

Исследования, проведенные американским экономистом **У. Изардом**, показали наличие и других аналогий между физико-механическими и социально-экономическими закономерностями. Например, было установлено, что интенсивность (I) взаимодействия двух городов (регионов) в терминах грузооборота, пассажиропотока или других контактов хорошо описывается формулой

$$I = \alpha \frac{N_1 N_2}{R^\beta}, \quad (3)$$

где N_1, N_2 – численность населения городов; R – расстояние между ними; α, β – коэффициенты.

Совершенно очевидно сходство последнего выражения (3) с известным соотношением, описывающим закон всемирного тяготения:

$$F = \gamma \frac{M_1 M_2}{R^2}, \quad (4)$$

где F – сила притяжения; M_1, M_2 – массы взаимодействующих тел; R – расстояние между телами; γ – гравитационная постоянная.

Это сходство становится понятным, если учесть, что зависимость гравитационно-го потенциала материальной точки от расстояния описывается гиперболой. Это позволяет интерпретировать её также как гиперболическое ранговое распределение и вывести закон всемирного тяготения путем интегрирования этого распределения. Аналогично можно вывести и закон «взаимодействия» городов или регионов (4). Для этого надо ввести формальный аналог потенциала и проинтегрировать эту функцию.

Закон Ципфа – Парето применяется ныне в менеджменте для моделирования рыночных отношений, для описания динамики коллективного поведения на рынке, при моделировании других социологических ситуаций, где стоит задача отыскать взаимный баланс, учитывая различные интересы участников процесса.

В последние годы предпринимаются попытки связать закон Ципфа-Парето с новыми квантовыми технологиями. В статье [3] рассматривается квантовая модель человеческой психологии и дается объяснение механизма функционирования гиперболических распределений, подобных ципповскому, в экономике, политике, культуре и других сферах. Квантовая модель *коллективного бессознательного* позволяет с помощью привлечения представлений о *квантовой нелокальности*, *квантовой криптографии* и др. дать новое объяснение ряду спорных философских вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wentian Li. Random texts exhibit Zipf's law-like word frequency distribution. – Режим доступа: http://www.nslj-genetics.org/wli/pub/ieec92_pre.pdf.
2. Кох Р. Принцип 80/20 // Пер. с англ. Д.И. Капкан. – 2-е изд. – ООО «Попурри», 2004. – 352 с.
3. Данилевский И.В. Закон Ципфа-Парето, новые квантовые технологии и философия бессознательного // Квантовая Магия. – 2007. – Т. 4. – Вып. 1. – С. 1201–1209.

А.Н. ВЕРХОЗИН

МОЖНО ЛИ ПОСТРОИТЬ КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР НА ОДНОЙ ЧАСТИЦЕ?

Рассматривается способ формирования и изменения квантового суперпозиционного состояния кубита-электрона с двумя базовыми состояниями спина и фотона с двумя состояниями поляризации.

В литературе квантовый компьютер определяют так: это «гипотетическое вычислительное устройство, использующее специфически квантовые эффекты и намного превосходящее по своим возможностям любую классическую вычислительную машину» [1]. Несколько лет назад проф. И.В. Волович (Математический институт им. В.А. Стеклова

РАН) предложил простейшую идею квантового компьютера на одном атоме. Процессор такого «компьютера» – это просто один атом. Атом железа, например, содержит 26 электронов, т. е. 26 кубитов с двумя базовыми состояниями каждый. В приближении Хартри-Фока энергетические уровни атома описываются одноэлектронными волновыми функциями. Воздействуя на атом магнитным полем, можно изменять состояния электронов и *в принципе* производить квантовые вычисления, т. е. переводить один массив цифр в другой. В таком воображаемом «компьютере» можно обнаружить (или, лучше сказать, представить себе) основные элементы любого обычного компьютера – процессор, пульт, клавиатуру, монитор. Однако непонятным пока остаётся главное: как вводить информацию в такой «компьютер» и как её считывать?

Описан оптический квантовый компьютер на состояниях одного фотона, а точнее, системы когерентных фотонов. Для обеспечения таких же возможностей, как у компьютера с N кубитами, количество состояний одной частицы должно быть огромным, а именно, 2^N . Но пока эта идея практически не осуществима, так как для реализации квантовых алгоритмов этими состояниями надо управлять (фиксировать информацию на входе и на выходе устройства). Однако, не ясно, как вводить информацию в такой «компьютер» и как её выводить.

