В.Плеханов, Л.Журавлева
zhlubov@mail.ru

ИЗОТОПТРОНИКА В МЕДИЦИНЕ, ГЕОЛОГИИ И В КВАНТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

По определению авторов [1], изотоптроника – это новое направление в нанонауке и, в частности, связана с использованием методов нейтронного облучения изотопически смешанных материалов для создания и исследования квантовых структур, применяемых при передаче и обработке информации. Для решения вышеназванных задач используются зависимости микрофизических свойств изучаемых объектов от массы кристаллообразующих частиц. В представленной статье описаны приложения изотоптроники как направления нанонауки в медицине, геологии и квантовой информации.

Применение радиоактивных и стабильных изотопов для различных целей демонстрирует серьезные успехи этого направления в улучшении качества жизни не только в отдельно взятых странах, но и во всем мире. Только в США более 12 млн. человек получают амбулаторные процедуры, а каждый третий пациент стационаров подвергается радиотерапевтическому лечению с использованием различных видов радиоактивных изотопов [2]. Широкое распространение в медицине, биологии, физиологии, науке о питании, токсикологии, биотехнологии, а также в технических науках (физике, химии, агрономии, геохронологии, инженерии) получил метод радиоактивных изотопических меток [3].

Необходимо подчеркнуть, что в современной медицине используется значительное число (радиоактивных и стабильных) изотопов (см. таблицу) [2]. Например, Co-60 применяется для уничтожения в человеческом организме раковых клеток. На начальном этапе в радиотерапии использовались изотопы естественного состава: радий 226, 224; радон-222, полоний-210, тритий (водород-3), углерод-14. В настоящее время "радиевые иглы" и "радоновые источники" все еще широко применяются для обработки онкологических опухолей. Радиоактивные изотопы вводятся пациенту, затем на экране соответствующего прибора видно их распределение в теле больного.

На рис.1 представлены изображения, отображающие разные стадии развития болезни Альцгеймера, полученные с помощью метода позитронной томографии [5], в котором используются, в частности, изотопы ^{11}C и ^{10}F (см.таблицу).

Применение принципов изотоптроники наглядно проявляется в геохронологии, где основным методом определения возраста объектов не старше 60 тыс. лет служит радиоуглеродный метод (период полураспада изотопов углерода равен приблизительно 5700 лет). При изотопической хронологии учитывается, что радиоактивный распад каждого радионуклида происходит с постоянной скоростью и приводит к накоплению стабильных изотопов, содержание которых (N) связано с возрастом (t) исследуемого археологического объекта [2] соотношением:

$$N = M(e^{\lambda t}-1), \qquad (1)$$

где M – число атомов радионуклида, λ – постоянная распа-

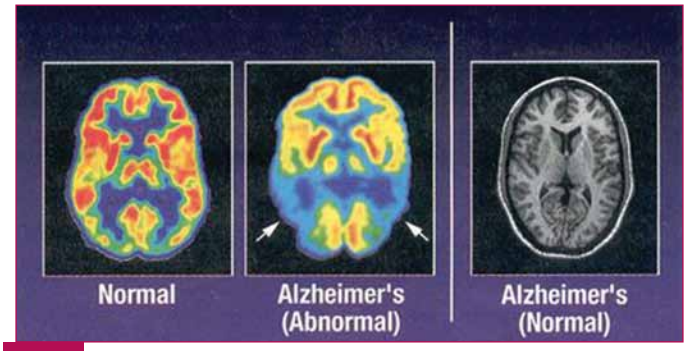

Рис.1 Изображения, полученные при позитронной томографии и отображающие различные этапы протекания болезни Альцмейгера [2]

да. Отсюда возраст t равен

$$t=\frac{1}{\lambda}\ln(1 + N/M). \qquad (2)$$

Суть радиоуглеродного метода состоит в следующем: под действием нейтронов космических лучей протекает следующая ядерная реакция:

$$^{14}N(n,p) \rightarrow |^{14}C. \qquad (3)$$

Здесь n, p – нейтрон и протон. В результате все объекты на Земле содержат изотоп ^{14}C в определенной и постоянной (в расчете на 1 моль атомов углерода) концентрации. В мертвых организмах и в археологических предметах обмен с атмосферой прекращается и содержание атомов ^{14}C постепенно падает. В результате по их концентрации можно установить возраст объекта.

Для более "древних" времен используется анализ по изотопам свинца, аргона, стронция, урана [6]. Весьма эффективным является также метод термолюминесценции [7].

Еще одно перспективное приложение изотоптроники – ее применение в современной теории квантовой информации и квантовых вычислений. Изложение этого приложения не обладает глобальной общностью, однако, как представляется, предложенная картина достаточна для понимания поднятых вопросов не только экспертами, но и желающими расширить свой кругозор и в достаточной степени подготовленными обычными читателями.

