

Универсальная система квантовой телепортации

Краснобрыжев В.Г.

г. Киев, тел. +38 044 4059675, +38 097 5609593

E-mail: vkentron@gmail.com

В наши дни в лабораториях ведущих стран и компьютерных корпораций мира активно развиваются (как теоретически, так экспериментально) новые практические приложения квантовой механики, объединяемые под именем физики запутанных квантовых состояний (entangled quantum states). Эти приложения развиваются в трех главных направлениях: квантовая телепортация; квантовая криптография; квантовый компьютер.

В области квантовой телепортации и криптографии наблюдается настоящий бум. В разработке этих проблем участвуют ведущие ученые-математики, физики-теоретики, физики-экспериментаторы, специалисты по алгоритмам, криптографии и связи из ведущих научных центров и разных стран. В США, например, научная программа квантовой передачи информации в настоящее время состоит из 34 проектов, в разработке которых принимают участие 21 университет, две многоцелевые лаборатории и три самых засекреченных правительственных агентства. А возглавляет и координирует все работы по программе Центр оборонных исследований.

Этот новый ресурс квантовой физики стал основой для разработки в Научно-производственном центре «Природа» технологий, которые позволяют реализовывать его в различных формах и в «промышленных масштабах».

Основой успеха явилось техническое решение по созданию и длительному хранению (часы, сутки и т.д.) когерентного спинового состояния материальных тел. В результате создана универсальная Система телепортации, показанная на рис. 1.

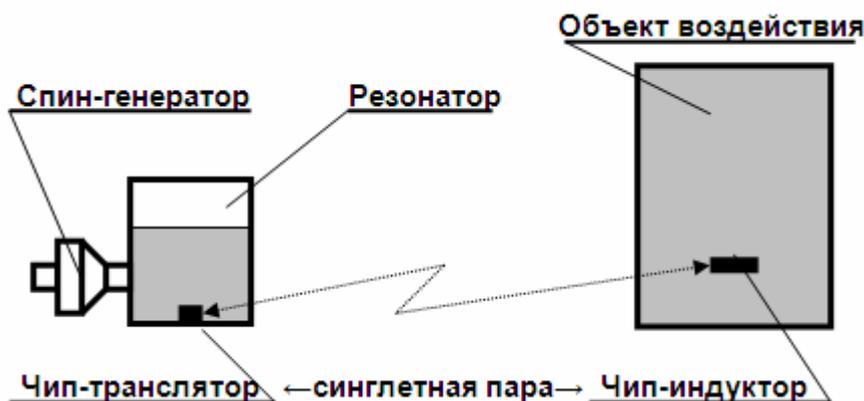


Рис. 1.

Промышленные испытания технологий основанных на применении универсальной Системы телепортации спиновых состояний позволили достигнуть следующего:

1. На 36-40% снижен расход энергии при отжиге шарикоподшипниковой стали на заводах “Dneprospecstal” (Украина) и SKF “Poznan” (Польша).
2. При производстве полупроводников выход годных диодных элементов увеличился с 68% до 80%.
3. Уменьшить содержание NO_x, CO, C, C_xH_y, и PM в выхлопных газах дизельных двигателей ниже нормативных требований Euro II и ECE R-49 без применения катализаторов.
4. В два раза увеличить скорость химических реакций и, в частности, повысить скорость горения влажных углей для потребностей теплоэнергетики.
5. Для потребностей теплоэнергетики в 2 раза снизить теплоемкость воды. Что позволило в производственных условиях (котельная отапливающая город населением 10 тыс. чел.) сэкономить 1300 тн угля за один отопительный сезон.
6. Провести телепортацию свойства вакцин (от гриппа и гепатита А) и осуществить информационную вакцинацию людей и кроликов. При этом иммунный ответ организмов реализуется через 36 часов вместо 7-10 суток.
7. Создать макет для осуществления телепортационной квантовой связи.

1. Идеология создания системы

Для круга явлений квантовой нелокальности (парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена [1], эффект Ааронова-Бома, [2]), которые, хотя и имеют квантово-механическое объяснение, но продолжают оставаться предметом неутихающих споров [3, 4], существенно то, что объектами, на которые они распространяется, являются *объекты обладающие спином*. Причем, эффект дальнего действия распространяется не только на микроскопические объекты, но проявляется и на макроскопическом уровне [5 - 10].

Одной из наиболее интересных работ в развитии этого направления в квантовой физике, физике запутанных состояний, принадлежит Беннету с соавторами [11]. Речь идет фактически о параллельном использовании квантовой и классической информации для целей телепортации. При этом по количеству затраченной информации такой процесс кажется не очень-то выигрышным. Однако он дает совершенно новое качество. Ведь речь идет, в самом деле, о телепортации.

