

ПРОЦЕССЫ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В СРЕДЕ ПРОВОДЯЩИХ КРИСТАЛЛОВ

*Э. Н. Цыганов**

Международная корпорация «Холодный синтез», Дунканвилль, Техас, США

ВВЕДЕНИЕ	1095
УРОКИ МЮОННОГО КАТАЛИЗА	1096
ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ	1097
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ BRILLOUIN	1106
ВОЗМОЖНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПАНИИ BRILLOUIN ENERGY	1107
ЭКСПЕРИМЕНТЫ А.РОССИ	1109
ЭКСПЕРИМЕНТЫ ГРУППЫ А.Г.ПАРХОМОВА	1109
ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ	1114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	1114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	1114

*E-mail: edward.tsyganov@coldfusion-power.com

ПРОЦЕССЫ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В СРЕДЕ ПРОВОДЯЩИХ КРИСТАЛЛОВ

Э. Н. Цыганов*

Международная корпорация «Холодный синтез», Дунканвилль, Техас, США

В статье обсуждается применение металлических кристаллов с целью использования процессов синтеза легких элементов водорода в более тяжелые элементы, сопровождаемых выделением значительного количества энергии. Эти реакции по своему энерговыделению превосходят все химические реакции примерно на семь порядков величины, их использование открывает новую эру нашей цивилизации. Проводящие кристаллы в этом процессе являются средой, обеспечивающей механику процесса, и практически не подвергаются разрушению. Статья опирается на обширные экспериментальные данные по так называемому холодному ядерному синтезу.

The article discusses the use of metal crystals to use the processes of the fusion of light elements of hydrogen into heavier elements, accompanied by the release of a significant amount of energy. In their energy production, these reactions exceed all chemical reactions by about seven orders of magnitude; their use opens the new era of our civilization. Conductive crystals in this process are the medium that provides the mechanics of the process and are practically not subject to destruction. The article is based on extensive experimental data on the so-called “cold” nuclear fusion.

PACS: 25.45

Физика — наука экспериментальная.

Р. Фейнман

ВВЕДЕНИЕ

Человечество подошло к такой стадии своего развития, когда борьба за энергетические ресурсы становится особенно острой. В течение следующих 25–50 лет запасы нефти и природного газа начнут приближаться к истощению. Это накладывает жесткие ограничения на будущее развитие общества. Проблема усугубляется тем, что использование нефти и природного газа ограничивается так называемым парниковым эффектом, т. е. избытком углекислого газа в атмосфере Земли. Запасов угля хватило бы на более длитель-

*E-mail: edward.tsyganov@coldfusion-power.com

ный период, возможно до 500 лет, однако парниковый эффект полностью закрывает этот путь.

Существующие атомные электростанции недостаточно безопасны, что показали аварии на реакторах Three Mile Island, Чернобыля и Фукусимы. Проблема захоронения радиоактивных отходов атомных электростанций на период в несколько тысяч лет является весьма проблематичной. Кроме этого, запасы делящихся материалов в земной коре весьма ограничены.

Уже около 75 лет обсуждается переход к процессу управляемого термоядерного синтеза. Некоторое время назад ученые возлагали надежды на так называемый μ -катализ, но этим мечтам не суждено было осуществиться. Уже много лет эту задачу пытаются решить в интернациональном проекте ITER. Первоначальные ожидания того, что там эта проблема будет быстро решена, не реализовались. Технические трудности создания достаточно горячей плазмы (10^9 °C), а также разрушающий эффект возникающего при этом громадного нейтронного потока надолго отодвигают это решение.

Некоторое время тому назад появилась уверенность в том, что безопасный ядерный синтез может быть осуществлен совершенно по-другому. Процесс ядерных реакций при низких энергиях (LENR), иногда называемый «холодным» ядерным синтезом, по нашему мнению, является реальной возможностью.

1. УРОКИ МЮОННОГО КАТАЛИЗА

Явление так называемого μ -катализа было детально описано Я. Б. Зельдовичем в 1954 г. [1]. В ионизированной DH -молекуле после замещения единственного оставшегося электрона μ -мезоном происходит быстрое сближение ядер дейтерия и водорода. Этот процесс приводит к процессу DH -синтеза. Теория достаточно точно описывает эту реакцию.

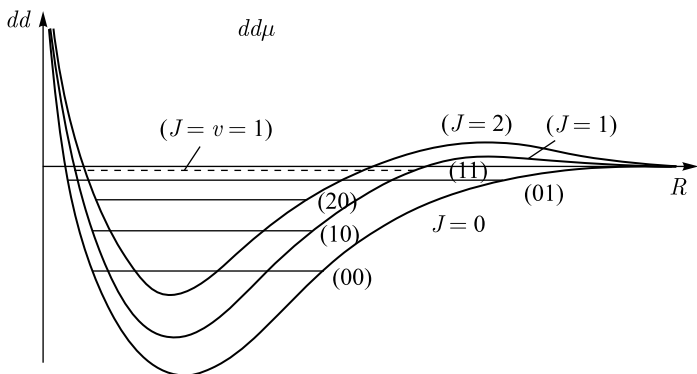


Рис. 1. Схема уровней вращательно-вибрационных состояний (J, v) в мезомолекуле $dd\mu$ из работы С. С. Герштейна и др. [3]

Первые события ДН-синтеза были зарегистрированы в 1957 г. в жидководородной камере Альвареца [2].

Энергетические уровни вращательно-вибрационных состояний (J, v) в мезомолекуле $dd\mu$ были представлены в работе С. С. Герштейна и др. [3]. Принятые обозначения: $m_\pi = 139,6$ МэВ, $\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$, $\tau_\mu = 2,2 \cdot 10^{-6}$ с, $m_\mu = 105,7$ МэВ, $m_e = 0,511$ МэВ, $m_\mu/m_e \approx 207$. Схема уровней вращательно-вибрационных состояний (J, v) в мезомолекуле $dd\mu$ приведена на рис. 1. По осям отложены в относительных единицах энергия связанного состояния dd и расстояние R между ядрами дейтерия.

Явление мюонного катализа рассматривалось достаточно долго в качестве возможного источника энергии, однако короткое время жизни μ -мезона не позволило этого.

2. ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

Как мы уже отметили, некоторое время тому назад появилась уверенность в том, что проблема управляемого термоядерного синтеза может быть решена по-другому. Процесс синтеза имплантированных в металлические кристаллы ядер дейтерия при низких энергиях, иногда называемый «холодным» ядерным синтезом, является реальной возможностью. По нашему мнению, особую роль в объяснении этого процесса можно приписать Ричарду Фейнману.

Р. Фейнман впервые предположил, что в случае реакции $D + D \rightarrow {}^4\text{He}^*$ энергетический «разряд» системы ${}^4\text{He}^*$, имеющей проекцию орбитального момента $l = 0$, идет через испускание *виртуальных фотонов, спин которых направлен по оси времени*, в соответствии с соотношением неопределенности $\Delta E \times \Delta t \geq \hbar$. Здесь Δt определяется расстоянием от ядра ${}^4\text{He}^*$ до ближайшего электрона в ячейке проводящего кристалла.

Начало экспериментальных работ по «холодному» ядерному синтезу нужно отнести к 1989 г., когда М. Флейшманом и С. Понсом были опубликованы первые результаты их опытов [4]. Явление холодного ядерного синтеза на сегодняшний день подтверждено в многочисленных экспериментах. Обзор ранних работ по холодному синтезу приводится в работе [5]. Детальное описание процесса холодного ядерного DD-синтеза приведено нами в работах [6, 7]. Гранцентрированная кубическая решетка fcc для палладия и платины представлена на рис. 2.