Покажем, что квантовый компьютер можно построить на одном *кубите*. Идея эта не принадлежит всецело нам. Не давая конкретных ссылок и не претендуя на роль первопроходцев, изложим наше видение этой проблемы, а также рассмотрим возможный принцип записи и считывания информации, если в качестве кубита взять один электрон в магнитном поле или фотон с двумя состояниями поляризации. Напомним, что кубит (*quantum bit* = квантовый бит) – единица квантовой информации. Этим же термином обозначают систему (частицу) с двумя базовыми состояниями. Бит (*binary digit* = *bit*), единица классической информации, принимает только два возможных значения (0 и 1). В качестве базовых состояний обычно рассматривают спиновые состояния электрона или поляризационные состояния фотона. Кубит может находиться в суперпозиции этих состояний, т. е. в состоянии

$$|A\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle, \quad (1)$$

где a и b – комплексные числа. Коэффициенты a и b определяют вклад базовых состояний в суперпозицию. Причём квадрат модуля a и b есть вероятность обнаружить кубит соответственно в состояниях $|0\rangle$ или $|1\rangle$.

Условие нормировки

$$|a|^2 + |b|^2 = 1. \quad (2)$$

Поскольку $|b|^2 = 1 - |a|^2$, суперпозиция задается числом a , которое может принимать любые значения, удовлетворяющие условию:

$$0 \leq |a|^2 \leq 1.$$

Например, пусть $a = 0,67816243963$. Уже первый разряд (шестёрка) – это выбор одного из десяти, второй – одного из сотни и т. д. Если квантовое состояние спина изменять по определенному закону (как это сделать технически – другой вопрос!), то можно записать и сохранить гигантский объём информации. Теоретически, даже в случае одной частицы, этот объём может быть безграничным. Реально точность измерений, конечно, ограничена, но в любом случае объём информации оказывается колоссальным. Можно сказать, что пространство состояний классического бита – это множество из двух элементов, из нуля и единицы (например, спин электрона может быть равен либо $1/2$, либо $-1/2$ в единицах \hbar). Кубит же – это квантовая система с теми же двумя базовыми состояниями. Но её пространство состояний несравненно богаче. В отличие от классического бита состояние кубита может изменяться не только путём изменения вероятностей $P(0)$ и $P(1)$, но и более тонко, путём изменения амплитуд состояний a и b , что соответствует поворотам *вектора состояния* в гильбертовом двумерном пространстве состояний. В этом заключается принципиальное различие классического и квантового бита.

В отличие от фотона базовые состояния спина электрона в магнитном поле энергетически неравноценны. Это обстоятельство позволяет управлять суперпозиционными состояниями кубита. Магнитное поле создаёт выделенное направление. Если спиновый магнитный момент электрона ориентирован вдоль силовых линий поля, его энергия минимальна, если навстречу силовым линиям – максимальна. Энергия взаимодействия с магнитным полем равна $\pm\mu_B B$. Вероятность пребывания спина в состоянии «0» и «1» («по полю» и «против поля») определяется законом Больцмана. Отношение вероятностей

$$\frac{|a|^2}{|b|^2} = \exp(2\mu_B B/kT). \quad (3)$$

где μ_B – магнетон Бора, k – постоянная Больцмана, B – индукция магнитного поля, T – абсолютная температура.

Отсюда, с учётом условия нормировки (2), имеем

$$|a|^2 = \exp(2\mu_B B/kT) / [1 + \exp(2\mu_B B/kT)]. \quad (4)$$

Проверим предельные случаи. При $T \rightarrow \infty$ или $B \rightarrow 0$ $|a|^2 \rightarrow 1/2$ (состояния «по полю» и «против поля» равновероятны). При $B \rightarrow \infty$ или $T \rightarrow 0$ $|a|^2 \rightarrow 1$ (состояние «по полю» достоверно). Следовательно, для электрона в магнитном поле

$$0,5 \leq |a|^2 \leq 1.$$

Из (4) следует, что $|a|^2 = f(B, T)$. Примерный график этой функции показан на рис. 1. Таким путём, манипулируя индукцией магнитного поля и температурой, можно реализовать то или иное суперпозиционное состояние спина (1), т. е. осуществить ввод информации. Меняя индукцию при заданной температуре, можно переводить один массив цифр в другой и имитировать математические операции.