Явление квантовой телепортации проявляется в существовании мгновенного независящего от расстояния взаимодействия между частицами единой квантовой системы. При этом запутанность есть особая квантовая форма корреляций составных систем, не имеющая классического аналога. Она возникает в системе, состоящей из двух и более взаимодействующих подсистем (или взаимодействовавших ранее, а затем разделенных), и представляет собой суперпозицию макроскопически различных состояний. Для таких систем флуктуации отдельных частей взаимосвязаны, но не посредством обычных классических взаимодействий (классических корреляций), ограниченных, например, скоростью света, а посредством нелокальных квантовых корреляций. В этом случае изменение одной части системы в тот же самый момент времени сказывается на остальных ее частях (даже разделенных в пространстве, в пределе и на бесконечно больших расстояниях). Эта теория свойств запутанных состояний подтверждены экспериментами А. Аспекта [12,13] и многочисленными последующими экспериментами [13-18].

Свойства запутанных состояний и некоторые другие характерные черты квантовой механики удалось использовать для того, чтобы разработать новые практические приложения квантовой механики, объединяемые под именем квантовой информации.

Основные результаты, полученные в области квантовой информации, формулируются в терминах кубита (qubit), т.е. системы, которая может находиться в одном из двух состояний, скажем $|0\rangle$ и $|1\rangle$ или в суперпозиции этих состояний. Два или более кубитов могут находиться в запутанном состоянии.

Волновая функция квантовых состояний двухуровневой системы - квантового бита, получившего в дальнейшем название *кубита* (quantum bit или qubit) [19], может представлять собой *суперпозицию* базисных состояний (вектор состояния) следующего вида $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, где α, β - комплексные амплитуды состояний, при этом $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Помимо вероятностей $P(0) = |\alpha|^2$ и $P(1) = |\beta|^2$ заполнения базисных состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$, состояние кубита характеризуется *когерентными* слагаемыми в вероятности состояния $|\psi\rangle$. Они определяются произведениями комплексных амплитуд $\alpha\beta^*$ и $\alpha^*\beta$. Состояние квантового бита в отличие от классического может изменяться не только путем изменения вероятностей $P(0)$ и $P(1)$, но и более тонко путем изменения амплитуд состояний α и β .

Чтобы осуществить квантовую телепортацию вначале создается "линия связи", точнее "линия сборки", состоящая из множества ЭПР-пар (Эйнштейна, Подольского, Розена – пар). Затем с помощью одной лишь классической информации из системы А в систему В можно телепортировать множество квантовых состояний $|\psi\rangle$, с помощью которых некоторое многочастичное состояние может быть воспроизведено в системе В как копия оригинала состояний системы А.

Пусть система А, находится в состоянии

$$|\psi\rangle_A = \alpha |0\rangle_A + \beta |1\rangle_A, \quad (1)$$

где α, β - комплексные амплитуды состояний.

Задача состоит в том, чтобы состояние системы В, перевести в такое же состояние:

$$|\psi\rangle_B = \alpha |0\rangle_B + \beta |1\rangle_B, \quad (2)$$

т.е. реализовать суперпозицию этих систем применительно к макромиру.

Вполне естественно, что квантовая механика и принцип суперпозиции применимы и к макромиру. Однако на макроуровне мы не наблюдаем таких квантовых эффектов, как, например, туннелирования или суперпозиции макроскопически различных состояний окружающих нас объектов.

Анализ этой проблемы показывает, что взаимодействия микрообъекта с окружением, необратимо разрушающем квантовое состояние, приводят к коллапсу волновых функций, а, следовательно, и к разрушению когерентного квантового поведения. Этот эффект был назван "усилением" превращающее суперпозицию состояний микроскопической системы в суперпозицию состояний макроскопической системы

[20]. Механизм усиления состоит в образовании запутанного состояния, включающего макроскопическое количество подсистем (или степеней свободы). Это означает, что при “усилении” происходит взаимодействие квантовой системы (находящейся в состоянии суперпозиции) с другими системами (или степенями свободы), вызывающее запутывание (квантовую корреляция) с ними. Затем и исходная система, и уже запутанные с ней системы в свою очередь взаимодействуют с еще большим количеством систем, вовлекая их в запутанное состояние. Так происходит до тех пор, пока не образуется запутанное состояние, включающее огромное число систем, или по крайней мере огромное число степеней свободы. Если такие процессы охватывают достаточное количество степеней свободы, то результирующее состояние нельзя интерпретировать иначе как суперпозицию макроскопически различных состояний макроскопической системы.

Если число систем, участвующих во взаимодействии, макроскопически велико, то таким образом возникает запутывание системы ψ с макроскопической системой A , и образуется суперпозиция двух различных состояний макроскопической системы. Состояния, входящие в суперпозицию, “макроскопически различимы” в том смысле, что огромное число степеней свободы в них описываются различными волновыми функциями. Таким образом, возникает суперпозиция макроскопически различных состояний макроскопической системы.

Таким образом, можно сделать вывод, что суперпозиции должны существовать даже для сколь угодно больших систем (имеющих сколь угодно много степеней свободы). Естественно возникает вопрос о том, можно ли создавать и наблюдать суперпозиции различных состояний макроскопических систем.

Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод о возможности создания между двумя макроскопическими системами максимальной запутанности при соблюдении следующих условий:

1. если эти систем представлены частицами со спином $1/2$ в синглетном состоянии;
2. если эти систем представлены тождественными частицами;
3. динамика этих систем не должна разрушать связь спина и статистики.