При объяснении холодного ядерного синтеза дейтерия в металлических кристаллах необходимо учитывать то обстоятельство, что водородный атом Бора ($1s$) не может находиться в центре ячейки металлического кристалла, так как структурой проводящего кристалла это место зарезервировано для свободных электронов проводимости. Энергетический порог этого запрета составляет около 10 эВ. В процессе имплантирования водорода в метал-

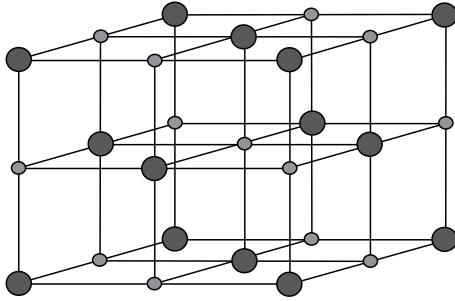


Рис. 2. Гранецентрированная кубическая решетка fcc (палладий: $a = 3,890 \text{ \AA}$, платина: $a = 3,9231 \text{ \AA}$, где $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$). Мальми кружками отмечены наиболее глубокие потенциальные ниши

лический кристалл атом водорода возбуждается от основного состояния $1s$ до состояний $2p$, $3p$ или выше на величину $10\text{--}14 \text{ эВ}$.

В нормальных условиях возбужденный атом водорода быстро возвращается к своему невозбужденному состоянию. В металле состояние $1s$ для водородного атома запрещено, так как эта область уже занята электронами проводимости. Однако состояния $2p$, $3p$ и выше легко примиряются с этим «неудобством» из-за своей специфической формы. Этот вопрос обсуждался нами в публикации [8].

Численное решение уравнения Шредингера для атома водорода в соответствии с вычислениями М. Винтера [9] (университет г. Шеффилда, Англия)

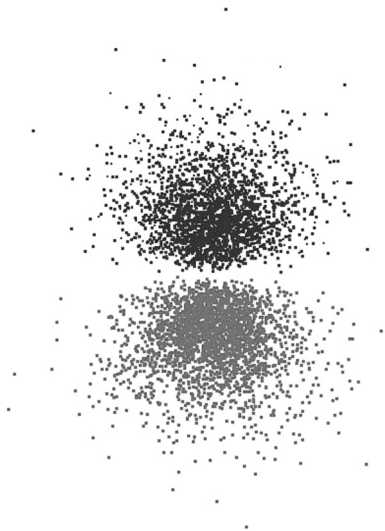


Рис. 3. График $2p$ -состояния электронной плотности ψ_{2p}^2 атома водорода. Черные точки — отрицательные значения волновой функции ψ_{2p} , серые — ее положительные значения. Ядро атома водорода (дейтерия) располагается в центре рисунка между двумя электронными кластерами на расстоянии около 2 \AA от максимумов электронной плотности

для состояния $2p$ представлено на рис. 3. Максимумы электронной плотности расположены на расстоянии $\sim 4a_0$ от ядра атома, находящегося в центре рисунка. Величина a_0 — радиус Бора = 52,9 пм.

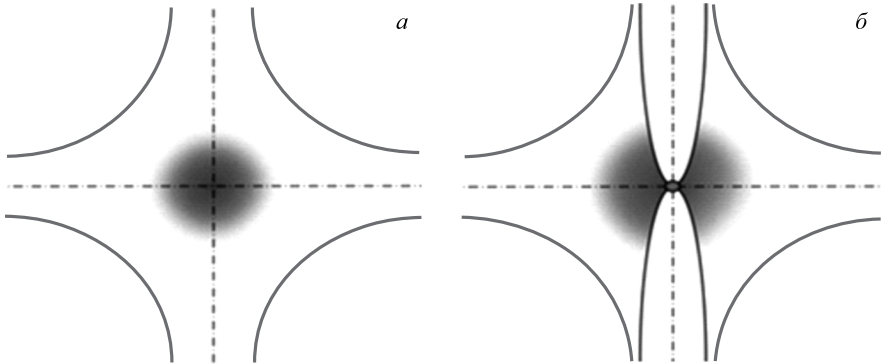


Рис. 4. Схематическая иллюстрация влияния свободных электронов в проводящем кристалле. *а*) Центр кристаллографической ячейки металла (палладий, платина). В центре ячейки серым обозначено облако свободных электронов проводимости. *б*) Имплантированный в ячейку металла атом водорода в состоянии $2p$

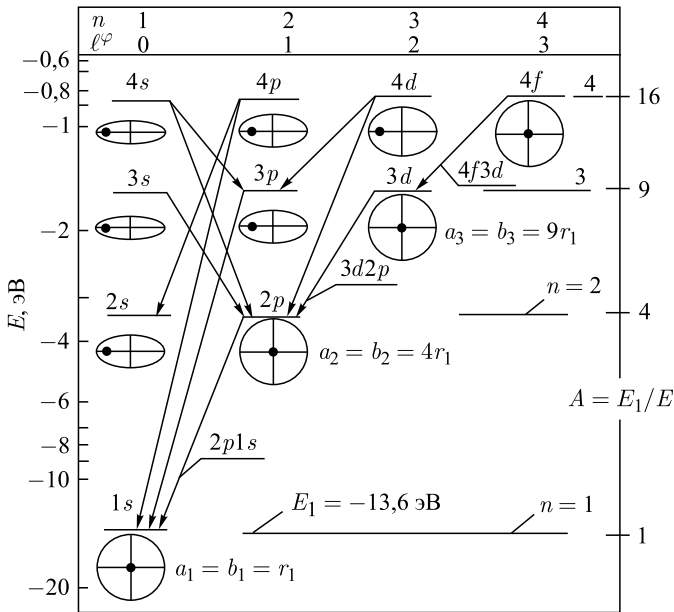


Рис. 5. Энергетические уровни атома водорода по Ридбергу

Схематическая иллюстрация влияния свободных электронов в проводящем кристалле при имплантации примесных атомов водорода в его решетку изображена на рис. 4.

На рис. 5 приведена схема энергетических уровней атома водорода по Ридбергу, 1885 г. Здесь квантовые числа: n — энергетический уровень, l — угловой момент.

Когда все наиболее глубокие потенциальные ниши в проводящем кристалле оказываются заполненными атомами дейтерия в состоянии $2p$ или выше, дальнейшее насыщение кристалла дейтерием ведет к появлению двоянных имплантаций. При этом $2p$ - или $3p$ -состояния вследствие их несферичности заполняются определенным образом, располагаясь «крест-накрест» для минимизации потенциальной энергии двоянного импланта в проводящем кристалле.

