Титульный слайд

Вопрос по выбору посвящен квантовым вычислениям и их реализации в квантовых компьютерах на ионных ловушках. Его я сделал совместно с (имя соседа). Мотив был следующий: сейчас тема квантовых компьютеров очень популярна в связи с перспективой их применения в криптографии и математическом моделировании. В СМИ очень много статей посвящено их поразительной эффективности для решения различных задач и их серьезном влиянии на будущее человечества. Мы решили разобраться в этой теме, узнать как устроен квантовый компьютер, а также оценить, насколько действительно хороши квантовые компьютеры с точки зрения вычислений. Конкретно нас заинтересовало, как вычисляют квантовые компьютеры, чем они отличаются от классических, как они устроены с точки зрения физики и насколько они перспективны. Как оказалось, квантовые компьютеры имеют массу физических вопрощений. Конкретную реализацию на ионных ловушках нам подсказал Сергей Петрович Никитин, член клуба менторов Физтех-Союза по науке. Конечно, эта реализация далеко не единственная. Так, существуют кубиты на фотонах, сверхпроводниках, оптических резонаторах. Их физика сложна и существенно выходит за рамки курса по атомной и ядерной физике. Поэтому выбор в пользу ионных ловушек нам показался осмысленным с точки зрения трудности восприятия и приближённости к курсу общей физики.

Оглавление

Содержание нашего вопроса по выбору следующее…

Классический бит и квантовый (текст)

Зададимся вначале простым вопросом: как реализуется классический бит? Ответ на него прост: существуют триггеры – электронные устройства, способные долго находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Они преимущественно изготовляются из полупроводниковых приборов (такие как биполярный и полевой транзисторы), в прошлом – из электромагнитных реле и электронных ламп. Состояния триггеров условно обозначаются как 0 и 1. Они сохраняются после прекращения действия переключающего сигнала, что позволяет их использовать как элементы памяти. Их состояния легко опознаются по значению выходного напряжения. При этом надо отметить, что состояние триггера не меняется после измерения выходного напряжения. Итак, особенность классического бита (или, что то же самое, триггера) состоит в том, что он может быть строго в двух состояниях, эти состояния устойчивы и не меняются после измерения.

Прежде чем разбираться с устройстве квантовых битов (или кубитов), нужно разобраться с тем, что такое пространство состояний. В квантовой механике с каждой изолированной физической системой связывается комлексное векторное пространство со скалярным произведением с требованием полноты относительно метрики, порожденной скалярным произведением. Это пространство состояний физической системы. Оно вообще говоря, может быть бесконечномерным, однако, говоря о кубите, мы имеем дело с двумерным комплексным пространством C^2 (читается «цэ-два»). Обозначим его базисные векторы состояний за |0> и |1> - это так называемые кет-векторы. Они аналогичны состояниям 0 и 1 классического бита-триггера, хотя, конечно, это сравнение неформальное, так как физическая реализация классических триггеров и квантовых кубитов принципиально отличается, да и базис в простанстве состояний можно выбрать бесконечным числом способов. Заметим, что произвольный вектор из пространства состояний является линейной комбинацией базисных кет-векторов. Здесь проявляется первое отличие кубита от классического бита – кубит находится в суперпозиции двух состояний и формально принимает бесконечное число значений. Значит ли это, что кубит имеет бесконечную вариацию состояний? Оказывается, что во время измерения кубит переходит только в одно из двух состояний- |0> или |1> и мы не можем измерить значений коэффициентов. Тем не менее, измеряя один и тот же кубит много раз, мы можем оценить квадраты модулей этих коэффициентов, поскольку они равны вероятностям перейти в соответствующее состояние. Отсюда кстати, получается условие нормировки. После измерения состояние кубита переходит с фиксированное состояние – ситуация, аналогичная коту Шреддингера. Это значит, что процесс измерения влияет на состояние кубита, в отличие от классического бита. Как будет далее, квантовые системы очень неустойчивы и требуют ресурсов для поддержания кубита в суперпозиции. Это также отличает классический бит от кубита.

Классический бит и квантовый (картинка)

Геометрическая интерпретация состояния кубита получается из условия нормировки. Множитель с гамма можно игнорировать, так как он не приводит к наблюдаемым эффектам. Тогда мы получаем вектор состояния, зависящий от двух параметров, конец которого заметает единичную сферу Блоха. Пример физической реализации двухуровненой модели кубита – атом с электронном в основном и первым возбужденном состояниями. Облучая атом энергией в течении некоторого времени, можно перевести электрон из состояния 0 в состояние 1. Оказывается, что если сократить время облучения, то можно оставить электрон в суперпозиции этих двух состояний. Таким образом имеем атомную реализации кубита.