Теория квантовой информации и квантовых вычислений – это новая и бурно развивающаяся область исследований [8–11]. Следует отметить, что информация – не бестелесная абстракция, а проявляется через материальную субстанцию (запись в тетради, в памяти электронно-вычислительной машины, мелом на доске, гравирование на камне, спин элементарной частицы, ее электрический заряд) [12].

Представление о материальности информации лишает ее привычной математической абстракции и позволяет говорить, что большая часть математики и компьютерной науки является неотъемлемой частью теоретической физики [10]. Это особенно убедительно, когда обсуждаются вопросы квантовой информации [8–11], записываемой, обрабатываемой и считываемой по законам квантовой, а не классической физики. Все современные компьютеры, включая персональные (ПК), работают именно по законам классической физики. Их работа заключается в переработке входных данных в выходные. Единицей измерения классической информации является бит, определенный двумя взаимоисключающими состояниями: 0 и 1 (да и нет) [8].

Квантовая информация имеет аналогичную единицу измерения, которую принято называть квантовым битом или кубитом [1, 8]. Кубит – двумерная квантовая система (например, частица со спином 1/2 либо фотон в одной из двух поляризаций и вообще любая элементарная частица с двумя взаимно ортогональными состояниями. В математическом представлении кубит – это двумерный вектор (волновая функция Ψ [8]) в Гильбертовом пространстве с координатами 0 и 1, как

Применение некоторых изотопов в медицине

Химический элемент	Изотоп	Время полураспада	Применение
Актиний	225	10 дней	Источник альфа-излучения для лечения некоторых видов рака
Калифорний	252	2,64 года	Лечение меланомы, некоторых видов рака мозга
Кобальт	60	5,27 года	Источник гамма-частиц для радиационной обработки пищи и стерилизации медицинского оборудования
Вольфрам	188	69,8 дня	Предотвращение повторного закрытия коронарных артерий после операций на сердце
Медь	67	61,9 часа	Целенаправленное разрушение опухолей
Стронций	82	25,6 дня	Сканирование органов
Кальций	42	Стабильный	Совместно с кальцием-44 используется для определения содержания этого элемента в организме
Литий	6	Стабильный	Использование для захвата нейтронов при терапевтических исследованиях
Углерод	11	20,3 мин	Исследование функций мозга
Германий	68	271 день	Сканирование органов
Висмут	213	46 мин	Лечение некоторых видов рака
Гольмий	213	26 час	Диагностика и лечение опухолей печени
Йод	125	60 дней	Лечение рака простаты и мозга
Йод	131	8 дней	Сильный излучатель гамма- частиц, однако используется и в бета-терапии
Иридий	192	74 дня	В виде проволоки используется в качестве внутреннего источника излучения при лучевой терапии
Водород	3	12,3 года	Сканирование органов

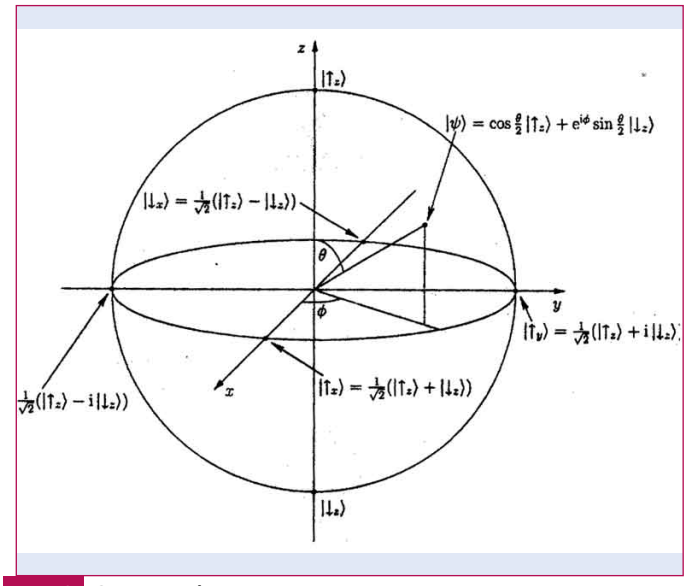

Рис.2 Сфера кубита по Блоху

и для классического бита. Однако согласно законам квантовой физики кубит – это суперпозиция состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$:

$$|\Psi\rangle = \alpha\,|0\rangle + \beta\,|1\rangle, \qquad (4)$$

где α и β – комплексные числа, квадрат которых определяет вероятности состояния $|0\rangle$ и $|1\rangle$, при этом их сумма равна единице, т.е.

