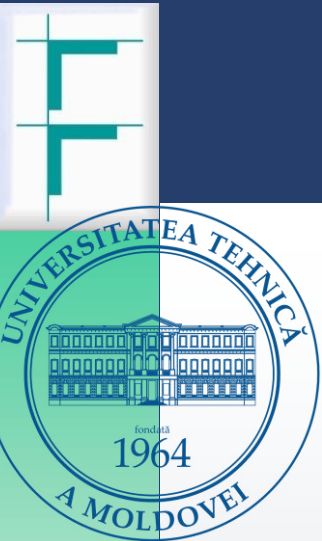




INFORMATICA CUANTICĂ

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 5. Проблемы измерений состояния кубита

5.1. Измерение состояния кубита

Измерение состояния кубитов в квантовом компьютере считается одной из стандартных операций. Например, инициализация кубитов квантового регистра может быть выполнена алгоритмически: каждый кубит в неизвестном состоянии регистра $|\psi\rangle = \sum_x a_x |x\rangle$ подвергается измерению в базисе $|0\rangle, |1\rangle$. Если получается $|0\rangle$, инициализация кубита завершена; если получается $|1\rangle$, применяем операцию NOT $|1\rangle = |0\rangle$.

Операция измерения выполняется в ходе процессов коррекции ошибок (чтение синдрома ошибок) и возвращения в состояние $|0\rangle$ кубитов-анцилл. Наконец, измерение всех кубитов квантового регистра в базисе $|0\rangle, |1\rangle$ выполняется по завершении вычислений в целях получения классической информации (двоичного числа $j_1, \dots, j_n \in \{0, 1\}$) о решении задачи.

С теоретической точки зрения нет никаких сложностей в процедуре измерения состояния кубита в базисе $|0\rangle, |1\rangle$. Однако физическая реализация измерения кубита сопряжена с решением весьма сложных технологических проблем, связанных с преодолением трудностей измерения состояния отдельной атомной частицы: атома, иона, электрона, спина электрона или атомного ядра, фотона. По существу для каждой реализации кубита нужна разработка своего физического метода измерения его состояния.

Измерения состояния кубитов на сверхпроводниковых мезоструктурах (квантовые точки с куперовскими парами или скинны со сверхтоками) сводятся к электрическим измерениям с накоплением сигнала. Можно утверждать, что проблема измерения состояния отдельных кубитов — одна из самых трудных с точки зрения физической реализации квантового компьютера.

Тема 5. Проблемы измерений состояния кубита

5.2. Томография квантового состояния

Процедура определения матрицы плотности ρ неизвестного состояния системы называется томографией квантового состояния. Томография состояния означает, что нужно определить все элементы матрицы ρ или (в случае системы в чистом состоянии $|\psi\rangle = \sum_x c_x |x\rangle$) все амплитуды c_x , включая их фазы. Томография состояния есть статистическая процедура, требующая наличия (изготовления) неограниченного ансамбля частиц в состоянии ρ и выполнения измерений на частицах из этого ансамбля.

Рассмотрим на примере кубита, какие измерения нужны.

Матрицу плотности ρ кубита можно разложить по стандартному набору матриц операторов преобразования кубита I, X, Y, Z :

$$\rho = \text{Tr}(\rho)I + \text{Tr}(X\rho)X + \text{Tr}(Y\rho)Y + \text{Tr}(Z\rho)Z. \quad (55)$$

Величина $\text{Tr}(A\rho)$ представляет собой среднее значение наблюдаемой A . Из уравнения (55) следует, что для определения матрицы плотности ρ неизвестного состояния необходимы статистические измерения, позволяющие найти средние значения (моменты первого порядка) наблюдаемых X, Y, Z :

$$\langle X \rangle = \text{Tr}(X\rho) \equiv \lim_{m \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i \right),$$

Тема 5. Проблемы измерений состояния кубита

5.2. Томография квантового состояния

Идею метода томографии квантового процесса продемонстрируем на примере одного кубита. Выберем $d^2 = 4$ ($d = 2$ — размерность пространства состояний кубита) подансамбля кубитов в базисных состояниях $\rho_1, \dots, \rho_4$:

$$\rho_1 = |\psi_1\rangle\langle\psi_1|, \quad \dots, \quad \rho_4 = |\psi_4\rangle\langle\psi_4|.$$

В результате неизвестного процесса декогерентизации, характеризуемого оператором E , состояния ρ_i трансформируются:

$$\rho_i \rightarrow \rho'_i = E \otimes \rho_i.$$

Состояния ρ_i известны, а состояния с ошибкой ρ'_i определяются, используя процедуры томографии квантового состояния. Тогда равенства

$$\rho'_i = E \otimes \rho_i$$

представляют собой систему уравнений для определения элементов неизвестной матрицы E .