

КВАНТОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ НА ПРИМЕСНОМ ЦЕНТРЕ КРИСТАЛЛА АЛМАЗА

А. С. Чернухо

Квантовая теория информации является одной из передовых современных теорий. Как известно, в течение уже достаточно длительного периода традиционная вычислительная техника развивается, в основном, экстенсивным путем. Прогресс в области компьютерной техники достигается за счет миниатюризации ее базовых элементов. Однако ясно, что долго двигаться таким путем не удастся – уже в наши дни велика озабоченность невозможностью дальнейшего совершенствования в традиционном направлении. Это проявляется в серьезной заинтересованности научного сообщества в создании так называемого квантового компьютера. Ясно, что нет никакого смысла развивать технику аналогичную существующей, только значительно более дорогую – должны существовать непротиворечивые доказательства того факта, что квантовые компьютеры дадут значительный прирост производительности, если не общей, то хотя бы в нескольких ключевых направлениях. Активная деятельность вокруг квантовой теории информации развернулась как раз после обнаружения алгоритмов, демонстрирующих кардинальное увеличение производительности квантовой техники по сравнению с традиционной. Первым стал алгоритм Дойча - Йоса [1]. Немного позже Шор открыл способ быстрой факторизации чисел [2], а Гровер – поиска в базе данных [3]. Все алгоритмы, конечно, должны использовать исключительные свойства квантовой теории, чтобы обойти классические аналоги. Такими свойствами являются перепутанность и параллелизм. Следует также обратить внимание на успехи в создании собственно оборудования для квантовых вычислений. Усилия здесь прикладываются в множестве различных направлений: использование единичных спинов, ансамблей атомов, квантовых точек, сверхпроводящих элементов (SQUID), и т.д. Конечно же, как только научная группа полу чает более или менее работоспособный образец квантового оборудования, производится проверка одного из квантовых алгоритмов. В этой работе будет представлена проверка алгоритма Дойча-Йоса на примесном NV-центре в кристалле алмаза и, кроме того, реализация белловских состояний на этом же центре. Техника получения алмазов с единичными NV-дефектами была разработана и реализована в университете Штуттгарта [4].

Мы будем рассматривать дефект в кристалле алмаза типа «азот-вакансия» связанный с ближайшим атомом углерода ^{13}C . Схема нижних

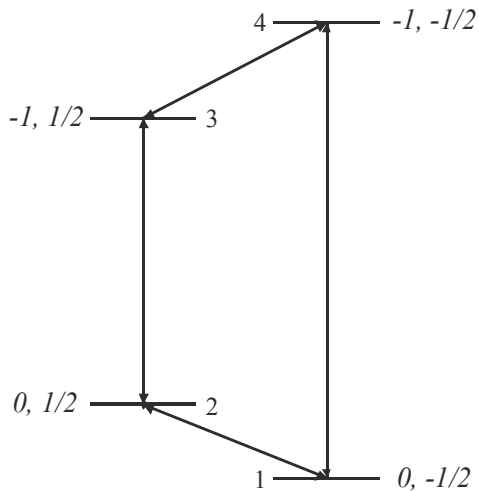


Рис. 1. Схема уровней NV дефекта в кристалле алмаза
 Частоты переходов : 1–4 2.88 ГГц,
 1–2 10МГц, 3–4 130 МГц

четырёх уровней дефекта, находящегося в сильном магнитном поле, приведена на рис. 1. Переходы 1–4 и 2–3 лежат в радиоволновой области, в то время как 3–4 – в микроволновой. Частота перехода 1–2 очень мала (порядка 10МГц), поэтому использование этого перехода не представляется возможным. Хочется отметить, что в алмазе существует более ста цветовых центров, повышенный интерес к дефекту NV типа связан с тем, что связь такого центра с фононными возбуждениями решетки чрезвычайно слаба. Это приводит к тому, что продольные времена релаксации системы порядка секунд, а поперечные составляют десятки мкс

(сотни для очень чистых образцов алмаза, т.к. время релаксации сильно зависит от концентрации атомов азота), причем приведенные времена даны для комнатной температуры, что делает такие центры реальными претендентами на использование в качестве основы для квантового компьютера. Создание Белловского состояния осуществляется особенно просто – необходимо приложить лишь два импульса: $\pi/2$ -импульс в канале 2–3 и π в канале 3–4. Второй импульс должен быть селективным. Результаты симуляции этого процесса с учетом релаксации представле-

