

Свойства когерентной материи

Краснобрыжев В.Г.

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

E-mail: vkentron@gmail.com

Явление когерентности получило широкое распространение в описании физических состояний вещества объединенных общей чертой - упорядоченностью и согласованностью поведения большого числа элементов вещества. Сверхпроводимость, сверхтекучесть, лазерный луч и другие явления возникают благодаря когерентности в макроскопических масштабах.

Сообщение ученых (Deborah Jin, Markus Greiner, Cindy Regal) at JILA, a joint laboratory of the Department of Commerce's National Institute of Standards and Technology (NIST) and the University of Colorado at Boulder (CU-Boulder) о наблюдении "ферми конденсата" представляет когерентное вещество как новую форму вещества ранее недоступную человеку.

Когерентность коллективных квантовых взаимодействий физической структуры могут привести к появлению совершенно новых физических свойств вещества, которые позволяют использовать его в различных формах и в "промышленных масштабах".

В когерентных режимах можно ожидать увеличения выходов реакции, селективности процессов, самоочистки поверхностей от каталитических ядов и т.д. И эти ожидания подтвердились, особенно в химических осцилляторах с вынужденными, принудительными осцилляциями [1 - 5]. Осознание того, что макроскопическая когерентность является фундаментальным свойством, пришло недавно и стимулировало активно прогрессирующий интерес к химическим осцилляторам.

Если осцилляции ядерных спинов спонтанно становятся когерентными, то в этом случае химическая реакция становится радиочастотным эмиттером, квантовым генератором с химической накачкой (подобно химическим лазерам). Это новое явление – радиоизлучение химической реакции – сначала было предсказано теоретически, а затем обнаружено экспериментально [6].

1. Макроскопические спиновые эффекты

Экспериментальная физика накопила достаточно много наблюдений, связанных с необычным поведением систем, ориентированных по классическому спину. К ним можно отнести рассеивание нейтронов на намагниченной пластине с ориентацией спинов, параллельной магнитному полю [7, 8]. При прохождении нейтронов через поляризованную по спину мишень возникает прецессия нейтронов, величина которой на несколько порядков выше той, которая могла бы быть вызвана магнитным полем [9]. Протоны с ориентацией спинов, противоположной спинам мишени, проходят

сквозь мишень без взаимодействия с ее протонами, а при одинаковой ориентации спинов в пучке и в мишени рассеяние их происходит в полном соответствии с теоретическими расчетами [10]. А в экспериментах с ^3He была обнаружена зависимость его теплопроводности от состояния ядерных спинов [11].

J.A. Spiers [12] теоретически обосновал, а J.M. Daniels, C.G. Qorter и др. [13, 14] экспериментально подтвердили зависимость излучения кванта радиоактивным ядром от угла между осью ядерного спина и направлением излучения. В обычных условиях полное излучение радиоактивного образца является изотропным, так как спины радиоактивных ядер (radioactive nucleuses) ориентированы произвольным образом. Если спины радиоактивных ядер ориентированы в некотором предпочтительном направлении, исследователи наблюдают анизотропию излучения, величина которой для ^{60}Co составляет 1,45 [13].

Из приведенного короткого обзора видно, что рассмотрение спина как глубинного квантового свойства не достаточно для объяснения его физической природы.

В связи с этим, обратимся к физической природе спина изложенной в статье Н.С. Ohanian [15]. В этой статье делается очень важный обоснованный вывод, что существование спина электрона 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.

Естественно ожидать, что вследствие однонаправленной ориентации ядерных спинов будет образовываться коллективное спиновое поле. Это согласуется с концепцией «**A**-полей» R. Utiyama [16], согласно которой, каждому независимому параметру частицы **a**, удовлетворяющему закону сохранения, соответствует свое материальное поле **A**, через которое осуществляется взаимодействие между частицами, соответствующее данному параметру. Такие поля являются универсальными полями, или полями первого класса.

Концепция R. Utiyama совпадает с теорией V.L. Diatlov [17]. В соответствии с ней спин порождает поле, которое можно интерпретировать как дальнедействующее спиновое поле.

