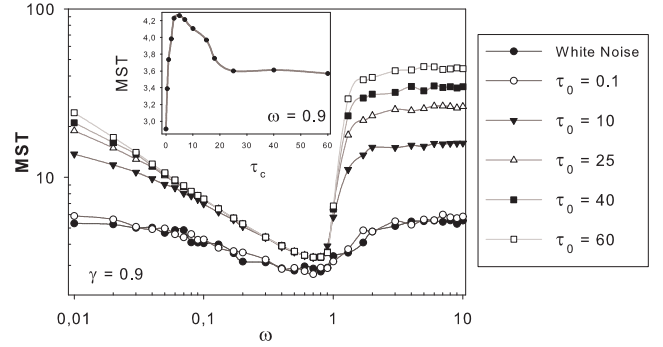


Рис. 8. Зависимость СВП от ω при $i_b = 0.9$, $A = 0.7$, $L = 10$, $\gamma = 0.9$. Вставка: СВП в зависимости от τ_c при $\omega = 0.9$, $\gamma = 0.9$, $i_b = 0.9$, $A = 0.7$, $L = 10$.

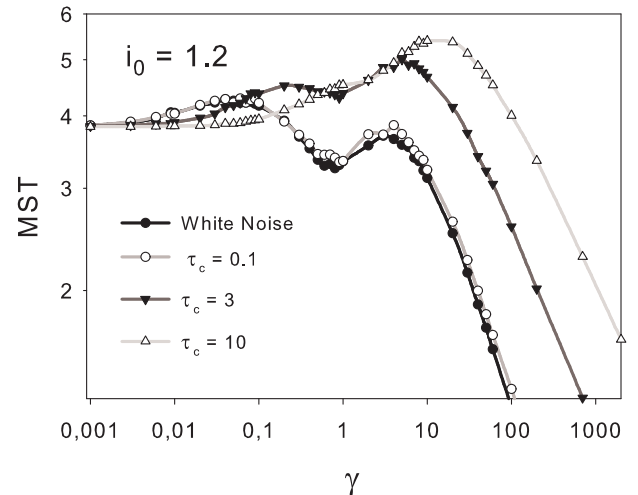


Рис. 9. СВП от γ при $i_0 = 1.2$, $L = 0.5$ в отсутствие внешней силы ($\omega = 0$ and $A = 0$).

Обе кривые СВП убывают с ростом шумовой интенсивности, что означает уменьшение времени переключения по сравнению с детерминированным случаем. Даже если контакт находится в резистивном состоянии, $i_0 > i_c$, шум увеличивает СВП по сравнению с детерминированным временем, вызывая стабилизацию метастабильного состояния.

В разделе 3.4 приведены результаты анализа одновременного воздействия теплового белого шума и цветного шума. Воздействие цветного шумового источника на ДДК оставляет тепловые эффекты вне рассмотрения. Однако для получения полного описания переходной динамики ДДК тепловые эффекты должны быть учтены. Для этого в уравнение Синус-Гордона (4) был добавлен член, отвечающий за белый шум:

$$\beta\varphi_{tt} + \varphi_t - \varphi_{xx} = i(x, t) - \sin \varphi + i_{cn}(x, t) + i_{wn}(x, t). \quad (4)$$

Автокорреляционная функция белого шума имеет следующий вид:

$$\langle i_{wn}(x, t) i_{wn}(x', t') \rangle = 2\gamma_{wn} \delta(x - x') \delta(t - t'), \quad (5)$$

где

$$\gamma_{wn} = \frac{I_T}{J_0 \lambda_J}, I_T = \frac{2eK_B T}{\hbar}. \quad (6)$$

СВП как функция частоты внешней силы и интенсивности шума была исследована при одновременном влиянии цветного и белого шумов. В обоих случаях анализ был направлен на выяснение отношения между интенсивностями цветного и белого шумов для определения шумовой интенсивности, при которой эффекты влияния одного шума доминируют над эффектами влияния другого.

Поведение СВП в зависимости от частоты внешней силы показано на Рис. 10. Кривые получены при интенсивности цветного шума $\gamma_{cn} = 0.4$ и интенсивностей белого шума γ_{wn} , изменяющихся по величине в пределах от одного порядка ниже γ_{cn} до одного порядка выше. Кривая при $\gamma_{wn} = 0.04$ ведёт себя с хорошей степенью точности также, как и кривая при $\gamma_{wn} = 0$. Влияние теплового шума становится заметным, когда его интенсивность достигает того же порядка, что и интенсивность цветного шума, а именно, $\gamma_{wn} = \gamma_{cn} = 0.4$. С увеличением γ_{wn} кривая сильно изменяется и динамика полностью определяется белым шумом.

СВП было также изучено в зависимости от интенсивности окрашенного шума γ_{cn} в присутствии белого шума с различными интенсивностями (Рис. 10). Анализ такой зависимости позволяет определить область значений основных параметров системы, в которой можно различать эффекты влияния цветного и белого шумов при их одновременном воздействии. В частности, фиксируя одно из значений таких параметров как γ_{wn} , γ_{cn} или τ_c , можно получить метастабильность сверхпроводящего состояния и, следовательно, задержку отклика контакта.

