

P4-2004-68

Ф. А. Гареев¹, И. Е. Жидкова, Ю. Л. Ратис²

ВЛИЯНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ
АТОМОВ НА СКОРОСТЬ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

Направлено в журнал «Прикладная физика»

¹E-mail: gareev@thsun1.jinr.ru

²Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С. П. Королева, Самара

Гареев Ф. А., Жидкова И. Е., Ратис Ю. Л.

P4-2004-68

Влияние возбуждения и ионизации атомов
на скорость ядерных процессов при низких энергиях

Мы пришли к заключению, что холодная трансмутация ядер возможна в рамках современной физической теории — возбуждение и ионизация атомов и универсальная резонансная синхронизация ответственны за это явление. Изучение этого явления требует знаний в различных областях науки: ядерной и атомной физике, химии и электрохимии, физике конденсированных сред и твердого тела. Результаты исследований в этих областях могут обеспечить новыми источниками энергии, веществ и технологий.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Gareev F. A., Zhidkova I. E., Ratis Yu. L.

P4-2004-68

Influence of Excitation and Ionization of the Atoms
on the Velocity of Nuclear Processes at Low Energies

We have concluded that cold transmutation of nuclei is possible in the framework of the modern physical theory — excitation and ionization of atoms and universal resonance synchronization principle are responsible for it. Investigation of this phenomenon requires knowledge of different branches of science: nuclear and atomic physics, chemistry and electrochemistry, condensed matter and solid state physics. The results of this research field can provide a new source of energy, substances and technologies.

The investigation has been performed at the Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

1. ВВЕДЕНИЕ

Профессор физики Политехнической школы в Париже Антуан Анри Беккерель доложил в Академии наук (24 февраля 1895 г.) [1], что его исследования подтверждают гипотезу Пуанкаре. Анри Пуанкаре, описывая X-лучи Вильгельма Конрада Рентгена [2], выдвинул гипотезу, что X-лучи, возможно, связаны с фосфоресценцией [3]. А. Беккерель исследовал способность кристаллов под действием солнечного света испускать проникающее излучение: он помещал различные кристаллы после воздействия на них солнечного света на фотографические пластинки, завернутые в темную бумагу. Он использовал соли урана $K_2[UO_2(SO_4)_2](H_2O_2)$, хорошо известные фосфоресцирующие соли. В те дни в Париже стояла пасмурная погода и А. Беккерель проявил свои фотографические пластинки, которые находились в свинцовом контейнере, в полной темноте, без экспозиции кристаллов светом. Однако пластинки были засвечены. Ошибочная гипотеза и плохая погода в Париже привели к открытию явления радиоактивности (супруги Кюри присвоили название этому явлению — «радиоактивность») и позже к Нобелевской премии. Таков общепринятый исторический сценарий открытия радиоактивности [4].

Однако кажется, что здесь пока что нет полной ясности. А. Вроблевский [5] пишет о том, что один из пионеров фотографии француз К. де Сент-Виктор в 1867 г. заметил, что люминесцентные соли урана вызывают некоторую затуманенность (fogging) фотографических пластинок, даже если поместить несколько слоев бумаги между фотографической пластинкой и солью урана. Эти результаты были напечатаны в нескольких публикациях, включая книгу Эдмонда Беккереля 1868 г. издания [6], известного физика и отца А. Беккереля. В то время А. Беккерелю было 16 лет, так что он мог знать результаты де Сент-Виктора. Хотя эти результаты были забыты [7] в начале прошедшего века, тем не менее сейчас уже на них ссылаются [5, 8] в связи с 100-летием открытия явления радиоактивности.

Мы пытались понять, как совершаются великие открытия. Обычно говорят, что число научных открытий, совершенных случайно, ничтожно малое. Сейчас мы привели пример, когда невозможно решить, было ли величайшее открытие фундаментального явления радиоактивного распада случайным или детерминированным процессом познания природы. Но любой пример не является доказательством какого-то принципа. Случайно то, детерминированность чего пока что мы не смогли установить.

Оказалось, что радиоактивные ядра испускают излучение трех видов: α -, β - и γ -излучения (подробности см., например, в [9–11]). Основной закон радиоактивного превращения записывается в виде

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.1)$$

где N — число атомов простого радиоактивного вещества, N_0 — значение N при $t = 0$, а λ — характерная для данного вещества постоянная, называемая *постоянной распада* или *радиоактивной постоянной*. Постоянная λ ответственна за вероятность превращения ядра, отнесенную к единице времени, при этом время (период) полураспада радиоактивного элемента

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (1.2)$$

Это означает, что половина наличных материнских радиоактивных элементов превращаются в дочерние элементы всегда в одно и то же время $T_{1/2}$, характерное для данного элемента.

В течение более 50 лет после открытия явления радиоактивности общепринятым положением было утверждение, что постоянная распада λ не зависит от всех физических и химических условий и является характеристической величиной. Поскольку чрезвычайно интересно проследить за изменениями интерпретации фундаментального явления радиоактивности, приведем цитаты патриархов основателей физики радиоактивности атомных ядер.

В классической книге Резерфорда, Чэдвика и Эллиса [12] утверждается, что «the value of λ (the decay constant) for any substance is a characteristic constant independent of all physical and chemical conditions».

Мария Кюри (см. [9], с. 182, перевод с последнего французского издания *M^{me} Pierre Curie, Radioactivite, 1935*): «Наиболее поразительной особенностью радиоактивных постоянных является их независимость от внешних условий. До настоящего времени не обнаружено достоверно случаев, в которых постоянные распада подвергались бы влиянию этих условий. Поэтому постоянные распада λ , как это указывал Пьер Кюри, являются эталонами времени».

Итак, классики явления радиоактивности доказали [9, 12, 13], что постоянные распада λ являются характерными константами вещества, неизменными

во времени. Это означает, что постоянные распада радиоактивных веществ не зависят от давления, температуры, концентрации, химического состояния и внешних полей. Априори ясно, что классики доказали ожидаемый ими результат: они считали, что радиоактивный распад есть свойство самого ядра и зависит только от его внутреннего состояния*, а любое вышеназванное низкоэнергетическое внешнее воздействие на вещество вызывает изменение, в первую очередь, состояния атома, но не ядра.