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.

На рис.1А показан генератор спинового поля, в котором ансамбль классических спинов реализован с помощью анизотропных баритовых пластин имеющих форму прямоугольных треугольников с углом 50° у основания. Пластины закреплены на круглой вращающейся платформе. Вращение платформы осуществляется посредством электродвигателя постоянного тока; число оборотов - 6000 в мин, напряжение 6 в. При этом ориентация спинов в пластинах совпадает с направлением вращения.

Возможность излучения спинового поля генератором такой конструкции была определена в эксперименте, идеология которого заключается в следующем. При ориентировке спинов радиоактивных ядер в некотором предпочтительном направлении, наблюдается зависимость излучения радиоактивных ядер от угла между осью ядерного спина и направлением излучения [13]. То есть исследователи наблюдают анизотропию излучения.

Но в связи с тем, что спин рассматривается нами как источник спинового поля, то в соответствии с концепцией R. Utiyama [16] и теорией V.L. Diatlov [17], 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, обладает большим запасом квазивырожденных по энергии состояний. Эта структура может выполнять роль системы, в которой действие спинового поля будет накапливаться (спиновое насыщение) и приводить к заметным макроскопическим изменениям.

В связи с вышеизложенным, был проведен следующий эксперимент. В 30-ти км зоне Чернобыльской АЭС были взяты четыре радиоактивные пробы грунта, из которых были выбраны две пробы. После перемешивания, цементации, и взвешивания проб были проведены измерения активности радионуклидов. Измерения проводились с помощью детектора Ortec, обработка результатов измерений осуществлялась спектрометром “Nokia”. Величины активности проб приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Экспозиция, сек	^{134}Cs , Вк/проба	Погрешность, %	^{137}Cs , Вк/проба	Погрешность, %	^{144}Ce , Вк/проба	Погрешность, %	^{106}Ru , Вк/проба	Погрешность, %
Проба 2								
300	551	7	7067	2	1088	4	440	8
Проба 4								
500	42	12	685	7	-	-	-	-

Эксперимент проводился по схеме, показанной на рис. 1В.

Внутри экранированного пространства детектора „Ortec” 1 на детектор был установлен ограничитель 2, с закрепленной на нем радиоактивной пробой 3. На корпусе пробы был установлен генератор спинового поля 4 таким образом, чтобы

продолжение его оси не пересекалось с корпусом детектора. Анализ спектров и активности радионуклидов в пробах осуществлялся спектрометром "Nokia" 6.

Эксперимент проводился одновременно на двух пробах с использованием двух детекторов „Ortec”, аналогичными схемами размещения проб и генераторов спинового поля. Эксперимент продолжался непрерывно в течение 5 часов. В начале эксперимента были проведены измерения активности радионуклидов в пробах, а затем включены генераторы спинового поля. После этого каждые 30 минут проводились измерения активности радионуклидов в пробах при работающих генераторах. В результате эксперимента были получены данные, графическое представление которых показано на рис. 1 С.

