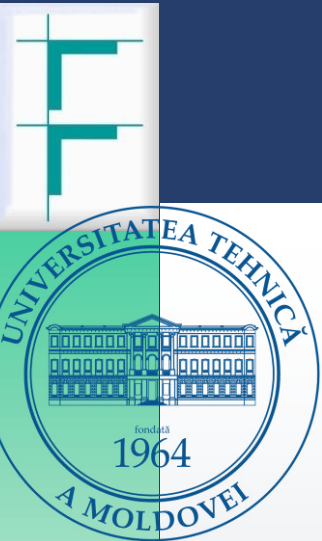




INFORMATICA CUANTICĂ

Acad. AȘM, Profesor univ. Sidorenko Anatolie

**Institutul de Inginerie Electronica
și Nanotehnologii al UTM**

**E-mail: sidorenko.anatoli@gmail.com
anatolie.sidorenko@mib.utm.md**

Tel./viber +37369513294



Тема 7. Процессы декогерентизации состояний кубитов и квантовых компьютеров

7.1. Процессы декогерентизации состояний кубитов и квантовых компьютеров

1. Декогерентизации состояний квантовых систем

В теории идеального квантового компьютера считалось, что квантовые суперпозиции $|\psi\rangle = \sum c_x |x\rangle$ описывающие состояние регистра из L кубитов, остаются когерентными в процессе вычислений сколь угодно долго. Однако взаимодействие регистра с неконтролируемым окружением, неточности в значениях параметров управляющих импульсов, а также неконтролируемое взаимодействие кубитов между собой являются источниками декогерентизации квантового состояния $|\psi\rangle = \sum_x c_x |x\rangle$. Декогерентизация означает, что когерентное состояние системы превращается в смешанное, описываемое матрицей плотности

$$\rho = \sum_x |c_x|^2 |x\rangle\langle x|.$$

В описании системы матрицей плотности нет информации о фазах базисных состояний, что лишает систему свойств интерферировать и запутываться. По сути **декогерентизация состояния квантовой системы означает ее классицизацию, т.е. переход в состояние, описываемое законами классической физики.**

Тема 7. Процессы декогерентизации состояний кубитов и квантовых компьютеров

Декогерентизации состояний квантовых систем

Важным параметром квантовой системы является время декогерентизации τ_{dc} ее состояний.

Ниже мы рассмотрим τ_{dc} для одного кубита и τ_{dc}^L для регистра из L кубитов.

Регистр из L кубитов теряет когерентность состояния быстрее чем время:

$$\tau_{dc}^L = \frac{\tau_{dc}}{L^\alpha}, \quad \alpha = 1, 2.$$

Время декогерентизации необходимо сравнивать со средним временем выполнения вычислительной операции τ_{op} : отношение $N_{op} = \tau_{dc}^L / \tau_{op}$ показывает, сколько вычислительных операций удастся выполнить, пока квантовый компьютер сохраняет когерентность состояния. С учетом соотношения $\tau_{dc}^L = \tau_{dc} / L^\alpha$ имеем

$$N_{op} = \frac{\tau_{dc}}{\tau_{op} L^\alpha}. \quad (74)$$

Значения τ_{dc} , τ_{op} могут сильно различаться для различных реализаций кубита, но их отношение мало зависит от реализации: $\frac{\tau_{dc}}{\tau_{op}} = 10^3 - 10^6$.

Из формулы (74) следует, что на компьютере, содержащем $L = 10^3$ кубитов, за время декогерентизации удастся выполнить лишь небольшое число вычислительных операций.

Процессы декогерентизации квантовых состояний компьютера "запрещают" существование полномасштабного (способного решать большие задачи) квантового компьютера. Где выход из ситуации? Есть очевидные предложения, следующие из формулы (74): 1) необходимо сократить время операции τ_{op} ; 2) необходимо увеличить время декогерентизации τ_{dc} кубита.



Тема 8. Методы преодоления эффектов декогерентизации в квантовых компьютерах

Темы для самостоятельного изучения (темы рефератов):

- Кодирование информации и коррекция ошибок в классическом канале
- Трехкубитовый квантовый код
- Коррекция фазовых ошибок
- Помехоустойчивые квантовые вычисления
- Устойчивые к декогерентизации кубиты
- Методы предотвращения ошибок: квантовый эффект Зенона
- Квантовая коррекция ошибок методом слабых непрерывных измерений и обратной связи
- Помехоустойчивые топологические квантовые вычисления



Тема 9. Поиски путей реализации квантовых компьютеров

В рамках краткого спецкурса нет возможности подробно рассмотреть все экспериментальные результаты по поиску путей реализации идеи квантовых компьютеров. Ограничимся перечислением перспективных направлений поиска, с которыми вы можете встретиться.

