

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

Объединенная научная сессия Отделения физических наук Российской академии наук и Объединенного физического общества Российской Федерации

(21 апреля 2004 г.)

21 апреля 2004 г. в конференц-зале Физического института им. П.Н. Лебедева РАН состоялась Объединенная научная сессия Отделения физических наук Российской академии наук и Объединенного физического общества Российской Федерации. На сессии были заслушаны доклады:

1. **Пашкин Ю.А.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Wako, Japan), **Астафьев О.В.** (The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Wako, Japan), **Yamamoto T., Nakamura Y., Tsai J.S.** (The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Wako, Japan, NEC Fundamental and Environmental Research Laboratories, Tsukuba, Japan, CREST, Japan Science and Technology Agency (JST), Kawaguchi, Japan). *Джозефсоновские твердотельные кубиты.*

2. **Жарков Г.Ф.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *Сверхпроводящие состояния и магнитный гистерезис в сверхпроводниках конечного размера.*

3. **Елесин В.Ф.** (Московский инженерно-физический институт (Государственный университет), Москва), **Капаев В.В., Копаев Ю.В.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *Существование ферромагнетизма и неоднородной сверхпроводимости.*

4. **Бараш Ю.С., Бобкова И.В.** (Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка), **Копф Т.** (Университет, г. Аугсбург, Германия). *Теория магнитных контактов между чистыми сверхпроводниками.*

5. **Максимов Е.Г.** (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *Высокотемпературная сверхпроводимость сегодня.*

Краткое содержание докладов публикуется ниже.

PACS numbers: 03.67.Lx, 85.25.Cp

Джозефсоновские твердотельные кубиты

Ю.А. Пашкин, О.В. Астафьев,
T. Yamamoto, Y. Nakamura, J.S. Tsai

В последнее время чисто математическая дисциплина, каковой являются квантовые вычисления, стимулиро-

вала быстрое развитие новой экспериментальной области исследований. Оказалось, что многие вычислительные проблемы, которые считаются неразрешимыми за разумное время для классических компьютеров, могут быть решены значительно быстрее с помощью квантовых алгоритмов [1]. Таким образом, проблема из вычислительной и математической становится технологической. В настоящее время перед экспериментаторами стоит задача поиска подходящей физической системы, которая может быть использована в качестве квантового бита (кубита) — элемента будущего квантового компьютера. Хотя пока еще не ясно, возможно ли вообще создание квантового компьютера, такие исследования непременно стоит проводить не только из-за интересной физики, но также и потому, что эти исследования могут со временем привести к созданию новых типов измерительных приборов и сенсоров, основанных на новых принципах.

Идеально квантовый бит представляет собой квантовую двухуровневую систему с большим временем декогерентизации. Твердотельные кубиты вызывают особый интерес из-за возможности их дубликации, т.е. создав отдельный кубит, можно формировать более сложные квантовомеханические цепи, состоящие из многих кубитов. Более того, твердотельные кубиты могут быть введены, в принципе, в схему управления и/или считывающую схему, образуя единый квантовый процессорный чип. Однако поскольку твердотельные кубиты сильнее связаны с электромагнитным окружением, поддержание когерентности в них труднее по сравнению с микроскопическими кубитами (ядра, ионы и т.д.).

Эксперименты с кубитами включают три основные стадии: приготовление начального состояния, манипуляции состоянием и стадии считывания. В зависимости от конкретного кубита эти стадии могут различаться. Экспериментальная установка должна быть сконструирована таким образом, чтобы, с одной стороны, кубит был бы изолирован от окружения для сохранения когерентности в течение достаточно долгого времени, а с другой стороны, чтобы был необходимый доступ к кубиту для измерения его состояния после манипуляций.

Среди твердотельных кубитов кубиты, основанные на эффекте Джозефсона, оказались наиболее перспективными [2, 3]. После первой успешной демонстрации конт-

ролируемой манипуляции в джозефсоновском кубите, использующем зарядовую степень свободы [4], было проведено несколько других экспериментов с фазовым [5, 6], потоковым [7], зарядовым [8] и комбинированным (заряд/поток) [9] джозефсоновскими кубитами. Более того, недавно было продемонстрировано когерентное поведение цепей из двух взаимосвязанных кубитов [10, 11]. Получены четкие доказательства взаимодействия электростатически связанных кубитов. На основе двух взаимосвязанных зарядовых кубитов была продемонстрирована также стандартная логическая операция C–NOT, т.е. создан прототип квантового логического C–NOT-затвора [12]. Следующий важный шаг, который должен быть сделан, — организация контролируемого взаимодействия кубитов [13, 14].

В настоящее время усилия многих исследователей направлены на улучшение качества отдельных кубитов и понимание механизмов декогерентизации в джозефсоновских кубитах. Это сделано, например, с помощью реализации новых считывающих схем с высокой эффективностью и низким обратным действием [15, 16]. Комбинируя ловушку и одноэлектронный транзистор, мы смогли провести одиночные считывания показаний зарядового кубита, т.е. мы смогли измерить состояние кубита после каждого события при манипуляции [15]. Эта цепь также позволила нам определить динамику релаксации зарядового кубита [17]. Из результатов этих измерений мы сделали вывод, что зарядовый шум, исходящий от двухуровневого источника флуктуаций, играет ключевую роль в энергетической релаксации кубита.