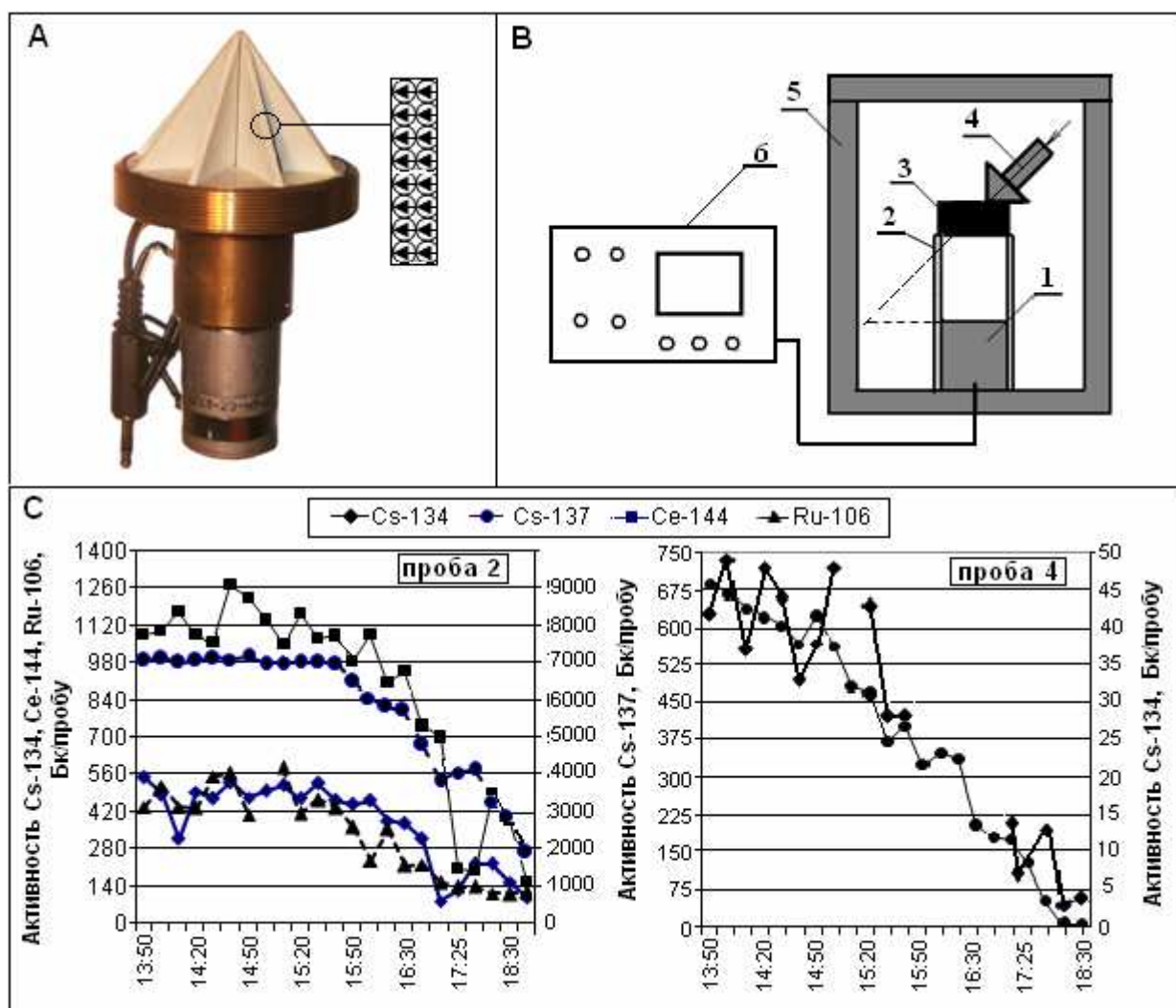


Рис. 1. Влияние спинового поля на анизотропию излучения радионуклидов: А – генератор спинового поля; В – схема эксперимента: 1 – датчик „Ortec”, 2 – ограничитель, 3 – радиоактивный образец, 4 – генератор спинового поля, 5 – экран, 6 – спектрометр "Nokia"; С – изменение активности радионуклидов в направлении детектора при воздействии спинового поля.

После окончания эксперимента генераторы с проб были сняты, а сами пробы остались в том же положении что и во время эксперимента. Через 16 часов, т.е. утром

следующего дня, были проведены измерения активности радионуклидов в пробах. В результате выявлено, что измеренная активность радионуклидов восстановилась до исходного уровня.