Это допущение ведет к экспоненциальному закону (1.1) радиоактивного распада [11]. (Сейчас уже серьезно обсуждается вопрос о суточной и годовой периодичности постоянных распада λ для бета- и альфа-радиоактивности, см. ниже.)

Радиоактивные ядра нейтральных атомов подвергали воздействию высоких и низких давлений, температур, магнитных полей, помещали в центробежные поля с ускорением, превосходящим g в 20 000 раз — скорость радиоактивного распада изменить каким-нибудь внешним воздействием не удастся, наблюдаемые эффекты меньше 1% [19]. Действительно, типичные энерговыделения при радиоактивном распаде ядер — миллионы эВ, а при сгорании органических веществ — несколько эВ. Разница в энерговыделениях в миллионы раз, так что в свете современных представлений неизменность скорости радиоактивного распада от низкоэнергетических внешних воздействий, составляющих, как правило, величины от нескольких эВ до нескольких кэВ, обусловлена огромными разницеми масштабов энергии. Следовательно, по современным представлениям при таких внешних воздействиях не может происходить и трансмутация ядер.

В этой работе мы показываем, что холодный ядерный синтез и низкоэнергетическая трансмутация ядер возможны в рамках современной физики, и предлагаем новую разновидность естественной радиоактивности. Целью настоящей работы является качественный анализ энергетически слабых процессов, имеющих важное значение для физики, астрофизики и технологии переработки ядерных отходов, но на сегодняшний день малоизвестных и недостаточно подробно описанных в научной литературе. В этой работе мы особое внимание обращаем на то, как меняются свойства ядра в нейтральном атоме, в частично ионизированном атоме и в голем ядре — полностью ионизированном атоме. Мы приходим к выводу о возможности управления скоростями ядерных процессов при низких энергиях.

*Любые результаты, противоположные вышеописанным, немедленно отвергались [14–16]. М. Кюри и Камерлинг Оннес [17] пришли к выводу, что постоянная распада радия меняется на 0,05% при изменении температуры от комнатной до точки кипения жидкого водорода. Резерфорд и Петавел [18] положили эманацию радия внутрь бомбы со стальной оболочкой, при ее взрыве были достигнуты температура до 2500 °С и давление до 1000 атм, тем не менее изменение радиоактивности не было замечено.

2. ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ НА ВРЕМЯ ЖИЗНИ РАДИОАКТИВНЫХ АТОМОВ

В 1947 г. Э.Сегре [20] и, независимо от него, Р.Додель [21] предположили, что константа радиоактивного распада для ядер, распадающихся с поглощением орбитального электрона, может быть изменена путем помещения этих ядер в различные химические соединения. Они предложили использовать ${}^7\text{Be}$ в виде металла и химического соединения и сравнить соответствующие времена полураспада. Дело в том, что вероятность P такого распада ядер пропорциональна квадрату волновой функции электрона в месте нахождения ядра:

$$P \propto |\psi_e(R)|^2. \quad (2.1)$$

Это означает, что вероятность захвата ядром электрона определяется плотностью распределения электронов в ядре. Превращения и столкновения ядер почти всегда связаны с нарушением состояний электронной оболочки атома. Совершенно ясно, что электронный захват или внутреннюю конверсию γ -лучей невозможно представить себе без ионизации внутренних оболочек атома. Возможно испускание, в принципе, и поглощение γ -квантов ядром без изменения состояния атома. В радиоактивных процессах (например, β - и α -распад), связанных с изменением заряда ядра, электроны атомной оболочки перестраивают свое состояние, соответствующее новому заряду ядра.

Приведем цитату из монографии ([22], с. 218): «За последние десять лет получены убедительные доказательства того, что вероятность таких процессов, как электронный захват или внутренняя конверсия γ -лучей, зависит от состояния электронных оболочек распадающихся атомов. Этого и следовало ожидать, так как необходимым условием возможности указанных переходов является наличие атомных электронов».

В работах [23–25] было предложено рассматривать ядерные и сопутствующие им атомные процессы как единый процесс, где были проведены расчеты движения β -частиц в комбинированном поле ядра и атомных электронов. Строгое физическое и математическое решение этой задачи все еще не проведено. Обзор экспериментальных и теоретических исследований о влиянии химических и атомных структур на скорости ядерных превращений представлен в работах [19, 22, 26]. К сожалению, более поздних обзорных работ на эту тему мы не нашли.

В качестве примера рассмотрим зависимость константы распада ядра ${}^7\text{Be}$ от химического соединения. Согласно формуле (2.1), вероятность захвата орбитального электрона ядром пропорциональна $|\psi_e(R)|^2$. Когда ядро полностью оголено, вероятность его распада с захватом электрона равна нулю. В других случаях вероятность захвата данного электрона ядром определяется его вкладом в $|\psi_e(R)|^2$. Другими словами, она должна зависеть от химической структуры соединений и агрегатного состояния вещества.

В работе [22] утверждается, что постоянная электронного захвата ядром нейтрального атома ${}^7\text{Be}$ превышает постоянную распада дважды ионизированного атома ${}^7\text{Be}^{++}$ (расчеты проведены в приближении Хартри)*:

$$\frac{\lambda({}^7\text{Be}) - \lambda({}^7\text{Be}^{++})}{\lambda({}^7\text{Be})} = 2,6 \cdot 10^{-2}. \quad (2.2)$$

Для проверки этого утверждения необходимо хранить долгое время дважды ионизированные атомы бериллия, что не так просто. В работах [20, 21] для сравнения констант распада бериллия было предложено использовать различные его химические соединения. Для сравнения малых разностей констант распада двух источников Резерфорд [12] разработал простой метод: он помещал сравниваемые источники в две одинаковые, соединенные между собой камеры и по величине разности тока определял $\Delta\lambda$.