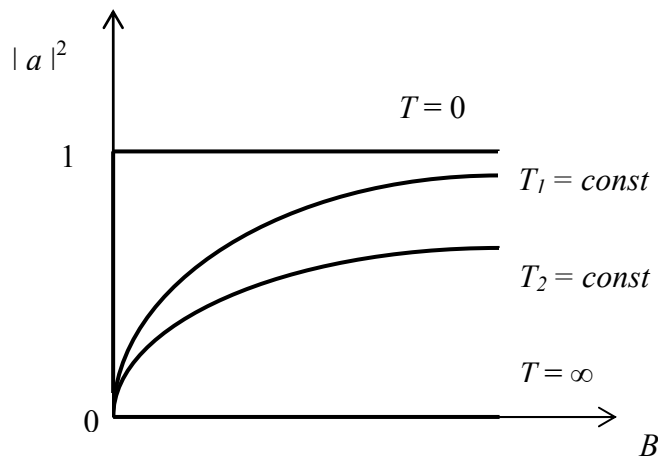


Рис. 1

Считывание информации можно реализовать путём многократного измерения спинового состояния электрона в магнитном поле и подсчёта вероятностей $|a|^2$ и $|b|^2$ с последующим восстановлением суперпозиционного состояния (1). Проблемы декогеренции здесь не возникает, так как разрушенное при измерении квантовое состояние немедленно восстанавливается при помещении электрона в магнитное поле.

Рассмотрим теперь формирование суперпозиционного состояния фотона. Пусть поляризованный луч света от газового лазера проходит через поляризатор N_1 (рис. 2). И пусть плоскость поляризации света составляет угол 45° с плоскостью главного сечения николя N_1 (рис. 3).

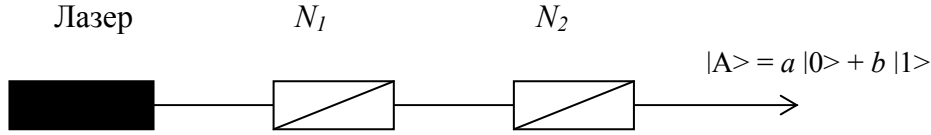


Рис. 2

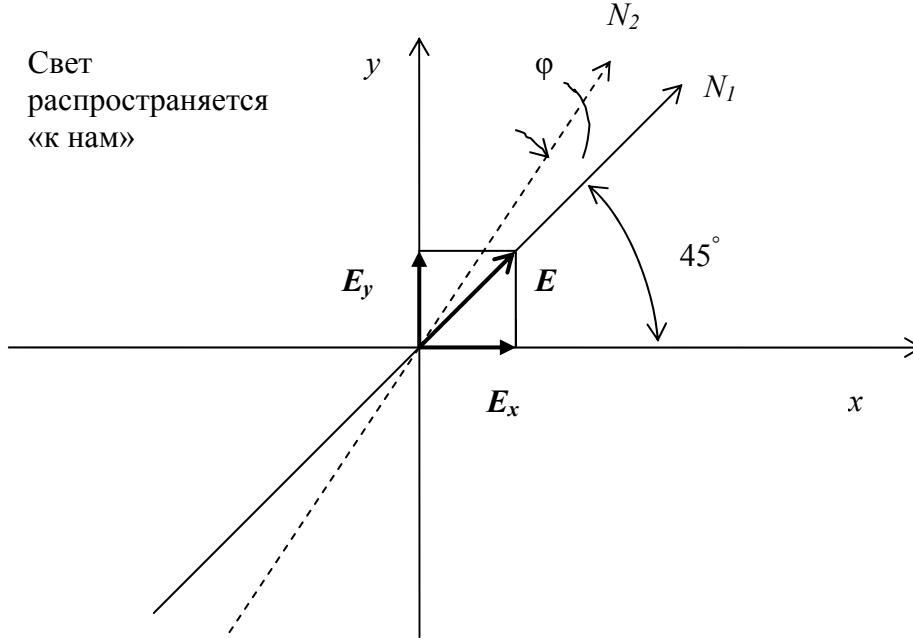


Рис. 3

Фотон, прошедший через поляризатор N_1 , оказывается в суперпозиционном состоянии (1), при котором вклады компонентов суперпозиции одинаковы ($|a|^2 = |b|^2$). Поворачивая николю N_2 , можно менять соотношение компонентов суперпозиции (1). В самом деле, по закону Малюса, отношение интенсивностей компонентов световой волны, поляризованных в двух перпендикулярных плоскостях, равно:

$$\frac{I_1}{I_2} = \cos^2(45^\circ - \phi) / \cos^2(45^\circ + \phi) = P(0) / P(1) = |a|^2 / |b|^2.$$

С учётом условия нормировки (2), имеем

$$|a|^2 = \cos^2(45^\circ - \phi) / [\cos^2(45^\circ - \phi) + \cos^2(45^\circ + \phi)]. \quad (5)$$

Предельные случаи: если $\phi = -45^\circ$, то $|a|^2 = 0$; если $\phi = 0$, то $|a|^2 = 0,5$; если $\phi = +45^\circ$, то $|a|^2 = 1$.