2. Термогравиметрические исследования когерентного бурого угля

Как отмечалось выше, спиновая динамика активно влияет на механизм и кинетику реакций. При движении вдоль координаты реакции из начального в конечное состояние молекулярная система будет проходить через суперпозицию состояний, т.е. когерентность в химической реакции играет важную роль. Обратимся к работе [20]. Пусть в начальный момент времени, $t = 0$, система находится в состоянии **1** с энергией E_1 , и пусть имеется состояние **2** с энергией E_2 , равной E_1 , т.е. $E_2 = E_1$. Предположим, что эти два состояния связаны некоторым взаимодействием с матричным элементом перехода, равным V . Обсудим вероятность $p(t)$ найти систему в любой момент времени в состоянии **2**. Временная зависимость этой вероятности очень сильно зависит от когерентности. Если переход из начального состояния **1** в конечное состояние **2** происходит некогерентным образом, то со временем происходит выравнивание населенностей этих состояний, и после достижения $p = 1/2$, населенности этих состояний в дальнейшем сохраняют значение $1/2$. В случае когерентного движения искомая вероятность равна

$$P = \sin^2(Vt / \hbar). \quad (1)$$

Два обстоятельства в этом результате показывают, что:

- а) эта вероятность осциллирует, т.е. она не изменяется монотонно, как это ожидается для некогерентного движения;
- б) эта вероятность в определенные моменты времени достигает значения **1**.

Если при $Vt / \hbar = \pi/4$ эта вероятность становится равной $1/2$, оба состояния оказываются равнозаселенными, переход из начального состояния в конечное продолжается как бы по инерции дальше, до полного перехода системы в состояние **2** и т.д. Этот пример показывает, что квантовая когерентность может играть очень важную роль в процессах переходов и в элементарных химических актах.

Таким образом, когерентное состояние топлива может активно влиять на кинетику процесса горения. В тоже время в кинетике горения большую роль играет энергия активации. Ее величину можно определять с помощью модели „Free Kinetics”, которая позволяет выполнять точные вычисления для сложных реакций – таких, как процесс горения.

Модель основана на теории др. Сергея Вязовкина, утверждающей, что функция конверсии $f(\alpha)$ и энергии активации являются постоянными для некоторых переменных величин. Для вычислений модели „Free Kinetics” требуется три динамические кривые с разными скоростями нагревания (β).

Эксперименты по влиянию когерентного состояния топлива на его энергию активации был проведен в Ченстоховском политехническом институте (Польша). В качестве исследуемого материала использовался молотый бурый уголь с размером зерна 1 – 1,2 мм. Содержание органической составляющей – 84,4%. Гигроскопическая влажность – 4,1%. Определение значения энергии активации выполнено с помощью термогравиметра TGA/SDTA/851^e фирмы Mettler Toledo. Схема эксперимента показана на рис. **2А**.

В соответствии со схемой эксперимента в г. Кемпно (Польша), находились генератор спинового поля **1**, резонатор **2** и чип-транслятор **3**. В Ченстоховском политехническом институте ($L \sim 70$ км), находился ЯМР-спектрометр **7**, колба с пробой бензина **4** и чип-индуктор **5**, пробирка с исследуемой пробой **6**.

На первом этапе эксперимента была определена энергия активации бурого угля в равновесном состоянии.

После включения генератора спинового поля **1** происходила активация спиновых состояний угля в резонаторе **2**. Одновременно с активацией угля в резонаторе происходила активация спиновых состояний чип-транслятора **3**, который за счет эффекта запутанных квантовых состояний осуществлял телепортацию изменений спиновых состояний на чип-индуктор **5**. Чип-индуктор производил спиновую накачку угля в колбе **4** и переводил его в непрерывно удерживаемое когерентное состояние. Время перевода угля в когерентное состояние – 12 часов.

Результаты измерений энергии активации бурого угля в когерентном состоянии (левая сторона графика) и состоянии декогеризации (правая сторона графика) представлены совместно на рис. **2В**.