Список литературы

1. Nielsen M A, Chuang I L *Quantum Computation and Quantum Information* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000)
2. Shnirman A, Schön G, Hermon Z *Phys. Rev. Lett.* **79** 2371 (1997)
3. Averin D V *Solid State Commun.* **105** 659 (1998)
4. Nakamura Y, Pashkin Yu A, Tsai J S *Nature* **398** 786 (1999)
5. Martinis J M et al. *Phys. Rev. Lett.* **89** 117901 (2002)
6. Yu Y et al. *Science* **296** 889 (2002)
7. Chiorescu I et al. *Science* **299** 1869 (2003)
8. Duty T et al. *Phys. Rev. B* **69** 140503(R) (2004)
9. Vion D et al. *Science* **296** 886 (2002)
10. Pashkin Yu A et al. *Nature* **421** 823 (2003)
11. Berkley A J et al. *Science* **300** 1548 (2003)
12. Yamamoto T et al. *Nature* **425** 941 (2003)
13. Averin D V, Bruder C *Phys. Rev. Lett.* **91** 057003 (2003)
14. Lantz J et al., cond-mat/0403285
15. Astafiev O et al. *Phys. Rev. B* **69** 180507(R) (2004)
16. Lupascu A et al., cond-mat/0311510; submitted to *Phys. Rev. Lett.*
17. Astafiev O et al., submitted to *Phys. Rev. Lett.*

PACS numbers: 74.20.De, 74.25.Dw, 74.25.Op

Сверхпроводящие состояния и магнитный гистерезис в сверхпроводниках конечного размера

Г.Ф. Жарков

Макроскопическая теория сверхпроводимости Гинзбурга–Ландау (ГЛ) [1] (ГЛ, 1950) представляет собой пример торжества физической интуиции. Эта теория была успешно использована для описания поведения

сверхпроводников в магнитном поле и для предсказания множества эффектов, получивших в дальнейшем экспериментальное подтверждение. Центральным пунктом этой теории является предположение, что физическое состояние сверхпроводника описывается комплексной функцией, называемой параметром порядка,

$$\Psi(\mathbf{x}) = \psi(\mathbf{x}) \exp[i\Theta(\mathbf{x})],$$

где ψ — модуль и Θ — фаза параметра порядка, $\mathbf{x}$ — пространственная координата. Из условия однозначности $\Psi(\mathbf{x})$ следует, что в любой точке сверхпроводника фаза определена лишь с точностью до фактора $2\pi m$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, причем $\psi(\mathbf{x})$ в этой точке может иметь особенность: $\psi(\mathbf{x}) \sim x^{|m|}$ при $x \rightarrow 0$. Позже было выяснено, что с этой особенностью связано наличие вихрей [2] (Абрикосов, 1957) в сверхпроводниках II рода, для которых значение материального параметра теории $\kappa > \kappa_0 = 1/\sqrt{2} = 0,707$.

Деление сверхпроводников на две группы ($\kappa < \kappa_0$ и $\kappa > \kappa_0$) было предложено уже в исходной работе ГЛ, которые нашли, что свободная энергия поверхности раздела между сверхпроводящим (s-) и нормальным (n-) состояниями металла в магнитном поле (в так называемом промежуточном состоянии) обращается в нуль при $\kappa = \kappa_0$ [1], что свидетельствует о неустойчивости n-состояния в сверхпроводниках I рода ($\kappa < \kappa_0$) относительно образования s-фазы и приводит (при уменьшении внешнего поля H) к фазовому переходу первого рода (скачком) из переохлажденного (в магнитном поле) сверхпроводящего состояния в нормальное. Они же нашли, что в сверхпроводниках I рода в достаточно слабом поле наблюдается эффект Мейснера (т.е. полное выталкивание поля из сверхпроводника), а с ростом поля происходит фазовый переход первого рода из перегретого s-состояния в нормальное n. Однако, следуя Абрикосову [2], можно также говорить, что при $\kappa > \kappa_0$ магнитное поле начинает проникать внутрь сверхпроводника II рода в виде вихрей (образуя так называемое смешанное состояние), причем с ростом поля нормальные сердцевин вихрей полностью перекрываются и сверхпроводник переходит в нормальное состояние фазовым переходом второго рода (в поле $H_{c2} = \phi_0/(2\pi\xi^2)$, где $\phi_0 = hc/2e$ — квант потока, ξ — длина когерентности сверхпроводника [2]). Таким образом, в [2] был описан вихревой механизм проникновения внешнего поля внутрь сверхпроводника II рода.

Заметим здесь, что описанная выше картина проникновения магнитного поля в сверхпроводники была получена в [1, 2] на основе термодинамических соображений для однородных сверхпроводников бесконечной протяженности, без учета возможных краевых эффектов. Ниже будет продемонстрировано, что в сверхпроводниках конечного размера (цилиндр или пластина, находящиеся в вакууме в продольном магнитном поле) существует еще один, краевой, механизм проникновения поля в сверхпроводник. При этом механизме вихри могут не образовываться, однако параметр порядка $\psi(\mathbf{x})$ вблизи краев сверхпроводника сильно подавляется и растущее магнитное поле почти свободно начинает проникать в сверхпроводник вблизи его краев. При дальнейшем усилении поля такое краевое (edge) e-состояние окончательно подавляется при достижении полем значения H_{c2} . Краевые e-состояния могут существовать лишь в сверхпроводниках II рода с $\kappa > \kappa_c = 0,93$ при достаточно