На рис. 6 представлены атомы водорода в состоянии $2p$ в октаэдральной нише платинового кристалла в горизонтальной плоскости XY . На рис. 6, *а* — одиночный атом; на рис. 6, *б* — два атома в ориентации «крест-накрест» при

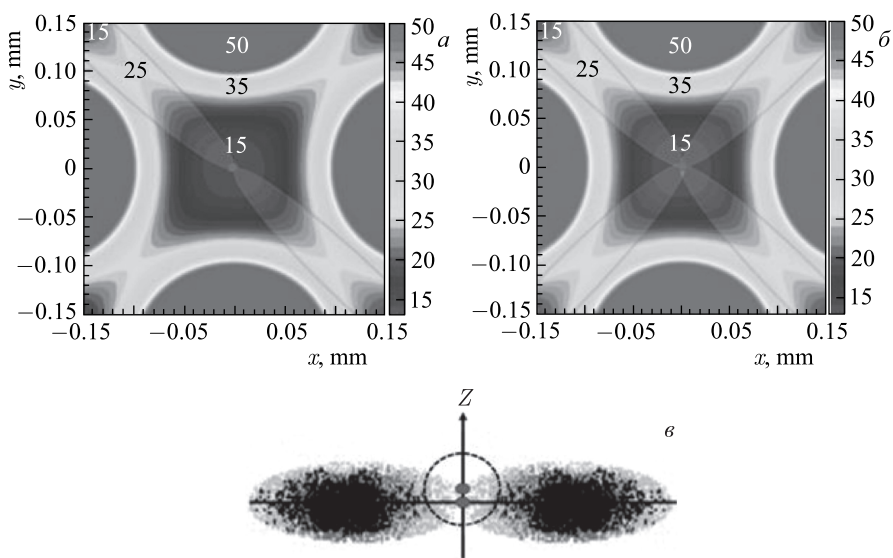


Рис. 6. Атомы водорода в состоянии $2p$ в октаэдральной нише платинового кристалла. *а*) Имплантирован один атом дейтерия, *б*) имплантированы два атома дейтерия в конфигурации «крест-накрест». Числа на рисунке указывают значение потенциала в вольтах. *в*) Два имплантированных атома водорода в вертикальной плоскости, т. е. по оси Z . Максимумы электронной плотности атомов водорода расположены на расстоянии $\sim 4a_0$ от ядер атомов, находящихся в центре рисунка. Здесь величина a_0 — радиус Бора, равный 52,9 пм

$z = 0$. Шкала справа указывает электрический потенциал кристалла в вольтах. На рис. 6, *б* два имплантированных атома водорода изображены в вертикальной плоскости, т. е. по оси Z .

На рис. 7 представлен график вероятности нахождения электрона в атоме водорода в зависимости от расстояния до ядра. Здесь a_0 — радиус Бора, равный 52,9 пм.

На рис. 8 приводится астрофизический фактор $S(E)$ для реакций $D(d, p)^3\text{H}$ и $D(d, n)^3\text{He}$ из работы S. Lemaître et al. [10].

$S(E)$ — астрофизический фактор для DD-синтеза дается выражением

$$S(E) = E\sigma \exp\left(\pi \frac{e^2}{\hbar c} \sqrt{\frac{M_d c^2}{E}}\right) = E\sigma \exp\left(\frac{31,41}{\sqrt{E}}\right).$$

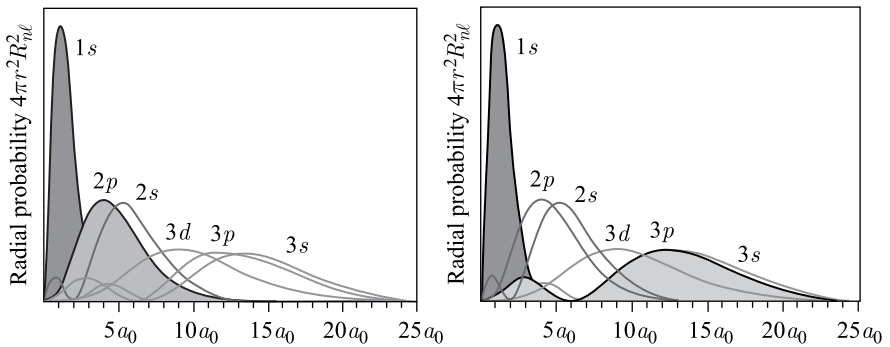


Рис. 7. Вероятность нахождения электрона в атоме водорода в зависимости от расстояния до ядра

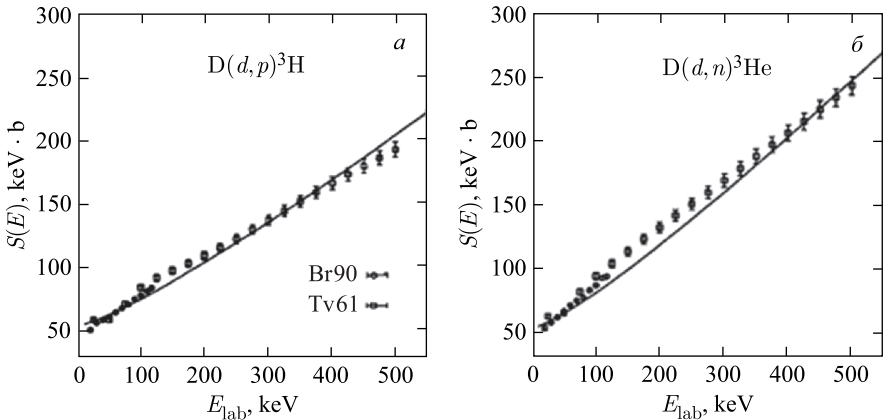


Рис. 8. Астрофизический фактор для реакций $D(d, p)^3\text{H}$ (*а*) и $D(d, n)^3\text{He}$ (*б*)

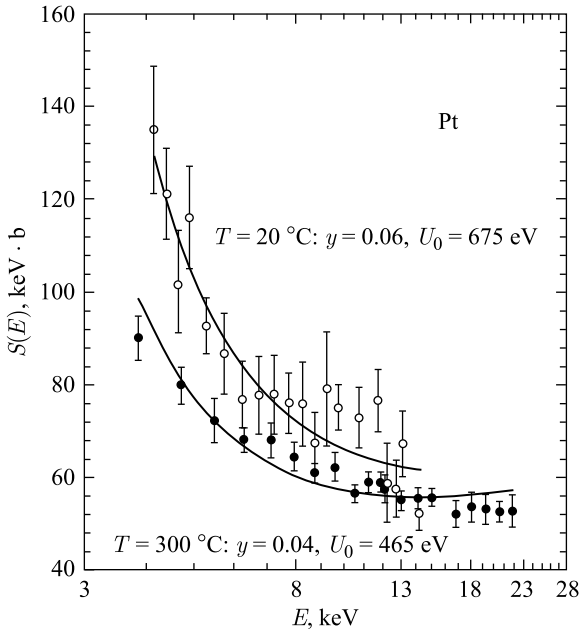


Рис. 9. Астрофизический фактор $S(E)$ для DD-реакции в платине из работы F. Raiola et al. [11]

На рис. 9 приведен астрофизический фактор $S(E)$ для DD-реакции в платине из работы F. Raiola et al. [11].

Зависимость прозрачности кулоновского барьера от эффективной энергии взаимодействия приведена на рис. 10.

Здесь

$$P = e^{-2\pi\eta} \quad (2\pi\eta = 31,41/E_{\text{эф}}^{1/2} \text{ [кэВ]}).$$

Прозрачность кулоновского барьера увеличивается приблизительно на 65 порядков с увеличением так называемого потенциала экранирования от 27 (молекула дейтерия) до 300–700 эВ для кластера из двух атомов дейтерия в состоянии $2p$ или выше в позиции «крест-накрест».

Табл. 1 основана на этих вычислениях и приводит оценку скорости реакции синтеза $D + D \rightarrow {}^4\text{He}^*$ для кристаллов палладия и платины.