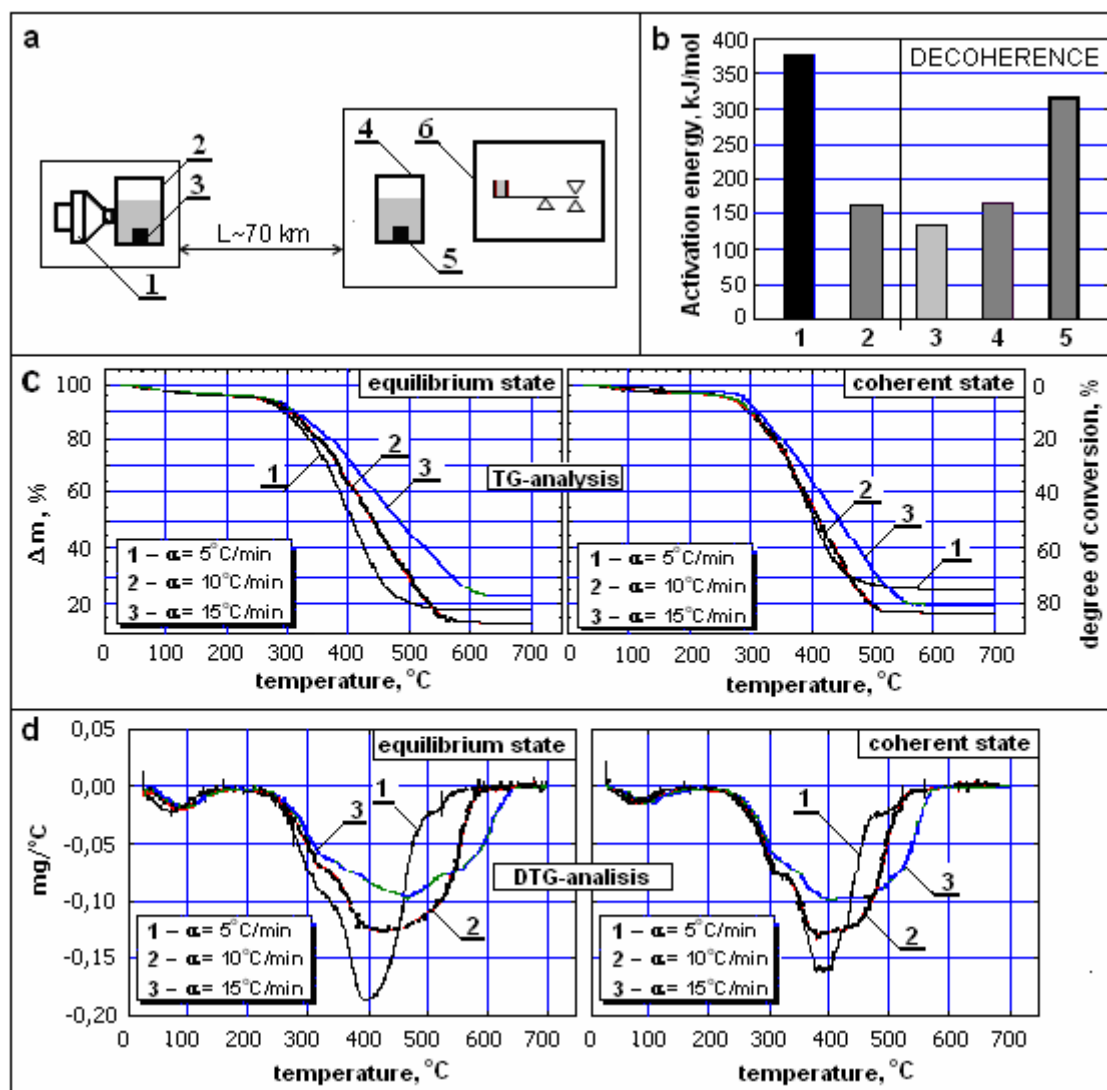


Рис. 1. Термогравиметрические исследования когерентного угля: **А** - схема эксперимента; **В** – изменение энергии активации бурого угля: 1- в равновесном состоянии, 2 – в когерентном состоянии и в состоянии декогеризации: 3 - через 2 дня, - через 7 дней, 5 - через 10 дней, **С** – степень выжигания угля в функции температуры, **Д** – ход кривых дифференциального термогравиметрического анализа (убыль массы проб угля в функции температуры).