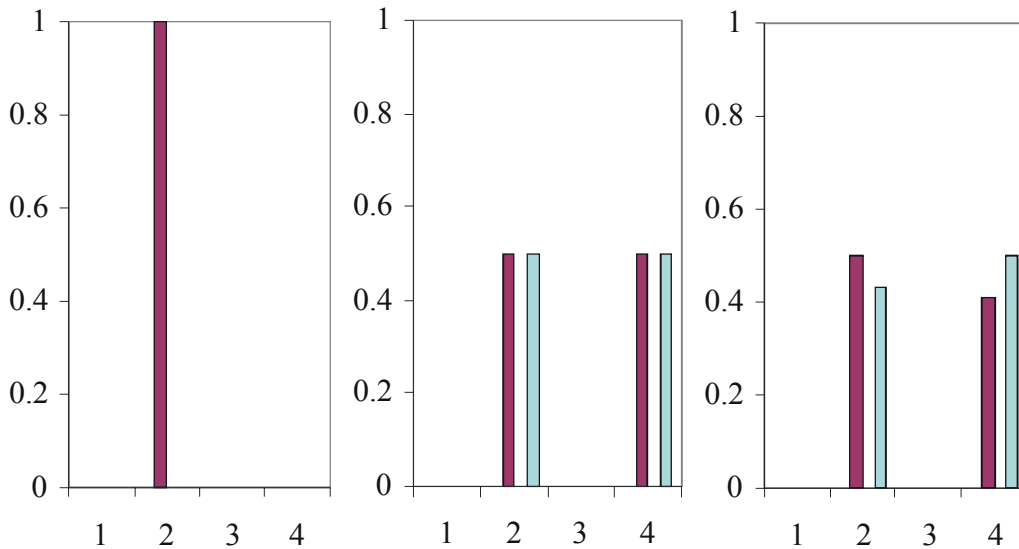


Рис.2. Результаты симуляции процесса создания Белловских состояний.
 Справа исходное состояние, по центру идеальное конечное состояние,
 слева конечное состояние с учетом релаксации

ны на *рис. 2*. Самым первым алгоритмом, продемонстрировавшим существование областей, в которых квантовый компьютер имеет подавляющее преимущество над классическим, стал алгоритм Дойча – Йоса. Этот алгоритм, очевидно, не имеет практической ценности сам по себе, однако он является самым простым в смысле реализации и, тем не менее, демонстрирует возможности применения таких явления квантового мира как параллелизм и перепутанность. Обычно, как только исследовательская группа получает работоспособный образец, реализующий квантовый бит, она реализует именно этот алгоритм. По этой причине мы и решили осуществить его симуляцию на примесном NV центре. Последовательность импульсов в этом случае более сложна и имеет вид: π в канале 2–3, $3\pi/2$ в канале 3–4, 2π либо 4π в канале 1–4 и, наконец, $-\pi/2$ в канале 3–4. Альтернатива для третьего импульса задает либо постоянную, либо сбалансированную функцию алгоритма. Результаты симуляции представлены на *рис. 3, 4*.

Таким образом, сравнительно большие времена релаксации позволяют достаточно эффективно реализовать алгоритм. Из диаграмм видно, что к окончанию алгоритма распадается примерно 18% населенностей. Это, в частности, достигается за счет оптимизации последовательности импульсов до четырех, что значительно снизило общее время, необходимое для реализации алгоритма.

В заключение отметим, что реализация высокоэффективных квантовых алгоритмов является, безусловно, одной из важнейших задач современной науки. Однако для этого необходимы, в первую очередь, квантовые биты высокой стабильности. До тех пор, пока такие долгоживущие