Ниже в табл. 1 приведены экспериментальные данные констант распада для ${}^7\text{Be}$ в различных химических соединениях. Измерения проводились по методу Резерфорда [12]. Итак, экспериментальные данные подтверждают ожидание, что константа распада металлического бериллия больше, чем константа распада бериллия в химических соединениях, при этом константа распада ядра зависит от степени ионизации атома:

$$\lambda(\text{Be}) > \lambda(\text{BeO}) > \lambda(\text{BeF}_2), \quad \lambda(\text{Be}) > \lambda(\text{Be}^+) > \lambda(\text{Be}^{++}).$$

Вычисленные значения $\Delta\lambda$ отличаются от экспериментальных на порядок (см. формулу (2.2) и табл. 1). В обзорных работах [19, 22, 26, 33–36] приведены результаты многочисленных экспериментальных исследования о влиянии химических структур (ионизации) на константы распада для электронов внутренней конверсии и для захвата электронов ядрами и в общем такое влияние пренебрежимо мало ($\Delta\lambda/\lambda \approx 0,1\%$)**. Однако следует помнить, что изменение скорости радиоактивного распада обусловлено не только изменением степени ионизации, но также изменением агрегатного состояния вещества, особенностями кристаллической структуры и т.п.

Ожидалось, что γ -переходы в ядре должны быть чувствительны к присутствию электронов атома. Типичные результаты [38, 39] для 44 кэВ $E2$ ${}^{238}\text{Pu}$ и 18,5 кэВ $E3$ ${}^{124}\text{Sb}$ равны 0,04 и 0,017 % соответственно.

*Ядро изотопа ${}^7\text{Be}$ распадается с поглощением электрона и излучением нейтрино с периодом полураспада $T_{1/2} = 53,5$ сут, причем 90 % распада идет на основное состояние ${}^7\text{Li}$ и 10 % на возбужденное состояние ${}^7\text{Li}$, которое распадается с испусканием γ -кванта с энергией 478 кэВ.

**Однако наблюдается иногда и заметное влияние химических структур на константы распада. Например, в работе [37] исследовался распад ($T_{1/2} = 24$ с) изомера ${}^{90m}\text{Nb}$, энергия перехода изомерного состояния в основное $\approx 0,2$ кэВ или < 2 кэВ. Внутренняя конверсия происходит в N - и O -оболочках, которая изменяется химической структурой на 3,6 %.

Таблица 1. Измеренные константы распада ^7Be в различных химических соединениях

Исходные пары	Ссылка	Результат ($\times 10^{-3} \lambda$)
$\lambda(\text{Be}) - \lambda(\text{BeO})$	[27]	$0,15 \pm 0,09$
	[29]	$0,131 \pm 0,05$
$\lambda(\text{BeO}) - \lambda(\text{BeF}_2)$	[28]	$0,69 \pm 0,03$
	[29]	$0,609 \pm 0,055^a$
	[32]	$0,130 \pm 0,58^b$
$\lambda(\text{Be}) - \lambda(\text{BeFe}_2)$	[29]	$0,741 \pm 0,047^a$
	[30]	$1,2 \pm 0,1^b$
$\lambda(\text{BeS}) - \lambda(\text{Be})$	[31]	$0,53 \pm 0,06$
$\lambda(\text{BeO}) - \lambda(\text{BeBr}_2)$	[32]	$1,472 \pm 0,053$
$\lambda(\text{BeO}) - \lambda(\text{Be}(\text{C}_5\text{H}_5)_2)$	[32]	$0,795 \pm 0,074$
$\lambda(\text{Be}^{2+}(\text{OH}_2)_4) - \lambda(\text{BeO})$	[32]	$0,374 \pm 0,077$
$\lambda(\text{Be}_4\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6) - \lambda(\text{BeO})$	[32]	$0,724 \pm 0,057$
$\lambda(\text{Be}^{2+}(\text{OH}_2)_4) - \lambda(\text{Be}(\text{C}_5\text{H}_5)_2)_2$	[32]	$1,169 \pm 0,106$
$\lambda(\text{Be}_4\text{O}(\text{CH}_3\text{COO})_6) - \lambda(\text{BeF}_2)$	[32]	$1,852 \pm 0,082^b$
<i>Примечание: $^a\text{BeF}_2$ в гексагональной форме; $^b\text{BeF}_2$ в аморфной форме.</i>		

И наконец, Р. Спектор [40] приходит к выводу, что существующие экспериментальные данные не дают достаточных оснований для предположения о постоянстве константы радиоактивного распада в зависимости от времени.

В этом разделе мы представили краткий обзор (период 1896–1970 гг.) основных результатов экспериментальных исследований зависимости константы радиоактивного распада λ от физико-химических условий.

В указанный период экспериментальные возможности были таковы, что степень ионизации атомов определялась валентностью атомов, т. е. ее максимальное значение могло быть 7^+ , что накладывало серьезные ограничения на экспериментальные исследования. Шестидесятые годы стали свидетелями открытия многих новых элементарных частиц, что привело к оттоку многих ученых в эту область исследований и свертыванию работ по ядерным процессам при низких энергиях. В истории физики элементарных частиц высокая энергия становилась ключом к новым открытиям, поэтому началось строительство дорогих ускорителей для ускорения частиц до сверхвысоких энергий и соответствующей аппаратуры.

Отметим, что физика частиц основана на использовании ускорителей, т. е. исследуется взаимодействие частиц в вакууме, так что влияние окружающей среды здесь сведено к минимуму.

Большинство экспериментальных исследований при низких энергиях проводятся на миниатюрных дешевых установках, когда небольшая группа ученых сами собирают свою установку и сами же проводят на ней свои исследования, как это было в 18 веке и в начале 19 века, но с использованием компьютеров и достижений современных технологий. Это приводит к достижению высоких точностей измерений и новой физике. Как пример рассмотрим β -распад ^{187}Re [41]. В измерениях с лучшим разрешением проявляется периодическая структура, связанная с кристаллической структурой ^{187}Re . Итак, ядро + атом + кристалл ^{187}Re здесь выступают как единое целое.