Рассмотрим последнее условие [21]. Пространством состояний системы N тождественных частиц является пространство NS симметричных функций или пространство NA антисимметричных функций. Определим соответствующие функции ψ_S и ψ_A . Для этого рассмотрим группу перестановок N элементов PN . Ее элементы - перестановки

$$P = \begin{pmatrix} 1, 2, \dots, N \\ k_1, k_2, \dots, k_N \end{pmatrix}, \quad k_1 = \overline{1, N}; k_1 \neq k_1, \quad (3)$$

причем единичный элемент - тождественная перестановка

$$\mathbf{I} = \begin{pmatrix} 1, 2, \dots, N \\ 1, 2, \dots, k_N \end{pmatrix}, \quad (4)$$

а произведение перестановок $P_2 P_1$ - результат двух последовательных перестановок P_1 и P_2 . В пространстве волновых функций \mathbf{H} перестановке P отвечает оператор \bar{P} , действующий так:

$$\bar{P} \psi_{(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N)} = \psi_{(\xi_{k_1}, \xi_{k_2}, \dots, \xi_{k_N})}. \quad (5)$$

Очевидно, что \bar{P} - унитарный оператор и отображение $P \rightarrow \bar{P}$ есть представление группы P_N в пространстве \mathbf{H} . В \mathbf{H} выделяются два инвариантных относительно операторов \bar{P} подпространства симметричных и антисимметричных функций:

$$\mathbf{H}_S = (\psi_S), \mathbf{H}_A = (\psi_A). \quad (6)$$

Эти функции - собственные функции операторов перестановки:

$$\bar{P} \psi_S (\xi_1, (\xi_2, \dots, \xi_N)) = \psi_S (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N), \quad \bar{P} \psi_A (\xi_1, (\xi_2, \dots, \xi_N)) = \delta_P \psi_A (\xi_1, (\xi_2, \dots, \xi_N)) \quad (7)$$

Здесь введена четность перестановки $\delta_P = (-1)^{n_P} = +1(-1)$ для четного (нечетного) числа n_P последовательных перестановок двух частиц, к которым сводится данная перестановка P .

Очевидно, что $\mathbf{H}_A \perp \mathbf{H}_S$. В случае $N = 2$ имеем

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_A \otimes \mathbf{H}_S. \quad (8)$$

Действительно,

$$\psi(\xi_1, \xi_2) = 1/2[\psi(\xi_1, \xi_2) + \psi(\xi_2, \xi_1)] + 1/2[\psi(\xi_1, \xi_2) - \psi(\xi_2, \xi_1)] = \psi_A + \psi_S. \quad (9)$$

При $N \geq 3$ имеются и другие, более сложные, чем \mathbf{H}_A и \mathbf{H}_S , инвариантные подпространства, но они не имеют физических приложений.

Частицы, описываемые функциями $\psi_S(\psi_A)$, называются *бозонами (фермионами)* и подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна (Ферми-Дирака).

В квантовой теории поля, указанная связь спина и статистики представляет собой *теорему*, доказанную В. Паули (W. Pauli, 1940) на основе принципа причинности и лоренц-инвариантности. Статистика составных тождественных частиц (например, атомных ядер) определяется четностью числа входящих в их состав фермионов. Например, дейтрон (ядро атома дейтерия $D = {}^2_1\text{H} = (pn)$), состоящее из двух частиц со спином 1/2, протона и нейтрона, является бозоном. Гамильтониан системы N тождественных *попарно взаимодействующих* частиц массы m во внешнем поле $V(\mathbf{r})$ имеет вид:

$$\mathbf{H} = - \sum_{\mathbf{n}=1}^N \hbar^2/2m \nabla_{\mathbf{r}_n}^2 + \sum_{\mathbf{n}=1}^N V(\mathbf{r}_n) + \sum_{\mathbf{n}=1}^N U(\mathbf{r}_n - \mathbf{r}_n), \quad (10)$$

где U - потенциал парного взаимодействия. В силу одинаковости масс частиц и независимости потенциалов V и U от номеров частиц оператор перестановки \bar{P} - интеграл движения:

$$[\bar{H}, \bar{P}] = 0 \quad (11)$$

Следовательно, в процессе эволюции системы согласно уравнению Шредингера

$$i\hbar \partial \psi / \partial t = \bar{H} \psi \quad (12)$$

тип симметрии волновой функции не изменяется. Иначе говоря, связь спина и статистики не разрушается динамикой, как и должно быть в непротиворечивой теории.

Реализация принципа создания запутанных макроскопических систем **A** и **B** заключается в следующем. Возьмем металлическую пластинку со следующей ориентировкой ядерных спинов (ядра находятся в синглетном состоянии) (рис. 2).

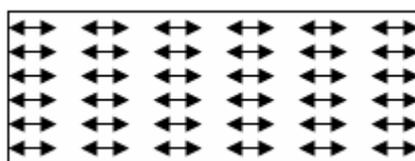


Рис. 2

Разрежем пластинку на две части **A** и **B** (рис. 3). При этом, динамика не разрушает связь спинов ядер и статистики. Спины по краям разреза пластинок находятся в некомпенсированном синглетном состоянии, а сами пластинки находятся в запутанном состоянии.