В общем случае, согласно (5), $|a|^2 = f(\phi)$. Примерный график этой функции показан на рис. 4. Меняя угол ϕ в пределах $\pm 45^\circ$, можно реализовать любое состояние (1).

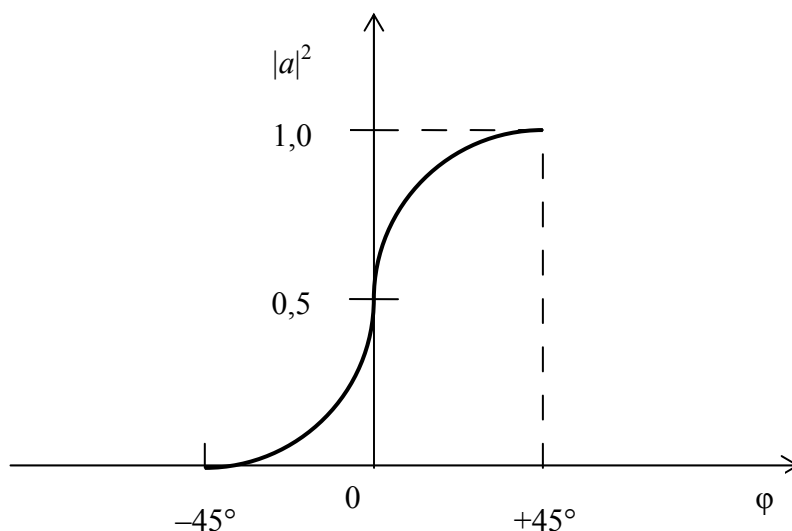


Рис. 4

Таким образом, на вопрос, поставленный в заголовке статьи, можно ответить утвердительно. Более того, каждая из двух описанных выше схем уже представляет собой квантовый компьютер. Проблема заключается лишь в подборе специфических задач, которые можно решать с помощью такого устройства. В квантовом компьютере нет ни триггеров, ни микросхем, но уже в случае всего одной частицы (одного кубита) объём хранимой и обрабатываемой информации оказывается огромным.

В настоящее время в разных странах (Россия, США, Канада, Австралия, Австрия, Япония и др.) ведутся интенсивные исследования в области квантовой информатики. Ежедневно (!) в мире появляются десятки научных статей, посвященных квантовым компьютерам, теории *запутанных состояний*, квантовой *телепортации*, квантовой *криптографии*, теории *декогеренции* и т. д. Однако, квантовый компьютер и доныне остаётся «гипотетическим» устройством, практическая реализация которого оказалась сложнее, чем думали некоторые теоретики в конце прошлого века.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холево А.С. Введение в квантовую теорию информации. – М.: МЦНМО, 2002.

С.С. ВОРОНКОВ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ВЯЗКОМ ТЕПЛОПРОВОДНОМ ГАЗЕ

Рассмотрен механизм возникновения турбулентности в вязком теплопроводном газе с позиции установленного в работах автора нарушения линейного закона Гука, связывающего изменение давления с относительной объёмной деформацией. Приводятся результаты вычислительного и натурального экспериментов.

Проблема возникновения турбулентности привлекает внимание инженеров и учёных с конца XIX века, но окончательного решения пока не получено. Вот что пишет по этому поводу известный исследователь турбулентности В.В. Струминский [1]: «Другие важные исследования, начатые также ещё Рейнольдсом, относятся к проблемам устойчивости течения как проблеме возникновения турбулентности. Выводы линейной теории устойчивости только качественно соответствуют экспериментам Шубауэра и Скрэмстеда. Расчёты критических чисел Рейнольдса по линейной теории приводят к значениям, которые почти на два порядка отличаются от экспериментальных. Начатые исследования по применению нелинейной теории пока далеки от завершения». В работах Леконта, Тиндаля, Рэлея, Майера и др. [2, 3] установлено влияние звука на поведение пламени газовых