3. «МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ КВАНТОВАНИЕ»

В этом разделе мы кратко изложим необычные результаты, полученные в лаборатории С.Э. Шноля на протяжении более чем 40 лет [42–46]. Авторы исследовали общие закономерности распределения результатов измерения различных процессов и пришли к выводу, что существует «макроскопическое квантование» измеряемых случайных величин независимо от методов измерения и для процессов принципиально разной физической природы [46]:

«При любых последовательных измерениях процессов любой природы вследствие флуктуаций получают последовательность дискретных величин. Некоторые из этих величин встречаются существенно чаще других — наблюдаются разрешенные и запрещенные состояния макроскопических объектов. На соответствующих гистограммах видны экстремумы — пики и впадины. Форма спектра разрешенных и запрещенных состояний — относительные величины расстояний между уровнями, степень их заселенности — сходна в каждый момент для процессов разной природы и изменяется с высокой вероятностью в разных процессах, в том числе при больших расстояниях между лабораториями. Существует время жизни данной формы гистограмм — в ряду последовательных гистограмм с наибольшей вероятностью данная гистограмма сходна с ближайшими соседними гистограммами. Формы гистограмм с высокой вероятностью повторяются с периодом 24 часа, около 27 суток, около 365 суток. Все это (закономерное изменение формы последовательных во времени гистограмм, их сходство при одновременных независимых измерениях процессов разной природы, в том числе в разных географических пунктах) свидетельствует о существовании весьма общей космофизической (космогонической) причины обсуждаемого феномена».

По аналогии можно предположить, что постоянные радиоактивного распада не являются эталонами времени вопреки гипотезе Пьера Кюри.

Нужно признать, что все еще результаты группы С. Э. Шноля мало известны физикам, они уникальны в том смысле, что других работ на эту тему мы не нашли и нет никаких объяснений или гипотез.

Приведем заключение рецензента обсуждаемой статьи Д. С. Чернавского [47]:

«Отсюда следуют два вывода:

1. Гистограммы С. Э. Шноля содержат новую информацию о характере случайного процесса, о которой раньше никто не задумывался.

2. Постулат измерения в квантовой механике, по меньшей мере, не полон. Действительно, когда мы говорим, что α -распад происходит случайно, так, что вероятность застать и т. д., необходимо уточнить, какого характера эта случайность и какого типа хаос лежит в ее основе. Без этого уточнения мы теряем возможность предсказывать ряд наблюдаемых явлений.

Отсюда ясно значение первого явления, описанного в статье.

Второе явление связано с периодическим изменением тонкой структуры гистограмм. Показано, что тонкие структуры гистограмм весьма различных процессов (физических, химических, биологических и т. д.) СХОДНЫ друг с другом и изменяются СИНХРОННО (выделено нами). Более того, их периодические изменения коррелируют с изменениями в Солнечной системе нашей Галактики и, возможно, в нашей Вселенной. Для оценки значения этого явления необходимо сперва разобраться в причинах и механизме возникновения первого явления».*

Заметим, что в работах С. Э. Шноля речь шла о случайных процессах при малых энергиях (от долей эВ до нескольких МэВ) и об открытии ранее неизвестного явления макроквантования во времени с периодом 24 часа, 27 и 365 суток при одновременных независимых измерениях процессов разной природы, причем тонкие структуры гистограмм подобны и изменяются синхронно. Абсолютные расстояния (в единицах измеряемых параметров разных процессов) могут изменяться с сохранением подобия формы соответствующих гистограмм, другими словами, форма гистограмм инвариантна.

Ниже мы представим результаты экспериментальных исследований ядерных процессов при низких энергиях, где роль среды и резонансные эффекты среды и ядра, а также β -распад в связанные состояния атома являются доминирующими ингредиентами изучаемых процессов.

4. ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

Существует еще одно направление ядерного синтеза — ядерный синтез в отсутствие высокоэнергетических воздействий. По-видимому, первое наблю-

*Это и есть проявление универсального принципа резонансной синхронизации, см. ниже.

дение образования гелия из водорода электрохимическим путем в нагретой капиллярной трубке палладия произошло в 1926 г. [48]. Авторы этой работы были химиками и не смогли преодолеть атмосферу полного отрицания и непризнания результатов своих исследований ведущими физиками того времени. Они не смогли обосновать их реальность, и эти результаты были зачислены в разряд ошибочных и забыты.

Полное затишье продолжалось 60 лет. В 1986 и 1989 гг. были опубликованы работы [49–52], в которых сообщалось о наблюдении небольшой эмиссии нейтронов при механическом воздействии на кристаллы, содержащие дейтерий. В работе [49] небольшое излучение нейтронов наблюдалось при ударном разрушении монокристаллов LiD, при пластической деформации под давлением содержащих дейтерий твердых тел [51], при изменении температуры и при фазовых переходах в конденсированных средах [52]. И физическое сообщество снова не обратило внимания на эти работы.

Ажиотажный взрыв интереса возник после того, как М. Флейшман и С. Понс на пресс-конференции 23 марта 1989 г. сообщили об обнаружении ими нового явления в науке, известного сейчас как холодный ядерный синтез при комнатной температуре [53]. Они электролитическим путем насыщали палладий дейтерием — электролиз в тяжелой воде с палладиевым катодом, при этом объявили о наблюдении выделения большого количества избыточного тепла и регистрации нейтронов и трития. В этом же году было сообщение об аналогичных результатах в работе [54].