Наибольшая величина энергии активации определена для угля в состоянии равновесия. После введения угля в когерентное состояние произошло снижение энергии активации с 377837 кДж/кмоль до 163603 кДж/кмоль, что составляет 56,7%. Это свидетельствует о снижении энергетического барьера, который следует преодолеть при сжигании угля в когерентном состоянии. Следующие измерения проводились через 2 дня после начала процесса декогеризации угля. Несмотря на то, что этот процесс продолжался 2 дня, отмечалось дальнейшее уменьшение величины энергии активации угля на 16,6% по отношению к величине когерентного состояния. Результаты исследований показывают, что этот эффект наблюдается в течение 48 часов без необходимости его поддержания.

Измерение, проведенное на 7-й день процесса декогеризации, впервые показал увеличение величины энергии активации, однако ее уровень был близок величине

соответствующей когерентному состоянию. Значительное увеличение этого параметра наблюдалось только через 10 дней после начала процесса декогеризации. Несмотря на столь продолжительное время декогеризации, возвращение к уровню равновесного состояния не произошло.

Странное поведение энергии активации при декогеризации может быть следствием следующих процессов. Когерентное состояние зерен угля обуславливает образование статических солитонов, которое необходимо для их стабильного существования. Процесс декогеризации сопровождается не только рассеянием, но и полезным преобразованием энергии. Совершаемая при этом внутренняя работа обуславливает поддержание в системе временного порядка. При этом скорость обмена энергией солитонов со средой превышает скорость рассеивания энергии в среде, что и приводит к наблюдаемому снижению энергии активации. Процесс декогеризации приводит к уменьшению скорости обмена энергией солитонов со средой, их рассеянием и увеличением энергии активации.

Кроме определения величины энергии активации проведен дополнительный анализ TG (термогравиметрических) кривых. Эти кривые представляют величину уменьшения массы пробы (масса ~ 0,3 г) (ось Y – левая), что соответствует уровню конверсии угля в функции прироста температуры (ось Y – правая). Последовательность исследуемого процесса осуществлялась при трех скоростях нагревания 5°C/мин (черная линия), 10°C/мин (красная линия), 15°C/мин (зеленая линия) как для угля в равновесном состоянии так и для угля в когерентном состоянии и приведена на рис. 2С.

Из приведенных зависимостей видно, что температуры, при которых прекращается процесс конверсии угля разные при переменных скоростях нагревания. При скорости нагревания $\alpha = 5^\circ\text{C}/\text{мин}$ полное выгорание пробы угля происходит при температуре ~ 540°C. Здесь можно предположить кинетический характер процесса, в котором увеличение температуры в камере сгорания TGA является фактором активации реакции горения.

Более высокую температуру (~ 580°C) полного выгорания пробы угля требовал процесс при нагревании $\alpha = 10^\circ\text{C}/\text{мин}$, а для скорости нагревания $\alpha = 15^\circ\text{C}/\text{мин}$ температура конверсии угля составляла ~ 630°C. Это может указывать на диффузионный характер процесса горения, скорость которого ограничена как диффузией кислорода сквозь газообразные продукты горения окружающие сжигаемую пробу угля в матрицу угольного зерна, так и химической активностью кислорода.

Таких закономерностей не наблюдалось во время тестов проводимых с углем в когерентном состоянии. Полное выгорание заданных порций угля здесь происходило при низкой температуре, независимо от заданной скорости нагревания пробы.

При сравнении кривых выгорания угля, как состоянии равновесия, так и в когерентном состоянии при скорости нагревания $\alpha = 5^\circ\text{C}/\text{мин}$, наблюдается их повторяемость, а полное выгорание проб угля имеет место при той же температуре ~ 540°C.

При скорости нагревания $\alpha = 10^\circ\text{C}/\text{мин}$ видно, что полная конверсия угля в равновесном состоянии имеет место при температуре 580°C , тогда как для угля находящегося в когерентном состоянии температура конверсии на 40°C ниже ($\sim 540^\circ\text{C}$). Увеличение скорости выгорания угля при низшей температуре свидетельствует о увеличении реактивности топлива в когерентном состоянии и большей химической активности составляющих угля относительно кислорода.