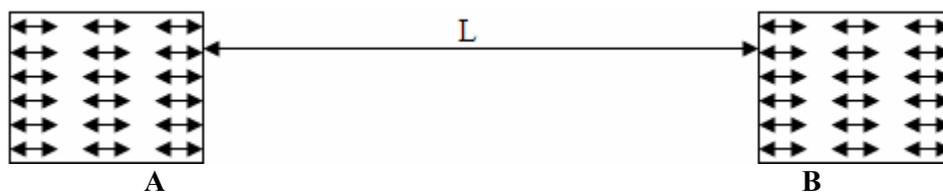


Рис. 3

Следовательно, при изменении состояния спинов пластинки **A** в пластинке **B** будут происходить такие же изменения. По назначению и применению пластинка **A** названа чип-транслятором, а пластинка **B** – чип-индуктором.

На практике изменение состояния спинов в системе **A** осуществляется путем воздействия на нее электрическими или электромагнитными полями. Однако, для целей создания “промышленного ресурса” квантовой телепортации, использование этих полей не представляется возможным. Обусловлено это тем, что в технологических целях требуется осуществлять изменение состояния больших спиновых массивов до уровня когерентного состояния, что обусловило разработку и создание для этой цели генератора спинорного поля.

Любая частица характеризуется четырьмя основными свойствами: электрический заряд, масса, магнитный момент и спин. Трём первым характеристикам частиц соответствуют три хорошо известных поля, которые этими частицами и возбуждаются. Четвертое поле порождается спином и носит название спиновое поле [22, 23].

В связи с этим, обратимся к физической природе спина [24]. В этой статье Н. Ohanian делает очень важный обоснованный вывод, что существование спина объясняется наличием циркулирующего потока энергии в поле его волны. Спин – это волновое свойство, независимо от того, классическая это волна или квантовая. Единственное фундаментальное различие между ними состоит в том, что спин классической волны – непрерывная макроскопическая величина, а квантовый спин представляется квантовомеханическим оператором и имеет дискретный спектр значений. При этом можно перейти от квантового к классическому пределу для системы многих частиц с большими числами заполнения. Поляризованная по кругу световая волна является примером такого перехода от большого количества квантовых спинов к макроскопическому спину.

Исследованиями Г.Шипова и А.Акимова показано, что состояние спиновой поперечной поляризации проявляет себя как спиновое поле [25, 26].

Простейшим из всех спиновых полей является поле, порождаемое классическим спином $1/2$ [27]. Такое спиновое поле является универсальным, поскольку порождающий его спин может быть представлен в виде циркулирующего потока энергии [28]. Понятие такого поля соответствует концепции «А-полей» Р. Утиямы [29], согласно которой каждому независимому параметру частицы a_i , удовлетворяющему закону сохранения, соответствует свое материальное поле A_i , через которое осуществляется взаимодействие между частицами, соответствующее данному параметру.

Примером спиновых микрообъектов могут служить состояния электронов, протонов и нейтронов. Однако такие объекты возможны и на макроскопическом уровне [25, 31]. При этом собственные спиновые поля таких объектов являются коллективным проявлением на макроскопическом уровне упорядоченных ядерных и атомных спинов. Для этого необходимо, чтобы ядерные и атомные спины были параллельны и однонаправлены, что реализуется в структурах с ориентированными ядрами [32 - 35]. Так, например, при намагничивании ферромагнетика происходит упорядочение магнитных моментов, ориентационно жестко связанных с ядерными спинами [35], что обуславливает возникновение коллективного спинового поля.

Универсальные поля, порождаемые классическим спином, можно интерпретировать как дальнедействующие спиновые поля [25], что обуславливает их связь с Физическим Вакуумом, также как это свойственно электромагнитному и гравитационному полям в представлении [36 - 40]. Согласно этим представлениям, Физический Вакуум, как единая среда, может находиться в различных поляризационных состояниях. В состоянии зарядовой поляризации Вакуум проявляет себя как электромагнитное поле [36 – 38]. Этот же Вакуум в состоянии спиновой продольной поляризации проявляет себя как гравитационное поле [26, 38 – 40].

Как видим, все эти три поля порождаются независимыми параметрами (заряд- q , масса- m и спин- s) и в соответствии с концепцией Р. Утиямы являются универсальными полями, или полями первого класса.

Таким образом, спиновое поле можно генерировать с помощью устройств, созданных на основе специально организованного ансамбля классических спинов, в котором реализуется максимальная энергия взаимодействия не только между соседними, но и удаленными спинами. Система взаимодействующих спинов является при этом своеобразным усилителем малых эффектов каждого отдельного спина.

Принципы построения реального генератора спинового поля (рис. 4) включают в себя следующие основные положения:

1. Генерация интенсивного спинового поля может быть осуществлена только при использовании каскада контактирующих между собой *элементов* с организованным ансамблем классических спинов.
2. Соседние контактирующие *элементы* должны быть сделаны из разных материалов.
3. После установки первого *элемента* второй *элемент* приводится с ним в контакт через 40 часов. Такое же требование распространяется на все последующие устанавливаемые *элементы*.