За прошедшее время опубликованы более 3000 статей и предложены ~ 25 теоретических моделей для интерпретации полученных результатов. В этих исследованиях на дейтерированные материалы (обычно палладий или титан) оказывают энергетически слабые воздействия. В этих статьях описаны эксперименты, в которых наблюдаются изменения элементного состава вещества при таких слабых внешних воздействиях, что по современным представлениям теоретической физики не может быть и речи о возможности ядерных реакций. Тем не менее сообщается, что выделяется избыточное тепло, регистрируются эмиссия нейтронов, трития, гелия и элементный состав вещества меняется — эти факты подтверждают счастливицы, кому повезло. Другие не могут получить какие-либо устойчивые результаты — все плывет, малейшие изменения параметров экспериментальной установки приводят к кардинальным изменениям результатов измерений, нет повторяемости. Публиковались и опровержения результатов Флейшмана и Понса.

Поэтому считают, что ахиллесовой пятой исследований холодного ядерного синтеза является плохая воспроизводимость результатов. На сегодняшний день нет ни одной теоретической модели, способной хотя бы качественно объяснить особенности этого процесса (см. критический обзор всех известных теоретических моделей и достаточно полные ссылки на эксперимент в [55–57, 240]).

5. НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ТРАНСМУТАЦИЯ ЯДЕР

Имеется другое направление исследований без использования палладия и дейтерия, в которых сообщается о низкоэнергетической трансмутации атомных ядер химических элементов при различных внешних энергетически слабых воздействиях, при этом одни химические элементы в конденсированных средах превращаются в другие при низких энергиях внешних воздействий. Эти работы выполнены в основном российскими учеными, и их число неуклонно растет. Такая трансмутация ядер наблюдалась в макроскопических количествах ($\approx 10^{19}$ – 10^{20} ядер) при электровзрыве металлических фольг в жидких средах [58–62], ультразвуковой обработке водных солевых растворов [63], плавке циркония в вакууме электронным пучком [64–67], воздействии высокоамперными токами на свинец в мощном магнитном поле [68–70], сонолюминесценции [71–74], облучении материалов ионами в плазме тлеющего разряда [75–77], воздействии мощного лазерного излучения на расплав Al [78], при воздействии электронного пучка на мишени из твердых тел [79]. Сошлемся на опыты Б. В. Болотова [80, 81], в которых пропускаются большие импульсные токи через многокомпонентный расплав, при этом происходит превращения $Zn \rightarrow Ni$ и выделяется энергия ~ 1 МэВ.

Мы хотели бы особо подчеркнуть, что, к примеру, экспериментальные установки В. А. Кривицкого [70] и Б. В. Болотова [80, 81] похожи между собой и чрезвычайно просты: импульсный источник токов выполнен на базе сварочного трансформатора плюс два электрода, размещенных в тугоплавком контейнере.

С. Л. Кервран опубликовал работы [82, 83], в которых описано превращение $Fe \rightarrow Cr$ в опытах по термопрессованию кристалла граната при давлении 5000 МПа и температуре 850 °С.

Поскольку результаты исследований в области холодного синтеза и трансмутации ядер при низких энергиях остаются необъясненными в рамках современной теоретической физики, то статьи по этим вопросам публикуются в труднодоступных и малоизвестных журналах, а сами эти работы проводятся за счет энтузиазма самих исследователей фактически без бюджетного финансирования, что, безусловно, сказывается на их научном уровне. Представление об этих работах можно получить в материалах 1–10-й конференций по холодной трансмутации ядер химических элементов и в «Proceedings of the 1-10th International Conference on Cold Fusion».

Сейчас появились очень интересные публикации [84, 216, 245], в которых содержатся ссылки на работы по трансмутации ядер при малых энергиях, которые были неизвестны нам. В них содержится уникально ценный материал, и ниже приводятся ссылки на оригинальные работы в том виде, в каком они приведены в [84]. В этих работах в качестве внешних возмущений используются электромагнитные воздействия: в [78] — мощное лазерное излучение,

в [85,86] проводят электрический разряд в магнитных и электрических полях, в [88–90] используются мощные наносекундные электромагнитные импульсы и в [91,92] — большие импульсные токи.

Интересно посмотреть на историю трансмутации ядер за период 1900–1930 гг., когда представления о микромире были еще в зачаточном состоянии и запретов на публикации экспериментальных работ по соображениям нарушения принципов ядерной физики не было, поскольку еще не было самой ядерной физики.

Почти во всех этих работах мощный электрический разряд (иногда эманации радия) пропускаться через расплав вещества, или через раствор, или через пары вещества. Создание квантовой теории и осознание огромной разницы (10^4 – 10^5) в энергетических масштабах ядерной энергии и энергии электрического разряда привели сперва к прекращению публикаций результатов подобных исследований, а затем и самих исследований.

Учитывая труднодоступность статей на эту тему, мы приведем отрывки доклада (1971 г.) М. Н. Гайсинского «Псевдооткрытия в истории радиоактивности» (мы не комментируем эти отрывки) [202]:

«В начале Камерон и Рамзай [93] подвергли водные растворы сульфата или очень чистого нитрата меди действию эманации радия и спектроскопически обнаружили образование следов лития и неона и более значительных количеств натрия. Отсюда они сделали заключение, что под действием α -частиц медь разлагается на элементы с меньшим атомным весом. М. Кюри и Е. Гледич повторили эти опыты [94], но предварительно показали, что трудно иметь стеклянную или кварцевую посуду, дистиллированную воду, полностью очищенные от лития. Повторив эксперимент Камерона и Рамзая в платиновой посуде, Кюри и Гледич не смогли обнаружить даже мельчайших следов лития.

В ином направлении действовали между 1924 и 1927 гг. физики и химики, или, если угодно, неоалхимики, которые допускали возможность того, что тяжелые элементы, находящиеся вблизи тяжелых радиоактивных элементов, имеют относительно неустойчивые ядра и могут с легкостью претерпевать искусственные превращения. Так, Смитс и Карсон [95] подвергли тщательно очищенный жидкий свинец, нагретый до 800°C в атмосфере азота, действию электрических разрядов высоких напряжений и большой силы тока в течение нескольких часов. Первоначально соответствовавший чистому свинцу спектр постепенно обогащался линиями ртути, так что полоса 2536 \AA становилась более интенсивной, чем полосы свинца.