В соответствии с табл. 1 среднее время ожидания для реакции синтеза $D + D \rightarrow {}^4\text{He}^*$ в ячейке платинового кристалла составляет доли секунды. Частота квантовых вибраций при этом равняется $\nu \approx E/\hbar$ ($\hbar = 6,5 \cdot 10^{34} \text{ Дж}$, $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

Наблюдаемое уменьшение скорости распада образованного в этой реакции промежуточного ядра ${}^4\text{He}^*$ по прямым каналам ядерного распада может

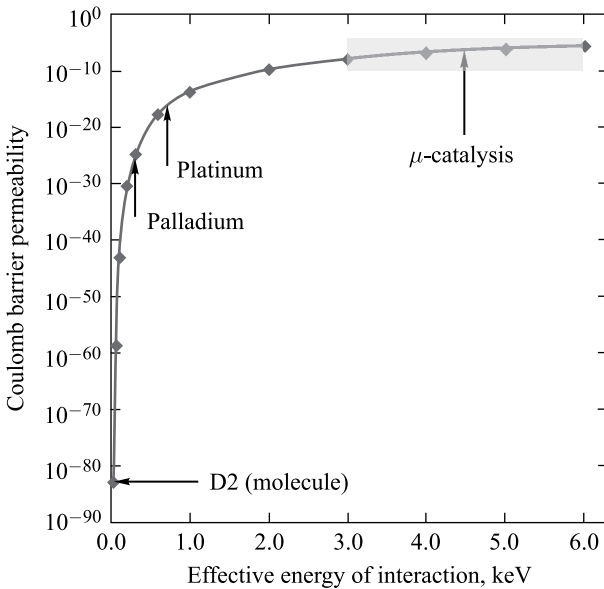


Рис. 10. Прозрачность кулоновского барьера для DD-синтеза

Таблица 1

Тип кристалла	Потенциал экранирования, эВ	Частота вибраций ν , с^{-1}	Проницаемость барьера $e^{-2\eta}$	Скорость DD-синтеза λ , с^{-1}
Палладий	300	$0,74 \cdot 10^{17}$	$1,29 \cdot 10^{-25}$	$0,95 \cdot 10^{-8}$
Платина	675	$1,67 \cdot 10^{17}$	$2,52 \cdot 10^{-17}$	4,21

объясняться остаточным кулоновским барьером (около 100–200 эВ) уже в потенциальной яме сильных взаимодействий. Дейтроны, проникшие в потенциальную яму сильных взаимодействий и имеющие тепловую энергию, все еще разделены остаточным кулоновским отталкиванием и находятся по разным сторонам этого потенциального барьера. Упрощенная схема потенциальной ямы двух дейтронов непосредственно после их слияния в ядро ${}^4\text{He}^*$ приводится на рис. 11.

В этом случае энергетический «разряд» системы ${}^4\text{He}^*$, имеющей проекцию орбитального момента $l = 0$, идет через испускание так называемых виртуальных фотонов, спин которых направлен по оси времени (условие Р. Фейнмана). Координата x выбрана вдоль направления дипольного момента ${}^4\text{He}^*$. На рис. 12 показана возможная эволюция промежуточного метастабильного ядра ${}^4\text{He}^*$.

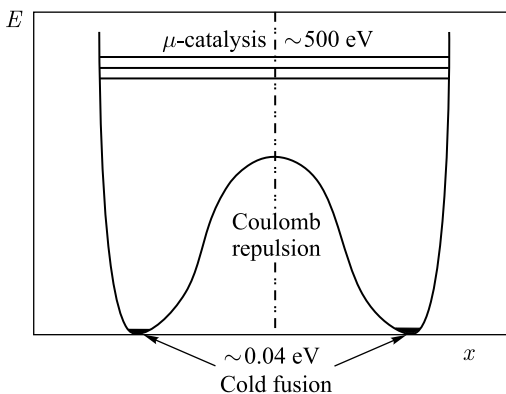


Рис. 11. Упрощенная (без изображения квантовых вибраций) схема потенциальной ямы для двух дейтронов непосредственно после их синтеза в ядро ${}^4\text{He}^*$. Приблизительные размеры этой потенциальной ямы в начале процесса «высвечивания» приведены на рис. 12

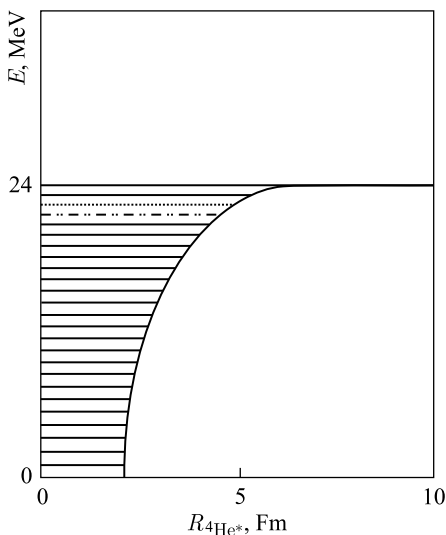


Рис. 12. Эволюция метастабильного ядра ${}^4\text{He}^*$

Нужно отметить, что исследователи холодного DD-синтеза уже в 1994 г. были очень близки к пониманию этого процесса. Рис. 13 и 14 демонстрируют диаграмму эксперимента С. Шпака и его коллег [13] и один из их впечатляющих результатов.

В экспериментах с продолжающейся имплантацией дейтерия в формирующийся палладиевый кристалл наблюдались хорошо локализованные яркие световые вспышки.

Напомним еще раз процесс холодного ядерного синтеза двух имплантированных в ту же самую кристаллическую ячейку проводящего кристалла атомов дейтерия в атом гелия ${}^4\text{He}$. Процесс проходит через две стадии.

1. Два атома дейтерия в S -состоянии не могут располагаться в той же самой ячейке проводящего кристалла из-за присутствия там свободных электронов проводимости. Даже один атом дейтерия в S -состоянии займет прак-

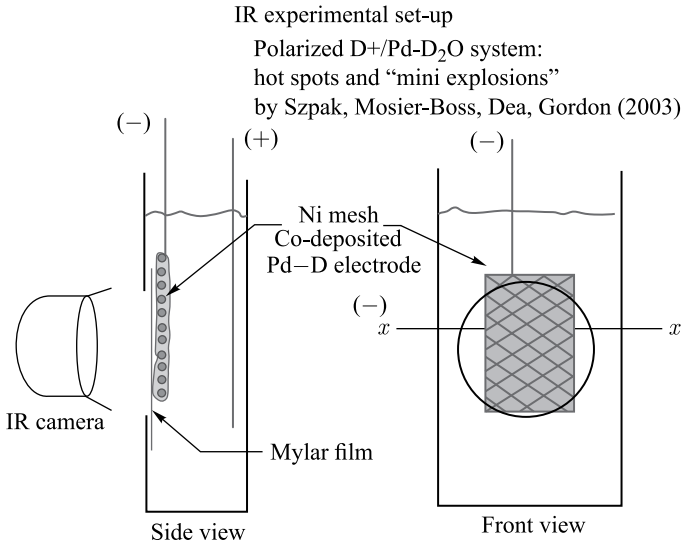


Рис. 13. Схема эксперимента С. Шпака [13]

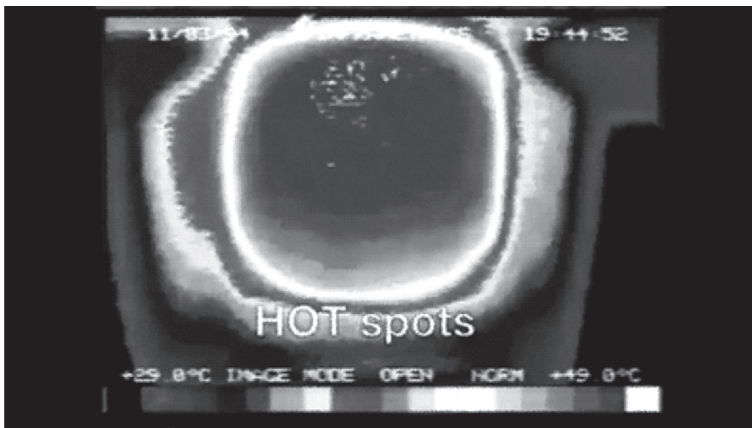


Рис. 14. Локализованные световые вспышки в эксперименте С. Шпака [13]. В верхней части рисунка авторы отчетливо наблюдали короткие локализованные световые вспышки («mini-explosions») и уже в 1994 г. были близки к пониманию процесса «холодного» DD-синтеза

тически полностью всю ячейку проводящего кристалла. Когда атомы дейтерия находятся в *p*-состоянии ($2p$, $3p$ и т. д.), этот запрет снимается.