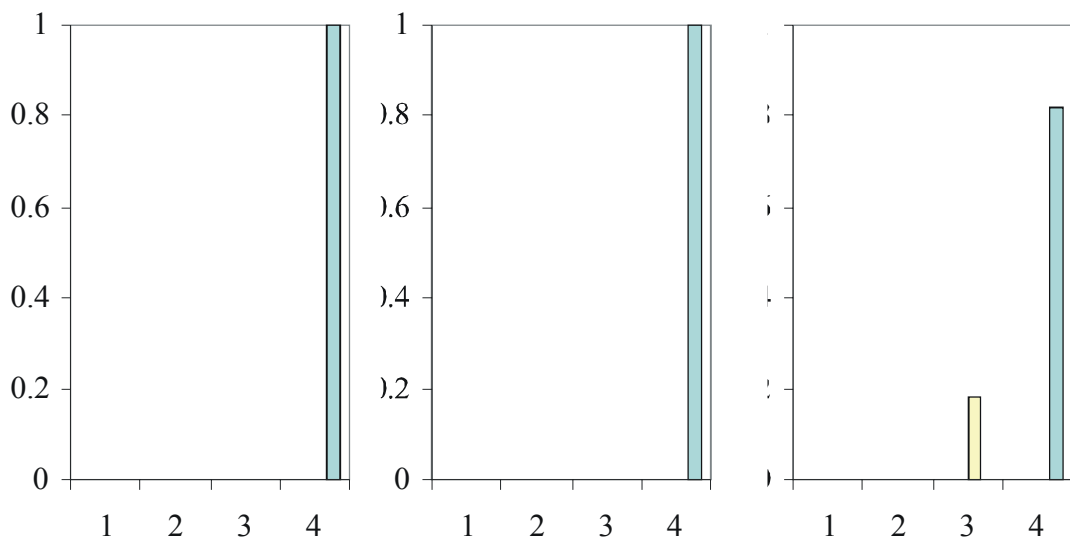


Рис. 3 Результаты стимуляции алгоритма Дойча – Йоса для постоянной функции.

Справа – исходное состояние, по центру – идеальное состояние,
слева – конечное состояние с учетом релаксации

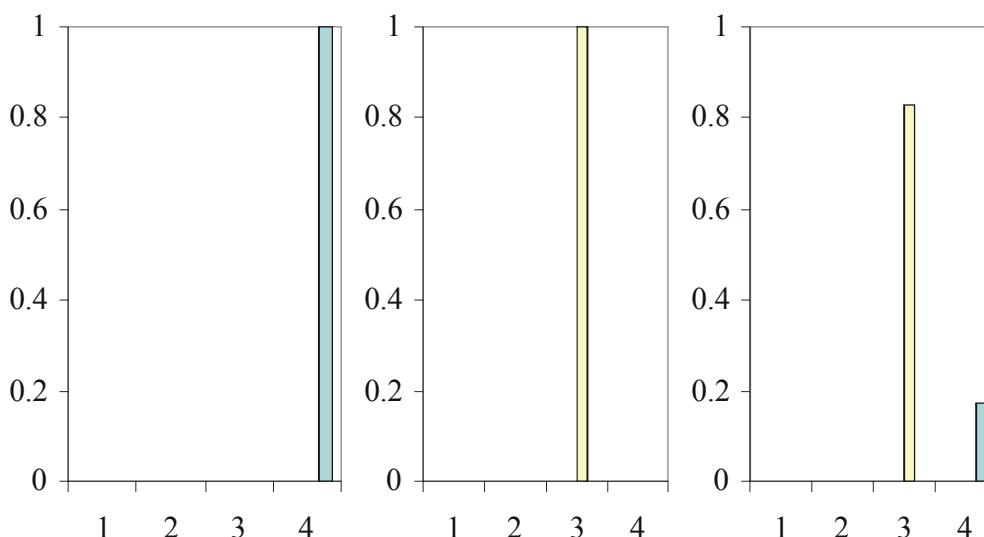


Рис.4 Результаты стимуляции алгоритма Дойча – Йоса для сбалансированной функции.
Справа – исходное состояние, по центру – идеальное состояние,
слева – конечное состояние с учетом релаксации

элементы не будут получены, воплотить в жизнь алгоритмы вроде алгоритма Шора или Гровера будет весьма сложно.

Литература

1. *Deutsch D. and Jozsa R.* Rapid Proc. R. Soc. London *A439* (1992) 553–558.
2. *Shor P.* SIAM J. Comput. 26 (1997) 1484–1509.
3. *Grover L. K.* Proc. 28th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing (STOC), May (1996) 212–219.
4. *Jelezko F., Gaebel T., Popa I., Gruber A., Wrachtrup J.* Coherent oscillations in a single electron spin at room temperature.

СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdSe И ОРГАНИЧЕСКИХ ЛИГАНДОВ

А. А. Яровой

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наметился устойчивый интерес к разработке функциональных гетероструктур на основе полупроводниковых нанокристаллов (НК) и органических молекул, в которых реализуются фотоиндуцированное разделение заряда [1] или направленный перенос энергии [2], что представляет интерес для разработки функциональных устройств в нанотехнологиях. В данной работе излагаются принципы формирования в жидких растворах композитов на основе полупроводниковых НК