С другой стороны, Мите и Штаммрайх [96] использовали лампу из тщательно очищенной, перегнанной ртути, которую они подвергали действию мощных электрических разрядов большой силы тока, но относительно слабого напряжения, в различных условиях: в газовой фазе в чистом виде или в присутствии различных газов (H_2 , CO_2 и т. д.) при разном давлении; в жид-

ком диэлектрике (водная суспензия, эмульсия в парафиновом или трансформаторном масле, CCl_4 , эфире и т. д.), или даже в твердом парафине; дуговым или искровым разрядом, непрерывным или прерывистым, с электродами различной природы; Fe, W, Al и т. д. В отдельных опытах ученые химически обнаружили образование металлического золота, тогда как в других результаты были отрицательными. Максимальное количество образовавшегося золота составляло примерно 1 мг на 1000 г введенной в реакцию ртути. Тот факт, что некоторые результаты были отрицательными, ученые рассматривали как доказательство реального превращения в других случаях, отмечая, таким образом, гипотезу о том, что золото образовывалось из примеси.

Независимо от этих экспериментов, Нагаока в Японии пропускал мощные и очень длительные разряды [97] при высоком напряжении в сосуде из толстостенного фарфора между вольфрамовым и железным электродом и электродом из очищенной ртути, погруженными в парафиновое или трансформаторное масло. Химический анализ черной вязкой массы, получившейся в результате этой операции, обнаружил присутствие не только золота, но даже и серебра. Последнее образовывалось в особенности тогда, когда разряд проходил через капли ртути, падающие в масло.

Превращения $Hg \rightarrow Au$ наблюдал также Гашлер при перегрузке ртутной лампы или облучении паров ртути рентгеновскими лучами [98].

...Опыты Мите и Нагаоки по превращению $Hg \rightarrow Au$ были воспроизведены различными группами ученых в Германии [99, 100], Англии [101], Соединенных Штатах [102], в частности, Ф. Габером с сотрудниками [99], иногда в условиях, которые Мите и Штамрайх считали наиболее благоприятными для успеха операций. Но результаты были всегда отрицательными. Если и находили следы золота или серебра, то они происходили от электродов или используемой ртути. Было, в частности, показано [103], что полное удаление золота перегонкой ртути суть чрезвычайно трудная операция, которую следует вести очень медленно и повторять много раз.

Не менее удивительными были выводы Дебьерна, сделанные им в 1937 г. на основании опытов по адсорбции легких газов при очень низких температурах [104]. После тщательного и очень длительного дегазирования мелкого активированного угля посредством нагревания и охлаждения в жидком воздухе Дебьерн вводил в полученный вакуум малые количества водорода или тщательно очищенного гелия. Измеряя объем испарившегося жидкого воздуха, он пришел к выводу, что количество выделяемого тепла было резко повышенным; это не могло быть объяснено каким-либо химическим или физико-химическим процессом. Ученый, таким образом, предполагал, что имеет место ядерная реакция, которую облегчают особые условия низкой температуры и сильная адсорбция. Аналогичное выделение тепла наблюдалось при адсорбции H и He на Be, He на Mg и т. д. Природа ошибки была понята несколько позже: в отличие от того, что предполагал Дебьерн, в результате очень плохой

теплопроводности тонко измельченного порошка тепло, накопленное в нем во время дегазирования, не выделялось полностью при охлаждении в вакууме, а вносило мощный вклад в испарение жидкого воздуха при введении газа – теплоносителя».

Опубликованные экспериментальные данные имеют много общего, несмотря на то, что были использованы различные внешние воздействия для индуцирования низкоэнергетической трансмутации. Эти эксперименты, если даже предполагать, что они не содержат ошибок, не нашли даже качественного общепринятого объяснения. Если в них поверить, то можно говорить о том, что они сопровождаются:

- холодной трансмутацией химических элементов в макроколичествах;
- излучением неизвестной физической природы, воздействующим на живую материю;
- переходом радиоактивных атомных ядер в стабильные;
- синтезом стабильных изотопов как легких, так и тяжелых ядер;
- выделением избыточной тепловой энергии;
- получением большего количества дополнительного электрического тока по сравнению с тем, что должны были бы давать внешние источники питания установки.

Накопленный экспериментальный материал, если предполагать отсутствие ошибок, позволяет сделать предварительную систематику наблюдаемых явлений и определить основные их характеристики, а именно:

- 1) процессы, сопровождающие холодную трансмутацию ядер, не радиоактивны, включая конечные продукты реакций;
- 2) явления пороговые;
- 3) отчетливо виден резонансный характер известных физических параметров;
- 4) явление ограничено «сверху» по энергетике процесса, другими словами, имеются некоторые критические значения физически наблюдаемых величин (тепла, величины тока, массы взаимодействующих атомных ядер).

Количественный анализ экспериментальных данных по холодной трансмутации ядер позволяет утверждать, что это явление пока не нашло общепринятого объяснения с позиции современного понимания закономерностей микромира. Холодная трансмутация ядер отличается от обычных ядерных реакций тем, что [108]:

- 1) процесс холодной ядерной трансмутации происходит при небольших энергиях (меньше чем 10 кэВ на один синтезированный атом);
- 2) отсутствуют свободные нейтроны;
- 3) отсутствует остаточная радиоактивность, т. е. не синтезируются нестабильные изотопы.

Авторы работы [108] пишут:

«Обратим внимание на тщательно проверенный факт отсутствия остаточной радиоактивности, то есть на отсутствие возбужденных и нестабильных изотопов. Если предположить, что при трансформации происходят столкновения ядер, приводящие к ядерным реакциям, то сталкивающиеся ядра должны обладать достаточной для преодоления кулоновского барьера энергией, и, следовательно, полученные ядра должны образовываться в возбужденном состоянии. Так как в эксперименте не наблюдается остаточной радиоактивности, то это показывает, что трансформация не является совокупностью случайных межъядерных актов».