Ядра двух атомов дейтерия в *p*-состоянии в центре ячейки проводящего кристалла в конфигурации «крест-накрест» могут сблизиться друг с другом

до расстояний в $1/20$ от размеров невозбужденных атомов дейтерия. При этом частота квантовых колебаний этой системы резко возрастает. В качестве первого приближения мы приняли оценку частоты квантовых колебаний $\nu \sim E/\hbar$, где E — экспериментально измеренный потенциал экранирования.

Табл. 1 была рассчитана в этом приближении и дает оценку скорости реакции синтеза $D + D \rightarrow {}^4\text{He}^*$ для палладия и платины. Как следует из этой таблицы, среднее время ожидания реакции синтеза $D + D \rightarrow {}^4\text{He}^*$ в кристалле платины составляет доли секунды. Частота квантовых колебаний равна $\nu = E/\hbar$ ($\hbar = 6,5 \cdot 10^{34} \text{ Jc}$, $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$). Зависимость прозрачности кулоновского барьера от эффективной энергии дейтронов в DD-реакции в проводящих кристаллах была приведена на рис. 10.

2. Когда процесс ядерного синтеза $D + D \rightarrow {}^4\text{He}^*$ совершился, ядро образовавшегося атома гелия оказывается возбужденным на 24 МэВ выше основного состояния ${}^4\text{He}$. Электронные орбиты образовавшегося атома ${}^4\text{He}$ оказываются модифицированными под влиянием электронов проводимости кристалла, аналогично электронам атомов дейтерия до реакции синтеза.

Выше мы уже обсуждали схему потенциала сильных взаимодействий ядра ${}^4\text{He}^*$. Энергетические уровни при μ -катализе располагаются на уровне

$\sim 500 \text{ эВ}$, уровень тепловых осцилляций $\sim 0,04 \text{ эВ}$, потенциал кулоновского отталкивания с максимумом около 200 эВ располагается между двумя кластерами бывших дейтронов.

На рис. 15 изображена схема испускания виртуального фотона из возбужденного ядра ${}^4\text{He}^*$.

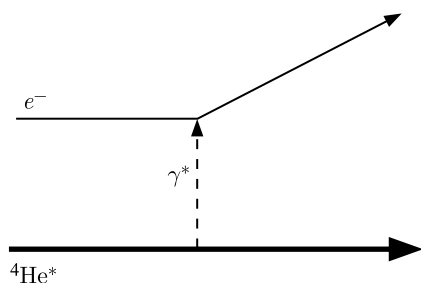


Рис. 15. Схема испускания виртуального фотона из возбужденного ядра ${}^4\text{He}^*$

${}^4\text{He}^*$ до ближайшего электрона. Как уже отмечалось выше, в соответствии с гипотезой Р. Фейнмана *спин виртуального фотона направлен по оси времени* [14].

После потери энергии системой ${}^4\text{He}^*$ описанным механизмом на 3–4 МэВ и приближении к уровням реакций ${}^3\text{He} + n$ и ${}^3\text{H} + p$ скорость этих реакций резко уменьшается, так как *фазовый объем для этих процессов становится очень малым* вблизи энергетического порога реакции.

3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ BRILLOUIN

Французский физик Л. Бриллюэн (1889–1969) является одним из авторов известного в ядерной физике WKB-метода для расчетов физических процес-

сов. По-видимому, его работы вдохновили инженера Р. Годеса назвать его именем основанную недавно корпорацию Brillouin Energy, базирующуюся на выработке тепловой энергии при использовании низкоэнергетических ядерных реакций.

18 ноября 2015 г. корпорация Brillouin Energy [15] заявила, что ее исследования были представлены конгрессу США. Согласно заявлению одного из основных участников этого коллектива доктора Мак-Кубре в этих исследованиях в системе никель–водород был достигнут впечатляющий выигрыш в энергии (примерно в четыре раза) при температуре реакции около 640 °С. *Удивительным обстоятельством для многих участников работ по холодному ядерному синтезу было то, что этот процесс происходит с участием обычного изотопа водорода $^1\text{H}_1$.*

Недавно доктор Ф. Танзела в Стенфордском исследовательском институте по заказу компании Brillouin Energy в своих исследованиях подтвердил выработку тепловой энергии при использовании низкоэнергетических ядерных реакций (LENR).

Р. Годес при объяснении найденного эффекта предложил свое объяснение процесса, не выдерживающее серьезной критики. Ниже нами приводится возможная интерпретация процесса, зарегистрированного компанией Brillouin Energy.

4. ВОЗМОЖНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПАНИИ BRILLOUIN ENERGY

Следующий механизм может быть рассмотрен в качестве возможной интерпретации результатов компании Brillouin Energy.

Ранее наблюдалось, что реакция захвата электронов (слабое взаимодействие) для легкого элемента $^7\text{Be} + e^- \rightarrow ^7\text{Li} + \nu_e$ идет с временем жизни около 53 сут. Эксперименты показали, что скорость электронного захвата зависит от близости электрона к ядру. В работе В. Wang et al. [16] было показано, что скорость этой реакции оказывается выше в металлической среде, чем в том случае, когда этот процесс происходит в изоляторе.

Можно предполагать, что похожая реакция $^1\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow ^2\text{He}^* \rightarrow ^2\text{He}^* + e^- \rightarrow ^2\text{H} + \nu_e$ (с участием *слабого взаимодействия*) в случае, когда водород имплантирован в ячейку металлического кристалла в ситуации «крест-накрест», идет достаточно быстро с отсутствием видимого выделения энергии. Энергетический баланс этой реакции: масса протона $m_p = 938,272$ МэВ, масса электрона $m_e = 0,511$ МэВ, масса дейтрона $m_D = 1875,613$ МэВ, масса двух протонов 1876,514 МэВ, выделившаяся энергия: 0,931 МэВ. Практически вся выделившаяся энергия, в соответствии с законом сохранения импульса, уносится нейтрино, так как дейтрон является достаточно тяжелой частицей. При дальнейшем насыщении ячейки этого проводящего кристалла водородом $^1\text{H}_1$ образуется $^2\text{He}_3$, затем $^2\text{He}_4$, и т. д.

Как мы видим, на первом этапе реакции синтеза двух атомов обычного водорода $^1\text{H}_1$ в реакции с электронным захватом в проводящих кристаллах не наблюдается выделения энергии, так как вся эта энергия уносится нейтрино. Именно это обстоятельство побудило Мак-Кубре и его коллег [5] утверждать, что реакции синтеза в системе $^1\text{H}_1 + ^1\text{H}_1$ не происходит. Дальнейшие реакции холодного синтеза HD и DD происходят без испускания нейтрино.

Первые экспериментальные свидетельства существования ядра ^2He были представлены недавно в работе G. Raciti et al. [17]. Анализ импульсов и углов вылета двух протонов из возбужденных состояний ^{18}Ne в диапазоне $5,9 < E^* < 6,5$ МэВ указывает на присутствие в реакции около 31 % дипротона ^2He . Двухпротонный распад из возбужденных состояний ^{18}Ne изучался при полном кинематическом анализе продуктов распада. Ядра ^{18}Ne образовывались при фрагментации пучка радиоактивных ядер ^{20}Ne при энергии 45 МэВ/нуклон на мишени ^9Be . ^{18}Ne с начальной энергией 33 МэВ/нуклон образовывался с помощью кулоновского возбуждения свинцовой мишени. Коррелированное испускание двух протонов было отделено от некоррелированного испускания с использованием детекторов с высоким пространственным разрешением, позволяющим реконструировать импульсы и углы двух вылетающих протонов. Полученные результаты показали, что состояние ^{18}Ne с энергией 6,15 МэВ распадается с испусканием ^2He (31 %) и возможным последовательным протонным распадом (69 %). На рис. 16 представлены результаты работы G. Raciti et al. [17].