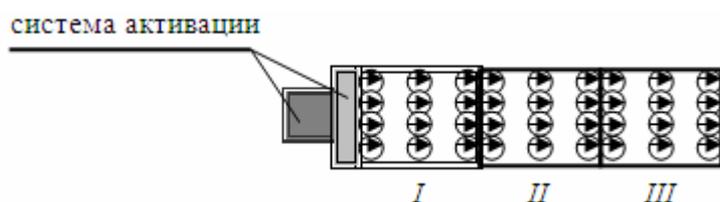


Рис 4. Схема установки *элементов* I, II, III с организованным ансамблем классических спинов генератора спинового поля.

Так как спин рассматривается нами как источник спинового поля, то в соответствии с концепцией Р. Утиямы объектом, чувствительным к воздействию излучаемого генератором спинового поля, должна быть спиновая система материальной среды. Причем в отношении величины эффекта, система спинов имеет преимущество перед индивидуальным спином микрочастицы. Сложная неравновесная спиновая структура, обладающая большим запасом квазивырожденных по энергии состояний, может выполнять роль системы, в которой действие спинового поля может накапливаться (спиновое насыщение) и приводить к заметным макроскопическим изменениям.

Особый интерес представляют индуцированные спиновым полем неравновесные состояния материальной среды, когда на одном квантовом уровне, характеризующем одну из собственных колебательных частот материальной среды, выстраивается максимально возможное количество спинов. При этом уменьшается не только спиновая энтропия, но и за счет взаимодействия спин-решетка, энтропия материальной среды [41] и материальная среда переходит в когерентное состояние.

Следовательно, при воздействии спиновым полем на металлическую пластинку **A** в пластинке **B** будет также происходить изменение спинового состояния, а расстояние между этими пластинками может быть любым. В результате реализуется эффект телепортации спиновых состояний между макроскопическими системами.

2. Состав и принцип действия Системы

1. Спин-генератор – устройство на основе монокристалла с преимущественной ориентацией ядерных спинов.
2. Резонатор – обеспечивает длительное хранение спиновой когерентности.
3. Чип-транслятор и чип-индуктор – макроскопическая синглетная пара сделанная из материала с трансляционной симметрией.

Перед включением Системы:

1. В резонатор помещается материал, аналогичный материалу, из которого состоит объект воздействия. Например, если объект воздействия стальной в резонатор помещается сталь, вода – вода, уголь – уголь и т.д.
2. На объекте воздействия укрепляется чип-индуктор. Чип-транслятор постоянно находится в резонаторе.

При включении спин-генератора происходит спиновое насыщение материальной среды в резонаторе. Предельный уровень насыщения соответствует спиновому когерентному состоянию материальной среды. Одновременно происходит спиновое насыщение в цепи чип-транслятор – чип-индуктор – объект воздействия. При этом объект воздействия переходит в спиновое когерентное состояние. В результате происходит когерентное запутывание резонатора и объекта воздействия. После этой процедуры, объект воздействия может быть подвергнут требуемой технологической обработке.

Ниже приведены результаты некоторых исследований универсальной Системы телепортации спиновых состояний.

3. Исследования телепортации спиновых состояний методом ЯМР-спектроскопией

Исследования телепортации когерентных спиновых состояний между макроскопическими системами проводилось с помощью ЯМР-спектрометра.

В процессе исследований измерялось время релаксации поперечной составляющей T_1 (релаксация спин-решетка). В качестве исследуемых объектов были взяты водород содержащие среды – уголь, дизельное топливо и бензин. Результаты измерений, в которых время T_1 некогерентных проб отличалось от времени T_1 когерентных проб были больше, чем систематическая погрешность измерений считались положительными.

Исследования проводился по следующей схеме (рис. 5). В г. Вжешня (Польша), находились спин-генератор **1**, резонатор **2** и чип-транслятор **3**. В Институте физики Познаньского университета ($L \sim 40$ км), находился ЯМР-спектрометр **7**, колба с пробой (уголь, дизельное топливо и бензин) **4** и чип-индуктор **5**, пробирка с исследуемой пробой **6**.

На первом этапе были проведены измерения некогерентных проб.

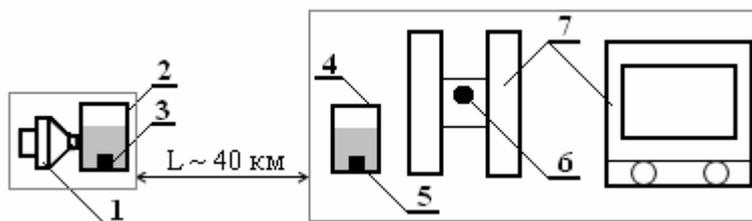


Рис. 5. **1** – спин-генератор, **2** – резонатор, **3** – чип-транслятор, **4** - колба с пробой, **5** – чип-индуктор, **6**- пробирка с исследуемой пробой, **7** - ЯМР-спектрометр.