В работах [105, 106] авторы выдвигали в качестве рабочей гипотезы следующее: внешние воздействия вызывают ионизацию атомов, в результате чего атомы теряют часть своих электронов, и далее уже возможен β -распад на связанные состояния, так что открываются каналы низкоэнергетических превращений ядер, обусловленные слабым взаимодействием. Ионизация атомов и β -распад на связанные состояния являются резонансными процессами по самому определению, так что сечения таких многоступенчатых процессов будут усилены резонансной синхронизацией [107], тем самым весь процесс приобретает когерентный, коллективный характер (заметим, что если атомы, излучающие электроны, образуют молекулы или входят в состав кристалла, то эти электроны из-за взаимодействия с близлежащими атомами образуют стоячие волны. Это приведет к осцилляциям в энергии испущенных электронов, периоды которых определяются межатомными расстояниями — резонанс формы [41]).

6. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Появление лазеров дало новый толчок в исследованиях управления скоростями радиоактивного распада ядер и ядерных реакций с помощью световых излучений (мы благодарны профессору Ю. П. Гангрскому за предоставление нам неопубликованных лекций — «Воздействие лазерного излучения на скорости ядерных процессов»). Энергия лазерного излучения не превышает нескольких эВ, что на много порядков ниже требуемых для ядерных реакций. Когерентность, монохроматичность, направленность и интенсивность лазерного излучения в ряде случаев позволяют эффективно воздействовать на ядро (подробности в лекции Ю. П. Гангрского и в [109, 110]).

Известно, что целый ряд процессов в ядре происходит с участием электронных оболочек атомов: электронный захват, внутренняя конверсия γ -излучения и β -распад [111, 112]. Ниже мы покажем, что возбуждение и ионизация атомов могут служить ключом к управлению скоростями радиоактивного распада ядер и ядерных реакций, поскольку различные превращения энергии в электронной оболочке атома могут оказать воздействие на ядро.

Бета-распад ядер (β -распад) — один из трех основных типов радиоактивности и наиболее полно исследованное проявление фундаментального слабого взаимодействия. Основы теории β -распада созданы в 1934 г. Э. Ферми [113], исчерпывающую информацию можно найти в обзорах и учебниках [114–118].

Возможны следующие процессы:

$$A(Z, N) \rightarrow A(Z + 1, N - 1) + e^- + \bar{\nu}_e, \quad (6.1)$$

$$A(Z, N) \rightarrow A(Z - 1, N + 1) + e^+ + \nu_e, \quad (6.2)$$

$$e^- + A(Z, N) \rightarrow A(Z - 1, N + 1) + \nu_e, \quad (6.3)$$

$$\nu_e(\bar{\nu}_e) + A(Z, N) \rightarrow A(Z \pm 1, N \mp 1) + e^-(e^+), \quad (6.4)$$

$$A(Z, N) \rightarrow A(Z \pm 2, N \mp 2), \quad (6.5)$$

где символ $A(Z, N)$ обозначает ядро A с числом протонов Z и нейтронов N . Первый процесс — это процесс превращения одного из нейтронов ядра в протон с испусканием электрона и антинейтрино, второй — один из протонов ядра превращается в нейтрон с испусканием позитрона и нейтрино, третий — захват электрона с K -оболочки атома*, четвертый — обратный β -распад и пятый — двойной β -распад с испусканием двух β -частиц и нейтринной пары либо без испускания нейтрино (обсуждаемая в литературе гипотеза).

Возможность β_b -распада на связанные электронные состояния дочернего атома, сопровождаемого эмиссией монохроматического антинейтрино, была предсказана в работе [119] и детально обсуждена в [120–122]. Для нейтральных атомов β_b -распад на связанные состояния играет второстепенную роль по сравнению с β_c -распадом на электронные состояния непрерывного спектра. Он может стать доминирующим каналом для сильноионизированных атомов, которые существуют в звездной плазме при ядерном синтезе. Важность β_b -распада на связанные состояния в астрофизике, в особенности для s -процесса и для космохронологии, были подчеркнуты в нескольких работах [123–126].

Эксперименты с сильноионизированными пучками ионов $^{57}\text{Fe}^{q+}$ ($q = 19 - 25$) при 6 МэВ/А и [127] $^{125}\text{Te}^{q+}$ ($q = 46 - 48$) при 27 МэВ/А [128] демонстрировали изменения периода полураспада ядерных уровней из-за влияния электронных конфигураций атома на каналы внутренней конверсии, возбужденных кулоновским полем сталкивающихся ядер. Период полураспада ядерных уровней для сильноионизированных атомов увеличивается от 10 до 670 %.

В работе [129] сообщается о драматическом увеличении от 2,8 до 33 раз периода полураспада изомерных ядерных состояний полностью ионизированных атомов $^{144m}\text{Tb}^{65+}$, $^{149m}\text{Dy}^{66+}$ и $^{151m}\text{Eu}^{68+}$ по сравнению с нейтральными атомами, в особенности для атомов с сильными каналами внутренней

*Включая захват электронов с L -, M -, N -, ... оболочек атома.

конверсии. Этот факт объясняется тем, что в голем ядре без электронов каналы внутренней конверсии и каналы поглощения электрона закрыты. Необходимо заметить, что такое сильное увеличение периода полураспада изомерных состояний голых ядер никогда не было замечено ранее. В работе [130] авторы приходят к выводу, что если энергия распада изомерного ядерного состояния меньше, чем энергия возбуждения электрона из K -орбиты в непрерывный спектр, то может открываться новый канал распада — возбуждение высоколежащих связанных состояний электрона.

При β_b -распаде на связанные электронные состояния электрон садится на связанные состояния, так что это процесс двух тел, тогда антинейтрино уносит всю выделяемую энергию Q . Впервые [131] β_b -распад на связанные состояния наблюдался для ядра ${}^{163}_{66}\text{Dy}$. Это ядро стабильное, как нейтральный атом ($Q_\beta = -2,565$ кэВ), однако полностью ионизированное ядро ${}^{163}_{66}\text{Dy}^{66+}$ распадается на ${}^{163}_{67}\text{Ho}^{66+}$ с периодом полураспада 47 дней ($Q_{\beta_b}^K = 50,3$ кэВ).