Анализ относительных импульсов и углов двух протонов в области энергии возбуждения $5,9 < E^* < 6,5$ МэВ свидетельствует о присутствии дипротона ^2He .

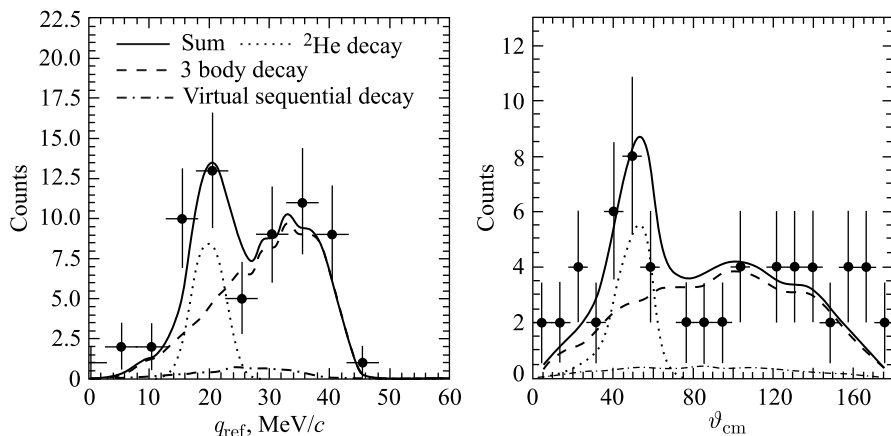
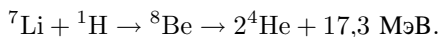


Рис. 16. Результаты работы G. Raciti et al. [17]

5. ЭКСПЕРИМЕНТЫ А. РОССИ

Итальянский инженер А. Росси в 2015 г. получил патент на процесс холодного синтеза (US 9,115,913 B1), озаглавленный «Жидкостный нагреватель» [18]. Интересной новинкой в этом патенте является использование реакции ${}^7\text{Li}$ с водородным элементом ${}^1\text{H}$:



Эти исследования проводились параллельно в Болонском университете (Италия) под руководством доктора Дж. Леви [19]. Результаты около трех месяцев работы этой группы показаны в табл. 2.

Таблица 2

Ион	Топливо		«Пепел»		Естественное содержание, %
	Счет в пике	Измеренное содержание, %	Счет в пике	Измеренное содержание, %	
${}^6\text{Li}^+$	15804	8,6	569302	92,1	7,5
${}^7\text{Li}^+$	168919	91,4	48687	7,9	92,5
${}^{58}\text{Ni}^+$	93392	67	1128	0,8	68,1
${}^{60}\text{Ni}^+$	36690	26,3	635	0,5	26,2
${}^{61}\text{Ni}^+$	2606	1,9	~ 0	0	1,8
${}^{62}\text{Ni}^+$	5379	3,9	133272	98,7	3,6
${}^{64}\text{Ni}^+$	1331	1	~ 0	0	0,9

При интерпретации результатов этих экспериментов Росси и его коллеги игнорировали образование позитронов в реакции $\text{H} + \text{Ni}$ и ошибочно привели доводы в пользу отсутствия ионизирующего излучения в этой реакции. На это было нами указано несколькими годами ранее в работе [20].

6. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ГРУППЫ А. Г. ПАРХОМОВА

А. Пархомов использовал для изготовления своего реактора, в целом повторяющего реакторы А. Росси и Дж. Леви, керамическую Al_2O_3 трубку длиной 120 мм с внешним диаметром 10 мм и внутренним диаметром 5 мм. Электрические нагреватели были намотаны на эту трубку. Внутри трубки находился 1 г порошка $\text{Ni} + 10\%$ соединения LiAlH_4 . Термопара контактировала с наружной поверхностью трубки. Концы трубки были герметизированы термостойким цементом. Этот же цемент использовался для покрытия поверхности реактора. В целом, этот эксперимент повторял опыты Дж. Леви и А. Росси.

Описываемый ниже никель-водородный реактор, созданный группой А. Г. Пархомова [21], непрерывно проработал в течение 225 сут с мощностью выделяемого тепла, превышающей расходуемое тепло на величину от 200 до 1000 Вт, коэффициент полезного действия составил 1,6–3,6. Топливо в реакторе представляло собой гидрированный никелевый порошок весом 1,2 г. Выделение энергии на 1 атом никеля составило 2,1 МэВ. Завершение работы было связано с исчерпанием ресурса. За время работы устройства избыточная энергия составила около 4100 МДж. На рис. 17 показано устройство реактора.

На рис. 18 приведена блок-схема установки.

Рис. 19 демонстрирует энерговыделение в зависимости от температуры внутри реактора, избыточная мощность начинает выделяться после достижения температуры около 1000 °С, после 1400 °С реакция переходит в неконтролируемый режим.

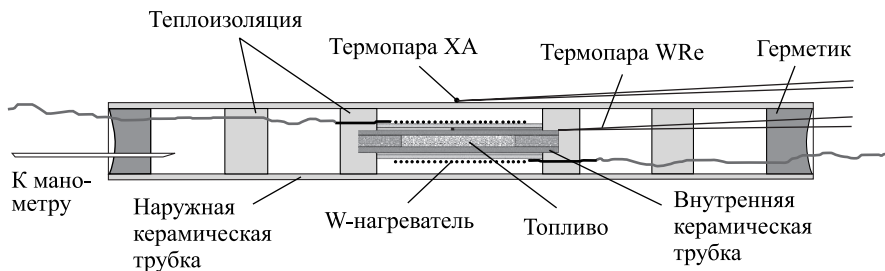


Рис. 17. Схема реактора А. Г. Пархомова и др. Длина внутренней керамической трубки около 10 см

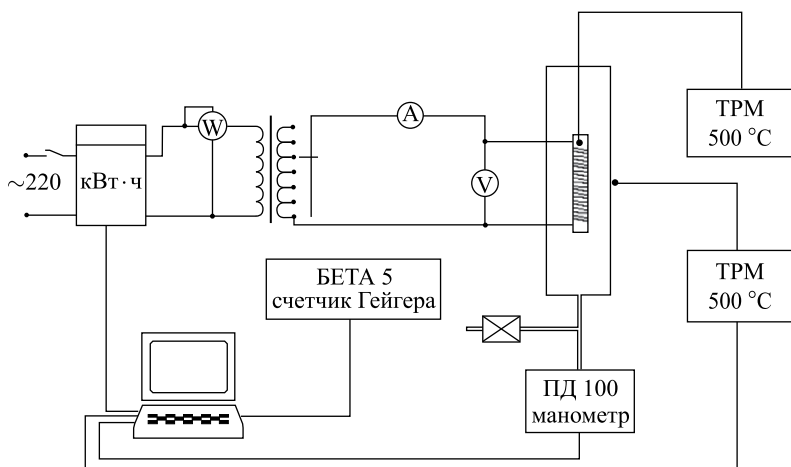


Рис. 18. Блок-схема установки А. Г. Пархомова и др.