- 1) Метод ядерного магнитного резонанса в жидкостях при комнатной температуре дал возможность демонстрации экспериментального выполнения основных квантовых алгоритмов и методов коррекции ошибок с использованием до семи кубитов в ансамблевом квантовом компьютере.
- 2) Большое число экспериментов по реализации квантовых вычислительных операций выполнено на ионах в одномерном ионном кристалле в ловушке Пауля .

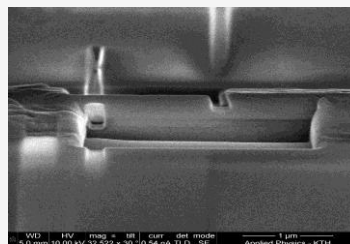
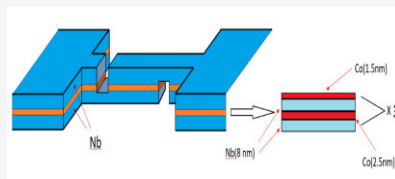
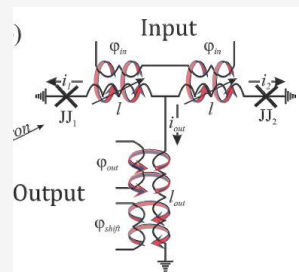
Однако и в этом варианте квантового компьютера обнаружились серьезные препятствия к увеличению числа кубитов (ионов в одномерном кристалле) из-за неустойчивости одномерного ионного кристалла.

3) Кубиты в полупроводниковых кристаллах моноизотопного кристалла кремния, в котором атомы фосфора - кубиты расположены в линейной цепочке (модель Кейна). Кубитом служит ядерный ($I = 1/2$) или электронный ($S = 1/2$) спин атома фосфора. Число кубитов, "изготовленных" в такой архитектуре, не ограничено. Темп развития этого направления, признаваемого всеми весьма перспективным, определяется темпом нанотехнологических разработок, необходимых для создания структур с необходимыми параметрами.

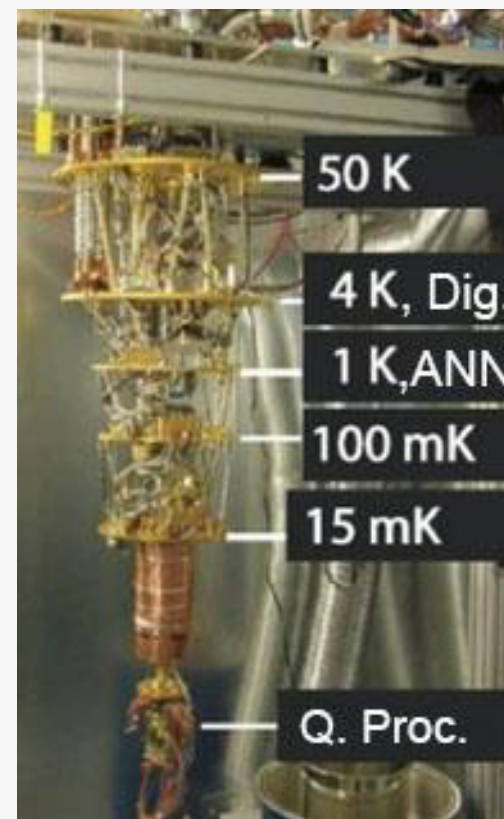
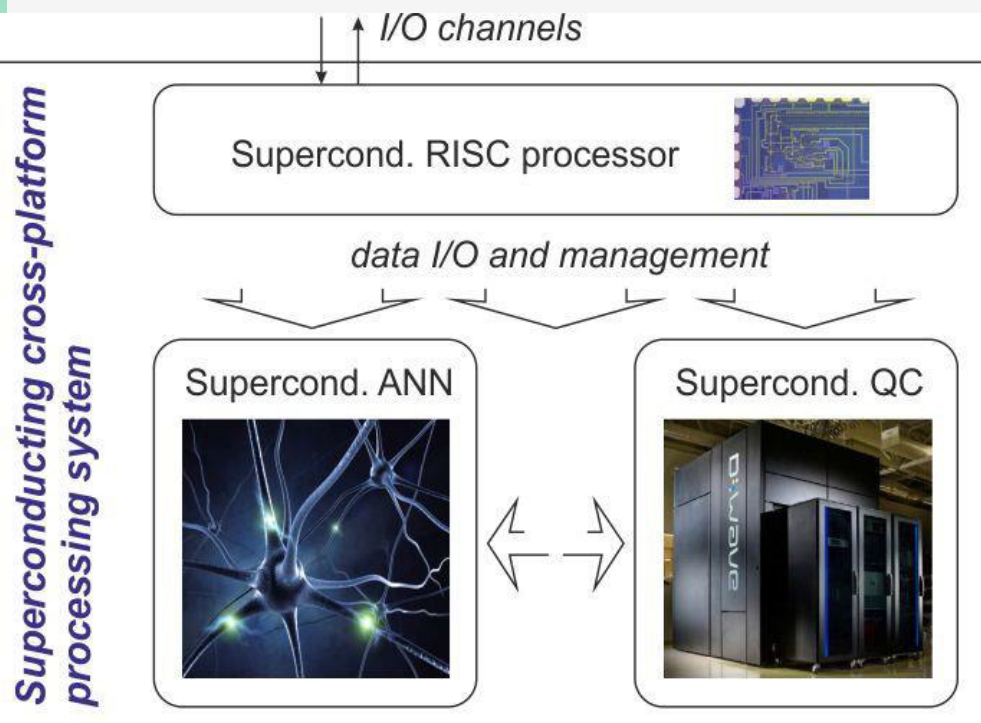
4) Изготовлены и исследованы кубиты на сверхпроводниковых мезоструктурах. Здесь созданы два варианта кубитов: в первом варианте квантовая информация кодируется числом сверхпроводящих пар в квантовой точке, во втором — направлением сверхпроводящего тока в скивде.