За тем, был включен спин-генератор и через 36 часов проведен второй этап эксперимента. В ходе второго этапа в колбу с топливом **4**, поочередно, помещался чип-индуктор **5**. Исследуемые пробы заливались из колбы **4** в пробирку **6**, через 5 минут после размещения чип-индуктора в колбе. После этого проводились измерения.

Измерения времени релаксации проб проводились на ЯМР-спектрометре PMS-60, обработка результатов измерений осуществлялась по программе **PEAK-FIT**. Результаты проведенных экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Исследуемая среда	Время релаксации, мс					
	Равновесное состояние			Когерентное состояние		
	T_1	T_{11}	T_{12}	T_1	T_{11}	T_{12}
Уголь	52,89±0,72	26,78±3,19	72,54±4,45	52,44±0,73	62,80±1,81	16,40±2,45
Дизтопливо	805±12	514±22	1410±81	672±7	441±35	999±79
Бензин	2197±33	-	-	2946±15	-	-

Результаты эксперимента показывают:

1. Времена релаксации T_1 проб подвергнутых воздействию СП отличается от времени релаксации контрольных проб и превышает систематическую погрешность измерений.
2. Между двумя макросистемами осуществлена телепортация спиновых состояний на расстояние 40 км.

4. Перспективные направления исследований

а) Система квантовой связи

На рис. 6 показана схема экспериментальной Системы квантовой связи. В этой системе, как и в других технологиях, использована универсальная система телепортации спиновых состояний.

В состав Системы квантовой связи входят: спин-генератор, резонатор, чип-транслятор А, конденсатор C_1 , диэлектрик которого является чип-транслятором В, конденсатор C_2 , диэлектрик которого является чип-индуктором, высоковольтный генератор с частотой 6 Гц и подключенным к нему конденсатором C_1 , спектральный анализатор “БАРС”, на вход которого подключен конденсатор C_2 .

В качестве диэлектрического материала использовались: а) вода, б) текстолит.

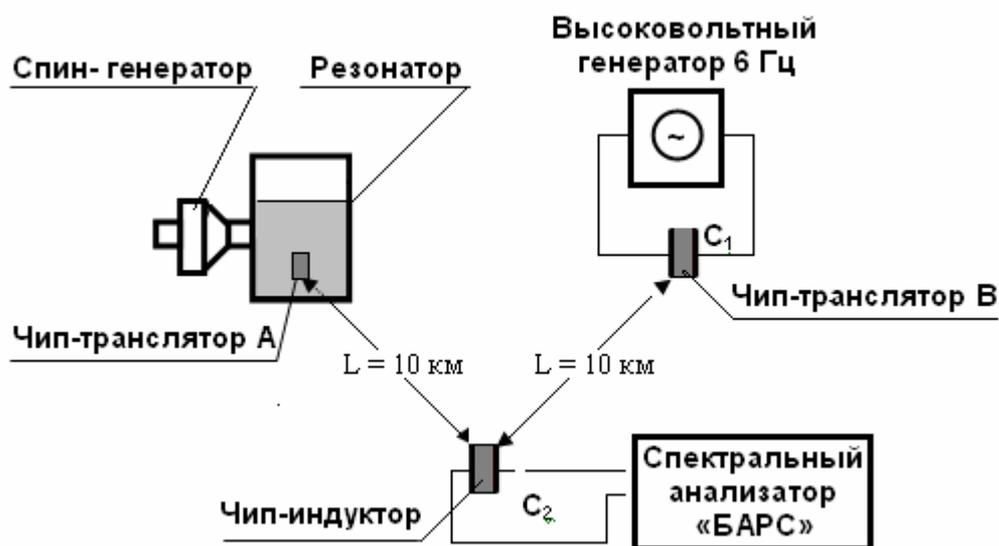
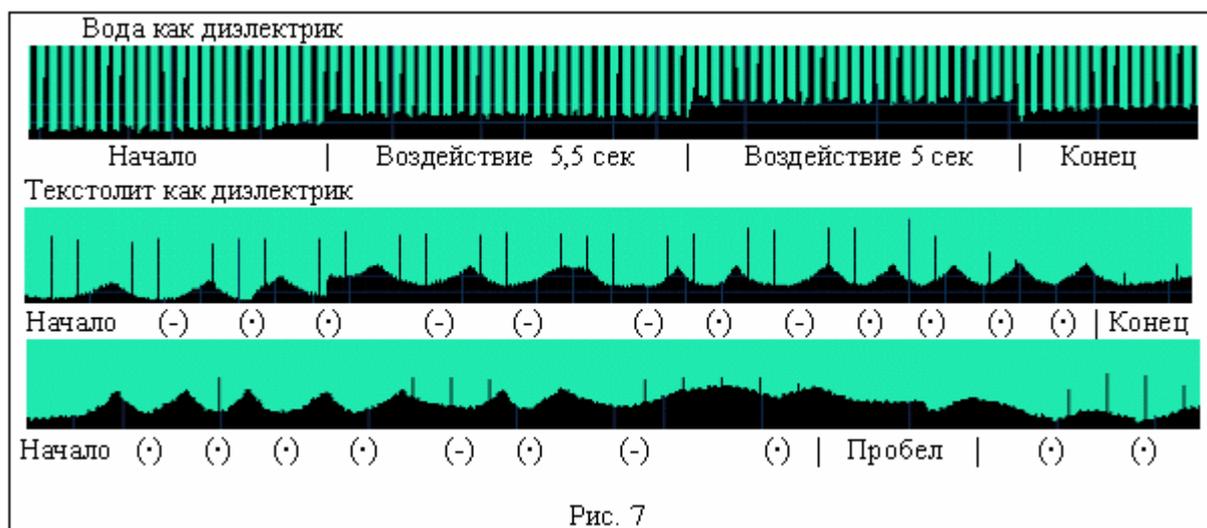