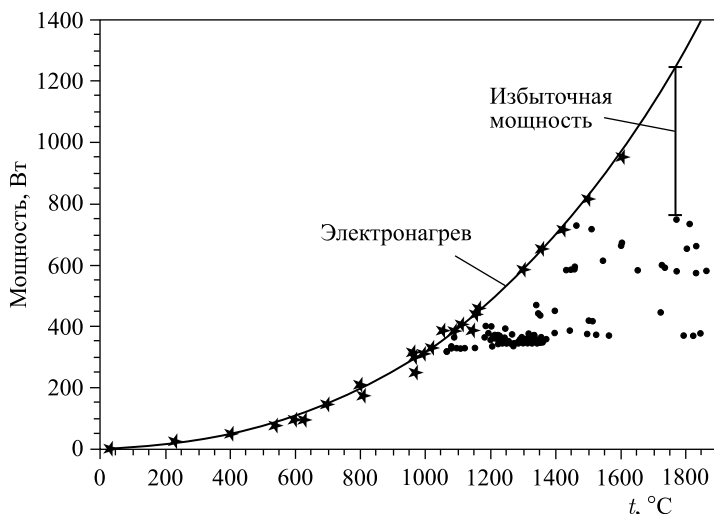


Рис. 19. Энерговыведение в установке А.Г. Пархомова и др. в зависимости от температуры внутри реактора. Звездочками обозначены результаты калибровки системы без топлива

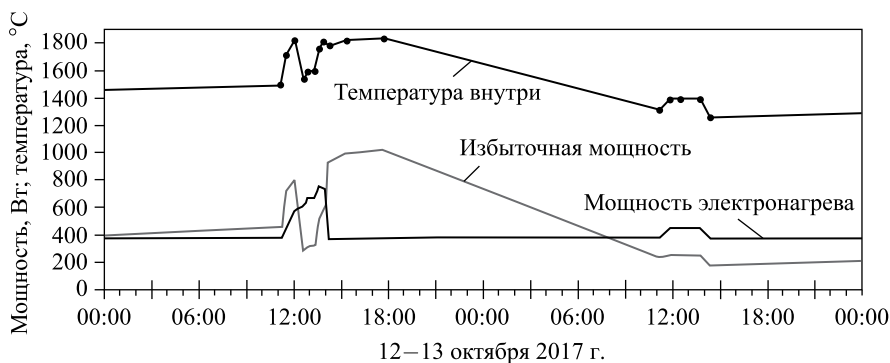


Рис. 20. Температура внутри реактора А. Г. Пархомова и др. через два дня после начала работы установки. Виден существенный саморазогрев реактора в течение около 1 сут выше температуры плавления никеля

Рис. 21 показывает результаты, полученные в процессе длительных испытаний реактора с 14 октября 2017 г. по 12 мая 2018 г.: рис. *a* — температура внутри реактора, мощность электронагрева, избыточная мощность; рис. *b* — коэффициент полезного действия; рис. *в* — давление внутри реактора, за 0 принято атмосферное давление.

Анализ элементных и изотопных изменений в топливе и конструкционных материалах после окончания эксперимента группой А. Г. Пархомова был

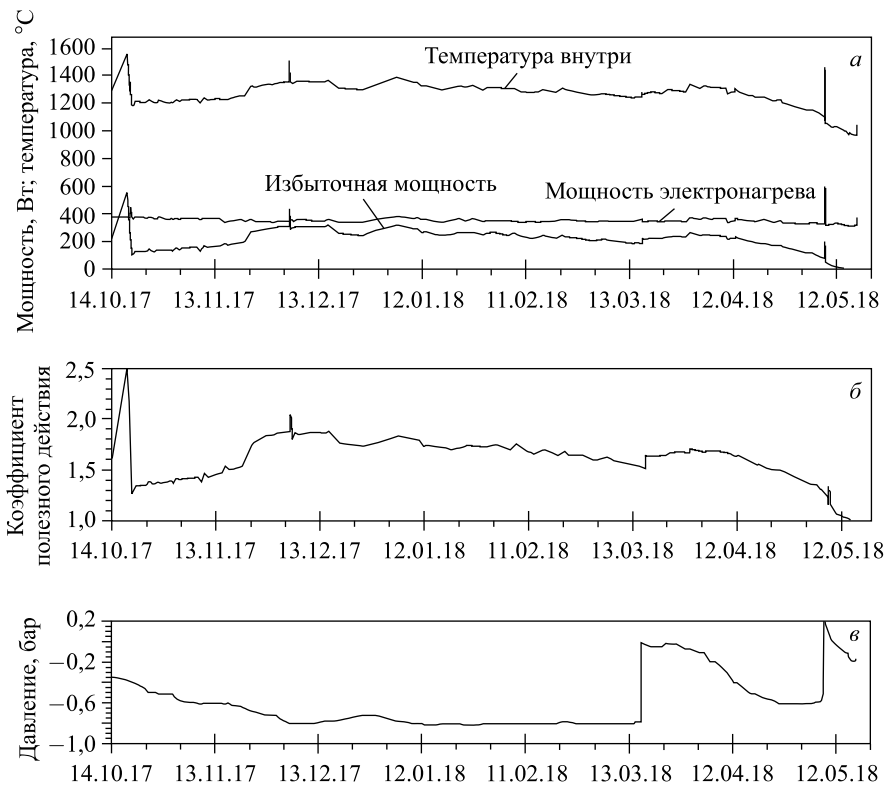


Рис. 21. Результаты, полученные в процессе длительных испытаний установки А. Г. Пархомова и др.: а) температура внутри реактора, мощность электроннагрева, избыточная мощность; б) коэффициент полезного действия; в) давление внутри реактора

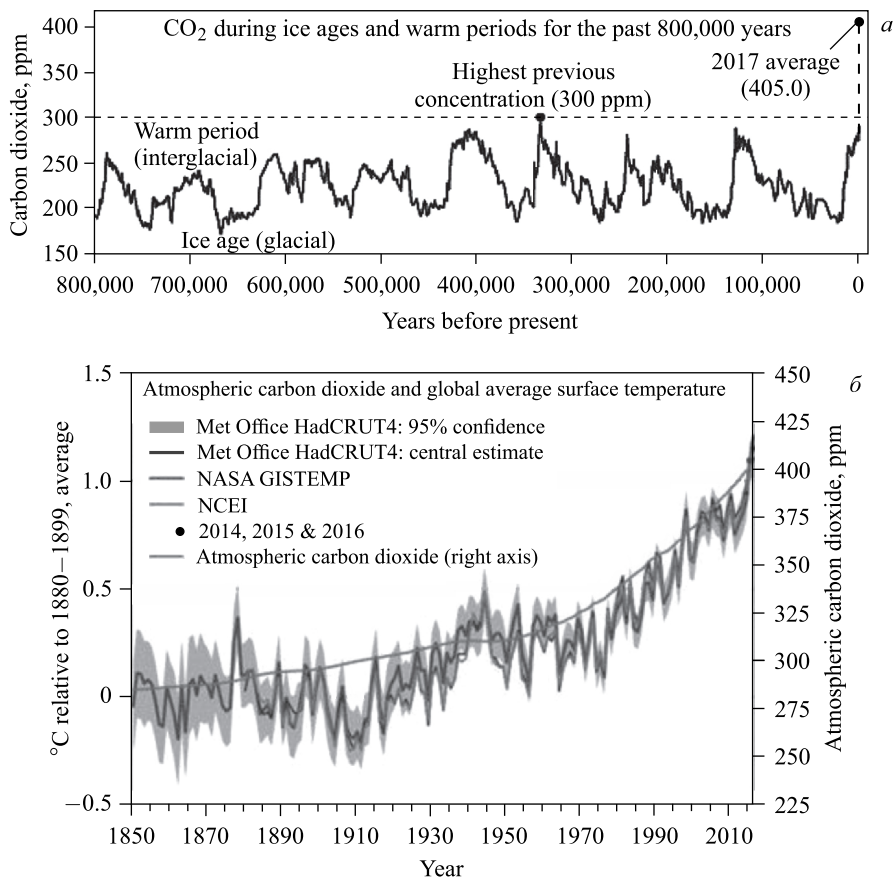
выполнен в НИЦ «СИНТЕЗТЕХ», ООО «АМТЕРТЕК», Университете г. Упсала, Швеция. Осуществлены:

- 1) метод XRF — рентгенофлуоресцентная спектроскопия, которая позволяет определить элементный состав «пепла»;
- 2) метод ICP-MS — масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, позволяющая определить изотопный состав «пепла».