Для изготовления структур кубитов используется имеющийся арсенал технологических методов микроэлектроники. Число изготавливаемых кубитов на "чипе" в принципе не ограничено. В данном направлении поиска путей реализации квантового компьютера наблюдается наибольшая активность экспериментаторов и реально достигнутый прогресс.

Superconducting solution - Rapid and energy-efficient quantum computer



Superconducting Gauss-Neuron for Artificial Neural Network



Temperature levels of operating of Quantum Computer



Рекомендованная литература

1. Ю.И. Богданов. Физико- статистические основы квантовой информатики. Учебное пособие. М.: МИЭТ, 2010, 163 с.
2. К. А. Валиев. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления. УФН, 2005, том 175, номер 1, с.3-39 DOI: 10.3367/UFNr.0175.200501a.0003 (ОБЗОРЫ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ).
3. Соколов А.И. Элементы квантовой информатики: Учебное пособие. – СПб.: Издательство физического факультета СПбГУ, 2012. – 66 с.
3. Дионис Диметор. Квантовая информация и законы сохранения. Энтропия фон Неймана как мера квантовой запутанности. <https://habr.com/ru/articles/797607/>
4. Kittel, Charles (2013). *Introduction to solid state physics* (8th ed.). New Jersey: Wiley. p. 680. ISBN 978-0-471-41526-8. OCLC 820453856
5. Nielsen M A, Chuang I L Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000)
6. Ландау Л Д, Лифшиц Е М Квантовая механика: Нерелятивистская теория (М.: Физматгиз, 1963)
7. Schrödinger E *Naturwissenschaften* 23 807 (1935)
8. Einstein A, Podolsky B, Rosen N *Phys. Rev.* 47 777 (1935)
9. Клышко Д Н Фотоны и нелинейная оптика (М.: Наука, 1980)
10. Mandel L, Wolf E *Optical Coherence and Quantum Optics* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995) (Перевод на русский язык: Мандель Л, Вольф Э Оптическая когерентность и квантовая оптика (М.: Физмат лит, 2000)]
11. Grover L, in *Proc. of the 28th Annual ACM Symp. on Theory of Computation* (New York: ACM Press, 1996) p. 212
12. Манин Ю И Вычислимое и невычислимое (М.: Сов. радио, 1980)
13. Хомицкий Д. В. Физические основы методов управления спиновой плотностью в наноструктурах спинтроники: Учебно-методическое пособие. Издательство: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. - 94с.