Рис. 6.

Последовательность проведения экспериментов:

1. Спектральный анализатор “БАРС”, на вход которого был подключен конденсатор C_2 , располагался на удалении 10 км от высоковольтного генератора с подключенным к нему конденсатором C_1 и спин-генератора с резонатором.
2. В резонатор был помещен диэлектрический материал и чип-транслятор А.
3. После включения спин-генератора резонатор, чип-транслятор А, чип-транслятор В и чип-индуктор были переведены в когерентное состояние.
4. Порядок воздействия высоковольтного генератора на конденсатор C_1 :
 - а) диэлектрический материал вода – включался Спектральный анализатор “БАРС”, и через 5 сек включался высоковольтный генератор. Воздействие – прерывный, продолжительностью 5 – 5,5 сек;
 - б) диэлектрический материал текстолит – включался Спектральный анализатор “БАРС”, и через 5 сек включался высоковольтный генератор. Тип воздействия – по типу азбуки Морзе “точка - тире”.

Результаты экспериментов приведены на рис. 7.



Как видно на рис. 7, при использовании в качестве диэлектрика воды, амплитуда сигнала изменяется в сторону уменьшения и составляет около 7 мкВ. При использовании в качестве диэлектрика текстолита уменьшение амплитуды сигнала также имеет место, но здесь преследовалась цель получения передачи информации в с использованием азбуки Морзе.

б) Квантовый регистр с устойчивой когерентностью

В создании квантовых компьютеров остается нерешенными ряд важных проблем и, в частности, проблема устойчивости состояний кубитов и декогеризации.

В 1998 г. австралийским физиком В.Кейна было предложено использовать в качестве кубитов донорные атомы изотопа ^{31}P с ядерным спином $1/2$. Эти атомы имплантируются в кремниевую структуру. Такое предложение открывает потенциальную возможность создания квантовых регистров с практически неограниченным числом кубитов.

По расчетам Кейна необходимая температура для работы должна быть менее 0.1 К. Пластина кремния при этой температуре помещается в постоянное магнитное поле $B_0 \geq 2$ Т. В этих условиях электроны будут практически полностью спин-поляризованы ($n_{\uparrow}/n_{\downarrow} < 10^{-6}$), а ядерные спины будут упорядочиваться по мере взаимодействия с электронами.

На рис. 8 показана конструкция квантового регистра, основой которой является регистр В. Кейна. В нем может быть обеспечена устойчивость кубитов и исключена декогеризация. При этом температурный режим не имеет особого значения.

Эффективность действия этой конструкции регистра заключается в следующем. На боковую поверхность регистра наносится слой изотопа ^{31}P , а на него устанавливается чип-индуктор. В резонатор помещается изотоп ^{31}P и чип-транслятор. Включается спин-генератор и проводится спиновое насыщение резонатора. Насыщение проводится до получения когерентного спинового состояния изотопа ^{31}P в резонаторе. Через запутанные сип-транслятор и чип-индуктор слой изотопа ^{31}P на боковой поверхности регистра переводится в когерентное спиновое состояние.

Одновременно с этим происходит спиновое насыщение ^{28}Si регистра с имплантированными в него атомами изотопа ^{31}P . При этом достигается эффект синхронизации и атомы изотопа ^{31}P переходят в когерентное состояние. В результате этих действий квантовый регистр приводится в рабочее состояние.

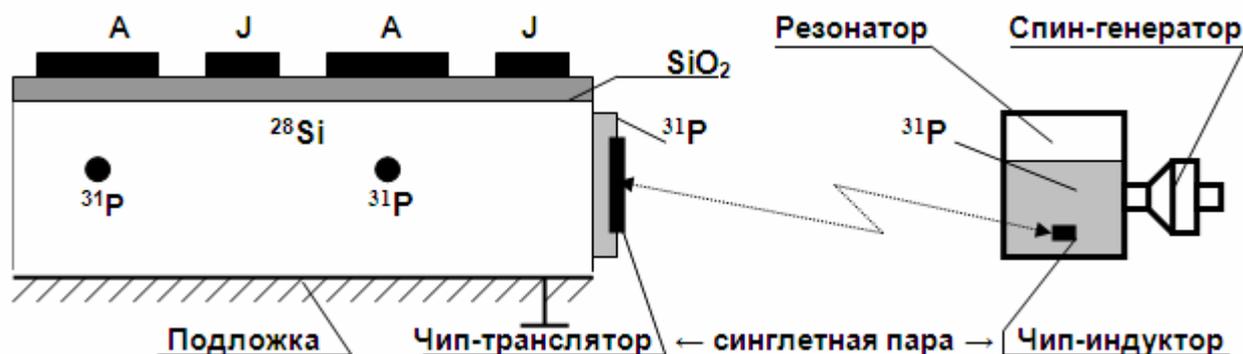


Рис. 8.