В конце эксперимента было обнаружено много элементов, которые практически отсутствовали в топливе и строительных материалах. Особенно много появилось кальция. Во внутренней керамической трубе содержание кальция достигало 23 % при начальном содержании около 1 %.

Значительных изменений в изотопном составе никеля в этом эксперименте группы А. Г. Пархомова не было обнаружено.

Оптимизация конструкции, использование более теплостойких конструкционных материалов и надежное уплотнение позволили в этом эксперименте добиться 7-месячного срока эксплуатации никель-водородного реактора с избыточной мощностью до 1 кВт (тепловой коэффициент до 3,6), 1 г никеля обеспечивал выделение избыточного тепла около 4100 МДж. Такая энергия выделяется при сгорании 100 л нефтепродуктов.



Source: Data from Met Office, NASA and the US National Centres for Environmental Information (NCEI).

Notes: The 1880–1899 period is used as a common “pre-industrial” baseline to allow the three datasets to be compared. Circles showing the temperatures for 2014, 2015 and 2016 are the average of the three datasets. Atmospheric carbon dioxide before 1958 is from ice core data (Law Dome, East Antarctica), and from 1959 as measured by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) at Mauna Loa, Hawaii.

Рис. 22. а) Температура атмосферы Земли за длительный период; б) корреляция температуры атмосферы с выбросом CO₂ с 1850 г. по настоящее время

Авторы эксперимента отмечают, что в ходе процессов, протекающих в никель-водородных системах, ими обнаружены изменения элементного состава вещества. Изотопные изменения в никеле были незначительными.

Уровень ионизирующего излучения при работе реактора группы А. Г. Пархомова существенно не превышал фоновых показателей. Плотность нейтронного потока не превышала $0,2 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Авторы работы полагают, что большое выделение энергии при малой массе топлива и компактность никель-водородных реакторов в сочетании с отсутствием вредных химических и радиоактивных отходов и радиации открывают принципиально новые перспективы для использования их в энергетике, промышленности, на транспорте и в коммунальном хозяйстве.

7. ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

В настоящее время человечество для своего дальнейшего существования вынуждено непрерывно наращивать выработку энергии. Запасы химического топлива быстро иссякают, не говоря уже о так называемом парниковом эффекте, вызванным накоплением углекислого газа в атмосфере Земли и быстро приводящем к глобальному потеплению. На рис. 22, *а* и *б* представлены данные по корреляции между количеством сжигаемого химического топлива в мире и средней температурой атмосферы нашей планеты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компактные устройства холодного синтеза могут быть успешно использованы на кораблях, самолетах, в ближнем и дальнем космосе.

Переход при выработке энергии от сжигания углеводородов к «холодному» ядерному синтезу открывает человечеству практически неограниченную энергетическую свободу.

Благодарности. Автор выражает благодарность профессору С. Б. Дабагову, доктору В. М. Головатюку, профессору М. Д. Бавижеву, профессору А. М. Таратину, доктору Н. И. Зимину, доктору О. В. Синягину и Е. Э. Кашигиной за помощь и ценные обсуждения, особую благодарность своей жене Н. А. Цыгановой за ее стимулирующие идеи и бескомпромиссную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я. Б. // Докл. АН СССР. 1954. Т. ХСV, № 3. С. 493–496.
2. Alvarez Luis W. et al. // Phys. Rev. Ser. II. 1957. V. 105. P. 1127–1128.
3. Gershtein S. S., Petrov Yu. V., Ponomarev L. I. // Sov. Phys. Usp. 1990. V. 33, No. 8. P. 591–615.

4. *Fleischmann M., Pons S., Anderson M. W., Li L. J., Hawkins M.* // *Electroanal. J. Chem.* 1990. P. 287–293.
5. *McKubre M. C. H., Tanzella F. L., Dardik I., El-Boher A., Zilov T., Greenspan E., Sibilia C., Violante V.* // *Low-Energy Nuclear Reactions Sourcebook. ACS Symp. Ser. 998.* Oxford: Oxford Univ. Press, 2008. P. 219.
6. *Tsyganov E. N. et al.* // *J. Condens. Mater. Nucl. Sci.* 2015. V. 17. P. 96–110.
7. *Tsyganov E. et al.* // *Nucl. Instr. Meth. B.* 2015. V. 355. P. 333–339.
8. *Tsyganov E. et al.* // *Nucl. Instr. Meth. B.* 2013. V. 309. P. 95–104.
9. *Winter M.* <http://winter.group.shef.ac.uk/orbitron/AOs/2p/wave-fn.html>.
10. *Lemaitre S. et al.* // *Ann. Phys.* 1993. V. 2. P. 503.
11. *Raiola F. for the LUNA Collab., Burchard B., Fulop Z. et al.* // *Eur. Phys. J. A.* 2006. V. 27. P. 79.
12. *Tsyganov E. N.* // *Phys. At. Nucl.* 2012. V. 75, No. 2. P. 153–159,
Цыганов Э. Н. // *ЯФ.* 2012. Т. 75, № 2. С. 174–180.
13. *Szpak S. et al.* SPAWAR Systems Center-Pacific Pd: D Co-Deposition Research: Overview of Refereed LENR Publications // ICCF-14 Intern. Conf. on Condensed Matter Nuclear Science, Washington, DC, 2008.
14. *Feynman R. P.* QED — The Strange Theory of Light and Matter. Princeton Univ. Press, 1985.
15. <http://brillouinenergy.com>
16. *Wang B. et al.* Change of the ${}^4\text{Be}_7$ Electron Captures Half-Life in Metallic Environments // *Eur. Phys. J. A.* 2006. V. 28. P. 375–377.
17. *Raciti G., Cardella G., De Napoli M., Rapisarda E., Amorini F., Sfienti C.* Experimental Evidence of ${}^2\text{He}$ Decay from ${}^{18}\text{Ne}$ Excited States // *Phys. Rev. Lett.* 2008. V. 100. P. 192503.
18. *Rossi A.* United States Patent No. US 9,115,913 B1. Aug. 25, 2015, “Fluid Heater”, Leonardo Corporation.
19. *Levi G. et al.* Indication of Anomalous Heat Energy Production in a Reactor Device Containing Hydrogen Loaded Nickel Powder. <http://arxiv.org/abs/1305.3913> v3.
20. *Tsyganov E. N., Dabagov S. B., Bavizhev M. D.* Cold Fusion Continues // XI Междунар. науч. конф. «Химия твердого тела: наноматериалы, нанотехнологии», Ставрополь, Россия, 22–27 апреля 2012 г.
21. *Пархомов А. Г., Жигалов В. А., Забавин С. Н., Соболев А. Г., Тимербулатов Т. Р.* Никель-водородный реактор, непрерывно проработавший 7 месяцев // Программа и тезисы 25-й Рос. конф. по холодной трансмутации ядер, Адлер, Сочи, Россия, 1–8 окт. 2018 г.