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1. \qquad (5)$$

Согласно (5) можно представить (4) в следующем виде:

$$|\Psi\rangle = \cos\theta\,|0\rangle + e^{i\varphi}\sin\theta\,|1\rangle, \qquad (6)$$

где φ и θ – действительные числа, определяющие положение кубита на трехмерной сфере Блоха (рис.2).

Для сравнения укажем, что классический бит на такой сфере представлен двумя точками, например Северным и Южным полюсами, тогда как кубит находится в любой точке этой сферы, число которых может быть бесконечно велико на этой сфере [11].

Использование квантовой информации обеспечивает огромное превосходство в скорости вычислений. Потому в настоящее время весьма актуальна задача создания квантовых процессоров.

Кроме квантового компьютера необходимо отметить применение квантовой информации в тех областях, где она может быть легко реализована. Здесь лучшим примером служит квантовая криптография, которая позволяет засекречивать информацию при ее передаче согласно законам природы [10, 11].

Для более глубокого понимания сказанного целесообразно определиться с терминологией:

- Криптология изучает засекречивание информации, которое включает два других понятия: криптографию и криптоанализ.
- Криптография – соединение искусства и науки, где применяются математические приемы засекречивания информации с использованием достижений современной электроники, в том числе современные ПК.
- Криптоанализ – это раздел криптологии, занимающийся вскрытием шифров для доступа к информации.

Современные сообщения с помощью электронной связи требуют надежной защиты информации. Поэтому такая область знания, как квантовая криптография не только пользуется большим спросом, но и весьма активно развивается [11].

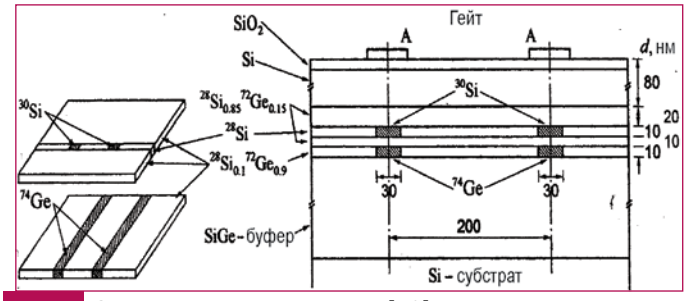

Рис.3 Схема изотопического гейта [13]

Возвращаясь к квантовым компьютерам, необходимо отметить, что изотоптроника занимает лидирующее место в разработке и создании процессоров для квантовых компьютеров на основе изотопов [11] в низкоразмерных квантовых структурах [1]. Одна из последних схем изотопического процессора квантового компьютера представлена на рис.3.

В схеме ключевым моментом является слоистая (низкоразмерная квантовая) структура различных изотопов Ge и Si, создающая вокруг центрального атома Si энергетический барьер. Получаемая высокая однородность структуры, дополнительно облучаемая нейтронами определенной энергии, гарантирует высокое качество таких гейтов. Более того, возможность тиражирования таких элементов в твердом теле, а также различные механизмы обработки информации (спиновый, экситонный [11]) указывают на перспективность изотопических процессоров в квантовых компьютерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Журавлева Л.М., Плеханов В.Г.** Ядерная нанотехнология низкоразмерных изотопически смешанных структур. – Наноиндустрия, 2009, № 4, с. 28.
2. **Plekhanov V.G.** Isotope mixed crystals: fundamentals and applications (in press, 2010).
3. http://www. nupece.org/iai 2001/report/B43.pdf.
4. **Plekhanov V.G.** Applications of the Isotope Effect in Solids, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg, 2004.
5. **Ter - Pogossian M.M.** Positron Emission Tomography, I. Reivich, A. Alovi, Alan R. Press, NY 1985.
6. **Libby W.F.** Radiocarbon Dating, University of Chicago Press, Chicago, 1952.
7. **Aitken M.J.** Archaeological dating using physical phenomena, Rep. Prog. Phys. 62, 1333(1999).
8. **Кадомцев Б.Б.** Динамика и Информация. – М.: УФН, 1999.
9. **Nielsen M.A. and Chuang I.L.** Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, New York, 2000.
10. **Плеханов В.Г.** Квантовая информация и квантовые вычисления. – Труды Колледжа вычислительной техники, 2004, № 1, с. 161–281.
11. **Plekhanov V.G.** Isotope - based quantum information, ArXiv, quant - ph/909.820 (2009).
12. **Landauer R.** Minimal energy requirements in communication, Science 272, 1915 -1918 (1996); Information is a physical entity, Phys. Lett. A263, 63–67 (1999).
13. **Shlimak I., Ginodman V., Butenko A.** et al. Electron transport in a self - gate Si MOSFET, ArXiv: cond - mat/ 0803.4432.