Литература

1. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, "Can the Quantum - Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? Phys. Rev. 47, 777 (1935).
2. Bohm D. Wholeness and implicate order. London: Routledge&Kegan Paul, 1980, 224 p.
3. Спасский Б.И., Московский А.О. О нелокальности в квантовой физике./Успехи физических наук, 1984, т. 142, вып. 4, с. 599.
4. Хэллиуэл Е., Конковский В. Парадоксы и непарадоксы причинности: классические сверхсветовые сигналы и квантовые измерения. /Физика за рубежом. Серия Б. – М., 1986, с. 193.
5. Cheung C.I., Li P., Sheto K.I. Microscopic detection of spin-dependent long-range interaction. Phys. Lett. A., 1991, № 4-5, p. 235.
6. Leggett A.J. *J.Supercond.* 12, 683 (1999).
7. Garraway B.M., Knight P.L. Phys. Rev., A 50, 2548 (1994).
8. Haroche S., Brune M., Raimond J.R. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A, 355, 2367 (1997).
9. B. Julsgaard *et al.*, <http://xxx.lanl.gov/abs/quant-ph/0106057>, submitted to Nature.
10. Bennett, C. H., et al, Teleporting an unknown quantum state via dual classic and Einstein-Podolsky-Rosen channels. Phys. Rev. Lett. 70, 1895 - 1899, 1993
11. Aspect, Ph. Grangier, and G. Roger. Phys. Rev. Lett. 49, 91–94 (1982).
12. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger. Phys. Rev. Lett. 49, 1804–1807 (1982).
13. X.Y. Zou, L.J. Wang, and L. Mandel. Phys. Rev. Lett. 67, 318–321 (1991).
14. J.R. Torgerson, D. Branning, C.H. Monken, L. Mandel. Physics Letters A, 204, 323-328 (1995).
15. W. Tittel, J. Brendel, T. Herzog, H. Zbinden and N. Gisin. Europhys. Lett 40 (6), 595-600 (1997).
16. A. Aspect. Nature 398, 189 - 190 (1999).
17. J.-W. Pan, D. Bouwmeester, M. Daniell, H. Weinfurter, A. Zeilinger, Nature, 403, 515 - 519 (2000).
18. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/>

19. В. Schumacher. Quantum coding. // Phys. Rev., 1995, v.A51, N.4, pp.2738-2747.
20. М.Б. Менский. УФН, 170, № 6, 631 (2000).
21. W. Pauli. Phys. Rev. 58, 716 (1940).
22. Frank L. A. and Huyghe P. The Big Splash. Birch Lane Press, 1990.
23. Дятлов В. Л. Линейные уравнения макроскопической электрогравитации. Москва, 1995. 24 с. (Препринт / Международный институт теоретической и прикладной физики. № 11).
24. Ohanian H.C. [What is spin?](#) – Amer. J. Phys., June 1986, v. 54, № 6, p.500.
25. Акимов А.Е., Тарасенко В.Я. - Известия высших учебных заведений, серия Физика, 1992, т. 35, № 3, с. 13.
26. Шипов Г.И. Теория физического вакуума. М., 1997. – 450 с.
27. Birrell N.D., Davies P.C.W. Quantum Fields in Curved Space. Cambridge University Press. Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourn, Sydney, 1982, 386 p.
28. Belinfante F.J. – Physica, 1939, v. 6, p. 887.
29. Утияма Р. К чему пришла физика. (От теории относительности к теории калибровочных полей). М., Знание, 1986, 224 с.
30. Aharonov Y., Susskind L. – Phys. Rev., 158, 1237-1238 (1967).
31. Hudson R.P., - Progr. Cryog., 3, 99 (1961)
32. Roberts L.D., Dabbs J.W.T., Ann. Rev. Nucl. Sci. 11, 175 (1961).
33. Danials J.M., Goldemberg J., Rept. Progr. Phys., 25, 1 (1962).
34. Carson D.J. Dynamic Nuclear Orientation. New York-London-Sydney, John Wiley&Sans, 1963, 485 p.
35. Bialynicky-Birula I. – Phys. Rev. 130, 465 (1963).
36. Зельдович Я.Б. – Письма в ЖЭТФ, 1967, т. 6, вып. 10, с. 922.
37. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т. IV, М., 1968, ч. 1, с. 480.
38. Сахаров А.Д. – Доклада АН СССР, 1967, № 1, с. 70.
39. Adler S. – Rev. Mod. Phys., 54, № 3, 729 (1982).
40. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М., 1988, с. 200.
41. Careri G. Ordine e Disordine Nella Materia. Laterza, 1982. – 232 p.