Подобную зависимость можно наблюдать при скорости нагревания $\alpha = 15^\circ\text{C}/\text{мин}$. Максимальная степень выгорания угля в равновесном состоянии достигается при

температуре 630°C , тогда как для угля в когерентном состоянии эта температура составляет 560°C ($\Delta T = 70^\circ\text{C}$). Следует отметить, что при большой скорости нагревания диффузия газового реагента и степень активности кислорода относительно горючих компонентов угля детерминируют скорость химической реакции в системе газ-твердое тело.

Эта тенденция без сомнения связана с уменьшением энергии активации определенной для когерентного состояния угля.

В дополнение анализа TG проследим ход кривых DTG (differential thermogravimetric) – первую производную в уравнениях описывающих убыль массы проб угля в функции температуры. Значения температур, отвечающих последовательным экстремумам функции, определяют тут амплитуды, в которых скорость происходящих физических или химических перемен является наивысшей. В принятой системе ось X соответствует температуре, а ось Y- скорости процесса, что соответствует углу наклона TG кривых.

DTG кривые, представленные на рис. **2D**, непосредственно отвечают приведенному выше ходу TG кривых для процесса сжигания угля в равновесном и когерентном состояниях для трех скоростей нагревания – $5^\circ\text{C}/\text{мин}$ (черная линия), $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ (красная линия), $15^\circ\text{C}/\text{мин}$ (зеленая линия). Первые минимумы, показанные на рис. **2D** в диапазоне температур $67-96^\circ\text{C}$ отвечает процессу испарения влаги (гигроскопической) и не будут учитываться в дальнейшем анализе, поскольку не вносят никакой существенной информации о влиянии когерентного состояния угля на процесс его сжигания.

Интересным и одновременно стоящим большего обсуждения является поведение коксика, образующегося при дегазации пробы угля, в процессе его сжигания.

Здесь необходимо отметить, что для угля в равновесном состоянии значения температур отвечающих экстремумам (корреспондирующим сжиганию кокса) содержатся в достаточно широком диапазоне, а именно $395-467^\circ\text{C}$ ($\Delta T=72^\circ\text{C}$), в отличии от узкого диапазона $380-397^\circ\text{C}$ ($\Delta T=17^\circ\text{C}$) характеризующего пробы угля в когерентном состоянии.

Это свидетельствует об увеличении реактивности угля, а именно при температуре большей 300°C . Эти перемещения видны, однако только на оси X, где значения

ординат отвечающих максимумам кривых для одинаковых скоростей нагрева в этих состояниях сближены, т.е. около. $-0,1\text{мг}/^\circ\text{С}$ для $\alpha = 15^\circ\text{С}/\text{мин}$, $-0,13\text{мг}/^\circ\text{С}$ для $\alpha = 10^\circ\text{С}/\text{мин}$, $-0,17\text{мг}/^\circ\text{С}$ для $\alpha=5^\circ\text{С}/\text{мин}$. Это следует из того, что максимальные скорости процесса сжигания, достигнутые для этих двух состояний угля, являются сравнимыми, однако для угля в когерентном состоянии они реализуются при более низких температурах.

Как и ранее, при анализе TG кривых для низкой скорости нагревания ($\alpha = 5^\circ\text{С}/\text{мин}$) практически не наблюдается разницы температур для экстремумов кривых, описывающих процесс сжигания угля в равновесном и когерентном состояниях. В этом случае величина ΔT принимает значение $\sim 13^\circ\text{С}$ как разница температур $381-394^\circ\text{С}$. Большая разница имеет место при скорости нагревания $\alpha = 10^\circ\text{С}/\text{мин} - 41^\circ\text{С}$ ($424-383^\circ\text{С}$). Наибольшая разница наблюдается при $\alpha = 15^\circ\text{С}/\text{мин}$, при которой ΔT достигает значения 70°С ($467-397^\circ\text{С}$).

