КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 538.915; 538.955

DOI: 10.17223/00213411/63/5/159

*М.Р. АРИФУЛЛИН, В.Л. БЕРДИНСКИЙ***ВЫСОКОСПИНОВЫЕ ПАРАМАГНИТНЫЕ ИОНЫ В КАЧЕСТВЕ КУБИТОВ
И КУТРИТОВ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ***

Предложен новый способ физической реализации элементарных операций квантовых вычислений путем импульсных манипуляций электронными спинами парамагнитных ионов со спином $S = 1$ в нулевом магнитном поле. Для этой цели предлагается использовать СВЧ-импульсы, фаза которых может изменяться во время его действия на спиновую систему иона. Для описания эффектов таких импульсов предложен новый способ представления экспоненциальных операторов в виде конечных полиномов односпиновых матриц Паули.

Ключевые слова: парамагнитные ионы, квантовые вычисления, кубит.

Введение

В последнее время квантовая информатика и квантовые вычисления достигли значительных, главным образом, теоретических успехов. Разрабатываются квантовые алгоритмы, предлагаются различные варианты архитектуры квантовых компьютеров и различные физические реализации кубитов [1], кутритов и других элементов более высокого порядка. Существует много различных предложений для физической реализации квантового компьютера [2–8], и все они определяются физикой их кубитов и природой взаимодействий между кубитами. Например, использование полимерных систем [9], представление кубита с помощью магнитного потока через сверхпроводящий контур [10] или использование в качестве кубитов электронов на поверхности жидкого гелия. Однако для практической реализации многих предложенных физических систем обработки квантовой информации требуются очень дорогие, сложные и, как правило, ненадежные физические и технические методы, например, сверхнизкие температуры, сверхсильные магнитные поля, сверхглубокий вакуум, сложные лазерно-оптические методы охлаждения.

Поэтому наиболее перспективными считаются твердотельные квантовые компьютеры. Это область активных исследований и ожидается, что будет легче масштабировать твердотельную систему до большого количества кубитов. Одним из вариантов является использование заряда и спина электрона в квантовых точках [11], но использование заряда в качестве кубита приводит к очень малым временам когерентности (10^{-10} – 10^{-13} с) из-за сильного взаимодействия с окружающей средой и флуктуаций потенциала, создаваемых внешними зарядами.

В данной работе предлагается использовать в качестве элементов квантового компьютера парамагнитные ионы с суммарным электронным спином $S = 1$ и с нулевым ядерным спином в простой кубической или тетрагональной кристаллической решетке. В отсутствие внешнего магнитного поля (в нулевом магнитном поле) диполь-дипольное и спин-орбитальное взаимодействия устраняют вырождение уровней с суммарным спином $S_z = 0$ и $S_z = \pm 1$ [12, 13]. Такое расщепление уровней в нулевом магнитном поле позволяет отказаться от использования сильных магнитных полей для реализации спиновых кубитов или кутритов. В зависимости от типа ионов и кристаллической решетки расщепление в нулевом поле, как правило, попадает в технически доступные радиочастотные или микроволновые диапазоны электромагнитного поля. Магнитная компонента таких полей способна индуцировать переходы между энергетическими уровнями с различными значениями S_z . Ранее кристаллы с примесными высокоспиновыми ионами в нулевом магнитном поле были предложены в качестве активных сред для микроволновых мазеров [14]. Создание таких мазеров сопровождалось развитием радиотехнических методов управления спиновыми состояниями ионов. Активными примесными ионами могли быть ионы Ni^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{2+} , Gd^{3+} и другие лантаноиды с различными наборами спиновых и энергетических уровней. Очевидно, что применение низких температур позволяет управлять исходными населенностями спиновых подуровней и временами спиновой релаксации и декогеренции.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-37-00374).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>