В **Заключении (Глава 4)** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

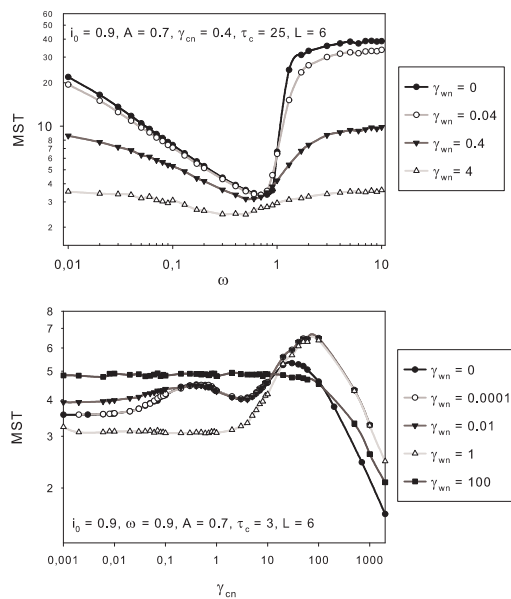


Рис. 10. а) СВП от ω при $i_0 = 0.9$, $A = 0.7$, $\gamma_{cn} = 0.4$, $\tau_c = 25$ и $L = 6$. б) СВП от γ_{cn} при $i_0 = 0.9$, $\omega = 0.9$, $A = 0.7$, $\tau_c = 3$ и $L = 6$.

Основные результаты диссертационной работы

1. Исследование среднего времени переключения, выполненное в настоящей работе, дало статистическую оценку среднего времени жизни метастабильного состояния перехода при учёте специфического волнообразного потенциала джозефсоновского контакта. Во многих работах [10], частота теплового выхода за барьер представлена как проблема Крамерса, и, соответственно, время жизни метастабильного состояния подсчитывается по формуле Крамерса. Такой подход даёт приблизительную оценку, поскольку не учитывается профиль потенциала джозефсоновского контакта. Формула Крамерса выводится при аппроксимации минимума и максимума потенциала квадратичной параболой и, более того, в предположении малой интенсивности шума. Благодаря численному моделированию, эти упрощения удалось обойти, что дало оценки времени жизни более корректные для описания частных случаев джозефсоновских переходов.
2. При учёте поведения среднего времени переключения как функции вре-

мени корреляции был найден *эффект резонанса времени корреляции*. Это означает возможность указания значения времени корреляции, при котором достигается наилучшая стабилизация метастабильного состояния. Было обнаружено, что данное *резонансное значение времени корреляции* может быть связано с частотой внешнего воздействия (см., например, Гл. 3, вставка на Рис. 8(b)).

3. Изучение воздействия на систему шумовых сигналов с различными типами распределений, такими как распределения Коши-Лоренца и Леви-Смирнова, позволило сделать интересные выводы с точки зрения анализа диффузионных свойств шумовых сигналов. В частности, несмотря на то, что распределение Коши-Лоренца представляет собой реализации с прыжками, для малой интенсивности шума диффузия броуновской частицы под действием гауссова шума оказывается более сильной. Этот необычный эффект вызывает неожиданное возрастание среднего времени переключения в случае распределения Коши-Лоренца, по сравнению со случаем распределения Гаусса (см., например, Рис. 3(c)).
4. Настоящее исследование показывает, что воздействующий на джозефсоновский контакт коррелированный или негауссов шумовой сигнал позволяет контролировать стабильность метастабильного состояния перехода и, в частности, ускорять его динамику с помощью подходящего выбора параметров шума. Приложение внешнего шума, таким образом, может рассматриваться как способ улучшения отклика джозефсоновского контакта.

Цитированная в автореферате литература

1. Ju H. Kim, R. P. Dhungana, and KS Park, *Decoherence in Josephson vortex quantum bits: Long-Josephson-junction approach to a two-state system*, Phys. Rev. B **73**, 214506 (2006).
2. C. H. Wu et al., *Fabrication and characterization of high- T_c $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ nanoSQUIDs made by focused ion beam milling*, Nanotechnology **19**, 315304 (2008).
3. L. Hao, J.C. Macfarlane, *Estimation of the noise temperature of Y-Ba-Cu-O grain boundary Josephson junctions*, Physica C: Superconductivity **292**, 315 (1997).
4. J.T. Peltonen, A.V. Timofeev, M. Meschke, and J.P. Pekola, *Detecting Current Noise with a Josephson Junction in the Macroscopic Quantum Tunneling Regime*, J. Low Temp. Phys. **146**, 135 (2006).
5. Yang Yu, Siyuan Han, Xi Chu, Shih-I Chu, Zhen Wang, *Coherent Temporal Oscillations of Macroscopic Quantum States in a Josephson Junction*, Science **296**, 889 (2002).
6. B. Huard et al., *Josephson junctions as detectors for non-Gaussian noise*, Ann. Phys. **16**, 736-750 (2007).
7. Y. Yu and S. Han, *Resonant Escape over an Oscillating Barrier in Underdamped Josephson Tunnel Junctions*, Phys. Rev. Lett. **91**, 127003 (2003).
8. G. Sun, N. Dong, G. Mao, J. Chen, W. Xu, Z. Ji, L. Kang, P. Wu, Y. Yu, and D. Xing, *Thermal escape from a metastable state in periodically driven Josephson junctions*, Phys. Rev. E **75**, 021107 (2007).
9. D. Gulevich and F. Kusmartsev, *Switching phenomena in an annular Josephson junction*, Physica C **435**, 87 (2006).
10. U. Kienzle et al., *Thermal escape of fractional vortices in long Josephson junctions*, Phys. Rev. B **80**, 014504 (2009).