3. Промышленный ресурс когерентной материи

1. Использование когерентного угля на электростанциях показывает снижение его потребления на 12-16 %. Максимальное уменьшение - ~ 25 %. Соответственно решается проблема эмиссии CO_2 в атмосферу. Уменьшается эмиссия бензо/а/пиренов (в 5,7 раза), высших ароматических углеводородов (в 13,8 раза).
2. Рекристаллизационный отжиг стали позволяет уменьшить расход энергоносителей на ~ 40 %.
3. Использование когерентного дизтоплива позволяет уменьшить содержание в выхлопных газах сажи на 50-80 %, СхНу на 30-40 % и твердых частиц на 40-50 %.

Заключение

Проведенные эксперименты подтверждают возможность получения когерентного вещества, и поддерживать это состояние в течение неограниченного времени. Перевод угля в когерентное состояние приводит к уменьшению его энергии активации на ~ 57 %. Создана система “Индустриальных ресурсов” когерентной материи. Важная особенность созданной системы - уменьшение потребления энергии и сокращения эмиссии парниковых газов в атмосферу. Использование когерентной материи в комплексе природоохранных мероприятий может эффективно уменьшить воздействие парниковых газов.

Второй важной особенностью созданной системы является возможность телепортации когерентных состояний на неограниченные расстояния. Этим открывается возможность создания новых телепортационных коммуникаций не только для промышленных целей, но и в исследованиях космоса и медицине.

Литература

1. G. Kothe, M. Bechtold, G. Link, E. Ohmes, J. -U. Weidne. // *Chem. Phys. Lett.*, 283, 51 (1998)
2. W. Hohmann, D. Lebender, J. Muller, N. Schinor, F. Schneider. // *J. Phys. Chem. A*, 101, 9132 (1997)
3. А.Л. Бучаченко // Когерентная химия. Москва, 2002.
4. <http://www.chemnet.ru/rus/teaching/buchachenko/coherent.html>
5. R. Kosloff. // *Highlights of research* (S. Ruhman. Coherent chemistry; A. Bartana, G. Ashkenazi, S. Ruhman, U. Banin, E. Gershgoren. *Coherent control and laser cooling*). <http://www.fh.huji.ac.il/~ronnie/ronniepage.html#control>
6. S. Jakubith, H. H. Rotermund, W. Engel, A. von Oertzen, G. Ertl. // *Phys. Rev. Lett*, 65, 3013 (1990).
7. A.L. Buchachenko, V.L. Berlinski. // *Russian Chemical Reviews*, 52,3 (1983)
8. F. Bloch // *Phys. Rev.*, 50 (1936) 259; 51 (1937) 994.
9. D. J. Hughes. *Neutron Optics*. Interscience, New York, 1954.
10. В.Г. Барышевский, М.И. Подгорский. Ядерная прецессия нейтронов. // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, 1964, 47, 1050.
11. D. Krish “The collision of the spinning protons”. // *V mire nauki*, 1987, #10, p.12 (Russian lang.)
12. Lhuiller. Transport properties in a spin polarized gas, III. // *J. Phys. (Fr.)*, 1983, V.44, № 1, P.1.
13. J.A. Spiers, *Nature* 161, 807 (1948).
14. J.M. Daniels, M.A. Gracea, F.N.H. Robinson. // *Nature* 168, 780 (1951).
15. C.G. Qorter, O.S. Poppema, M.J. Steenland, A.J.A. Bean. // *Physica* 17, 1050 (1951);
16. H.C. Ohanian. What is spin? // *Amer. J. Phys.*, June 1986, v. 54, № 6, p.500.
17. R.Utiyama. *A Physics Come to That? The theory of gauge fields* (Moscow: Nauka, 1986.) P.162.
18. V.L. Diatlov. Polarization model of a nonuniform perfect vacuum. Novosibirsk, 1998, 183c. See <http://www.sinor.ru/~che/Vdyatlov.htm>.