Список публикаций по теме диссертации

- A1. Augello G., Valenti D., Spagnolo B. Non-Gaussian noise effects in the dynamics of a short overdamped Josephson junction // *European Physical Journal B*. 2010. Vol. 78. Pp. 225–234.
- A2. Augello G., Valenti D., Pankratov A. L., Spagnolo B. Lifetime of the superconductive state in short and long Josephson junctions // *European Physical Journal B*. 2009. Vol. 70. Pp. 145–151.
- A3. Augello G., Valenti D., Spagnolo B. Effects of colored noise in short overdamped Josephson junction // *International Journal of Quantum Information*. 2008. Vol. 6. Pp. 801–806.
- A4. Spagnolo B., Augello G., Caldara P. et al. Noise stabilization effects in models of interdisciplinary physics // *Proceedings of “Fourth International Workshop DICE2008”*. Vol. 174 of *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2008. Pp. 012037(1–13). ISBN/ISSN: 978-888202-077-4.
- A5. Augello G., Valenti D., Spagnolo B. Correlated thermal fluctuations in short and long Josephson junctions // *22nd General Conference of the Condensed Matter Division of the European Physical Society*. Sapienza Universita di Roma, Rome, Italy: 2008. P. 74. ISBN/ISSN: 2-914771-54-1.
- A6. Augello G., Valenti D., Spagnolo B. Noise induced effects in overdamped Josephson junction in the presence of colored noise // *COMPLEXITY, METASTABILITY, AND NONEXTENSIVITY: An International Conference*. AIP Conference Proceedings. Vol. 965. 2007. P. 190. ISBN/ISSN: 978-0-7354-0481-6/0094-243X, DOI: 10.1063/1.2828733.
- A7. Spagnolo B., Augello G., Fiasconaro A. et al. Enhancement of stability in systems with metastable states // *AIP Conference Proceedings. International conference on complexity, metastability and nonextensivity*. Catania (Italy). Vol. 965. 2007. Pp. 165–176. ISSN 0094-243X, DOI: 10.1063/1.2828729.

Оглавление диссертации

Глава 1. Введение

- 1.1. Переходная динамика и джозефсоновские контакты
- 1.2. Краткий обзор сверхпроводимости и джозефсоновских контактов
- 1.3. Квантовые вычисления и джозефсоновские контакты
- 1.4. Шумовые эффекты в джозефсоновских контактах
 - 1.4.1. Короткие и длинные джозефсоновские контакты
 - 1.4.2. Шумоиндуцированные эффекты: резонансная активация и вызванное шумом повышение устойчивости
 - 1.4.3. Тепловой шум в коротких джозефсоновских контактах
 - 1.4.4. Низкочастотный шум в джозефсоновских контактах
 - 1.4.5. Негауссов шум в джозефсоновских контактах
 - 1.4.6. Тепловой шум в длинных джозефсоновских контактах
- 1.5. Цветной и негауссов шум в джозефсоновских контактах: обзор работы

Глава 2. Короткие джозефсоновские контакты

- 2.1. Эквивалентная цепь и механистическая модель
- 2.2. Цветной шум
- 2.3. Влияние цветного шума
- 2.4. Негауссов шум
- 2.5. Влияние негауссова шума
- 2.6. Совместное влияние негауссова и теплового шума

Глава 3. Длинные джозефсоновские контакты

- 3.1. Эквивалентная цепь и механистическая модель
- 3.2. Коррелированный шум и уравнение синус-Гордона
- 3.3. Влияние цветного шума
- 3.4. Совместное влияние цветного и теплового шума

Глава 4. Заключение

- 4.1. Основные результаты работы
- 4.2. Будущие исследовательские проекты

Библиография

Приложение А. Алгоритм моделирования устойчивых случайных переменных

- A.1. Устойчивые переменные и распределения
- A.2. Численный алгоритм

Приложение В. Алгоритм численного интегрирования уравнения синус-Гордона

Приложение С. Публикации

С.1. Статьи в международных научных журналах

С.2. Труды конференций

С.3. Тезисы докладов на международных конференциях