В нейтральных атомах ${}^{163}\text{Ho}$ происходит захват электронов с M - и более высоких оболочек с переходом в ${}^{163}\text{Dy}$. Ионизация атомов ${}^{163}\text{Ho}$ вплоть до этих оболочек делает невозможным электронный захват, и ионизированные ядра ${}^{163}\text{Ho}$ становятся стабильными, а полностью ионизированные атомы ${}^{163}\text{Dy}^{66+}$ через β -распад на связанные состояния переходят в ${}^{163}\text{Ho}^{66+}$. Следовательно, можно управлять направлением ядерных превращений путем ионизации атомов в этой цепочке посредством β -распадов.

В [105] предлагается следующий сценарий трансмутации долгоживущих радиоактивных ядер (ядерных отходов): ионизировать атомы долгоживущих радиоактивных ядер до открытия канала ускоренного β -распада их ядер под воздействием электромагнитного облучения и удерживать в ионизированном состоянии до перехода материнских ядер в дочерние короткоживущие или стабильные. Это позволяет провести эффективную переработку радиоактивных отходов без использования дорогих ускорителей и тем самым избежать образования побочных радиоактивных продуктов.

Другим видом распада ядер с участием электронов атома является внутренняя электронная конверсия γ -излучения. В этом случае вместо эмиссии γ -кванта из ядра его энергия возбуждения передается одному из электронов атома. Внешним воздействием можно ионизировать атомы, что приведет к замедлению или даже в ряде случаев к полному прекращению таких ядерных процессов, как электронный захват и внутренняя электронная конверсия γ -излучения.

Для того чтобы максимально ясно изложить суть анализируемой проблемы, рассмотрим стандартный процесс β -распада:

$$A(Z, N) \rightarrow A(Z + 1, N - 1) + e^- + \tilde{\nu}_e. \quad (6.6)$$

Хорошо известно, что если речь идет о β - распаде основного состояния

материнского ядра, то в земных условиях этот процесс протекает достаточно медленно из-за малости константы слабого взаимодействия.

Для простоты проведем дальнейшее рассмотрение на примере свободного нейтрона, поскольку с формальной точки зрения он представляет собой полностью ионизированный атом. Период его полураспада составляет $(12 \pm 1,5)$ мин [134] (фундаментальные свойства нейтрона см. в [136, 137]) и является практически бесконечно большим по ядерным масштабам времени.

Ниже будет показано, что при определенных условиях это время зависит не только от свойств слабого взаимодействия, но и от внешних условий, в которых находится свободный нейтрон (или ядро сильноионизированного атома)*.

Стандартное выражение для дифференциальной вероятности распада нейтрона имеет вид [146, 147]:

$$dw = d\left(\frac{1}{\tau}\right) = \frac{1}{2m_n} \sum_{\substack{\text{polar} \\ \text{e.p}}} |M_{fi}|^2 (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_n - p_p - p_\nu - p_e) \times \\ \times \frac{d\mathbf{p}_p}{(2\pi)^3 2\varepsilon_p} \frac{d\mathbf{p}_e}{(2\pi)^3 2\varepsilon_e} \frac{d\mathbf{p}_\nu}{(2\pi)^3 2\varepsilon_\nu}, \quad (6.7)$$

*Обратите внимание на то, что в свободном состоянии нейтрон всегда распадается на протон, электрон и антинейтрино, однако в окружении других нуклонов он может быть как стабилен, так и нестабилен, причем время полураспада нейтрона в ядрах колеблется от 10^{-6} с до 10^{32} лет [134, 135, 138]. На сегодня известны около 3000 ядер, из них 273 стабильны, а остальные радиоактивны или делятся. По оценкам [139] должны существовать более 8000 ядер, так что большинство ядер все еще остаются неизученными. Синтез новых ядер продолжается. В последние годы открыт новый остров стабильности ядер [140–142], который был предсказан Ф. А. Гареевым, Б. Н. Калинкиным и А. Собичевским еще в 1966 г. [143–145]. Предсказание, а затем открытие нового элемента или новой частицы или нового явления всегда считалось событием особо важного значения, подтверждающим основные положения физической модели.

Вопреки всеобщему убеждению замкнутая (магическая) протонная оболочка в сверхтяжелых ядрах реализуется не при $Z = 126$, а при $Z = 114(!)$ — это и есть предсказание авторов работы [143]. С практической, экспериментальной точки зрения, это предсказание резко увеличило шансы на реализацию синтеза сверхтяжелых ядер (с ростом Z), в трансурановой области как сечение образования, так и время жизни ядра экспоненциально уменьшается. На этом основании можно утверждать, что если существовала бы только оболочка с $Z = 126$, синтез сверхтяжелых ядер и к настоящему времени не был бы завершен. И экспериментаторы использовали предоставленный шанс — через 33 года после предсказания в Дубне были успешно синтезированы ядра с $Z = 114$ и ближайшие к ним «соседи»: $Z = 113, 115, 116$. Состоявшийся синтез сверхтяжелых ядер, как и полученные результаты по изучению синтеза, имеют для теории ядра принципиально важное значение. Они означают, что модель оболочек «работает» и в сверхтяжелой области A , наличие «острова стабильности» — не фантазия, а реальность. И наконец, главное — концепция среднего ядерного поля, как важнейший элемент теории ядра, в его реалистическом варианте является вполне оправданной при изучении ядер с произвольным значением A .

где [146, 147]

$$\sum_{\substack{\text{polar} \\ \text{e,p}}} |M_{fi}|^2 = 16m_p^2 G^2 \varepsilon_e \varepsilon_\nu \times \\ \times \{1 + 3\alpha^2 - (\alpha^2 - 1)\mathbf{v}_e \mathbf{v}_\nu - 2\alpha(\alpha - 1)\mathbf{v}_e \boldsymbol{\zeta}_n + 2\alpha(\alpha + 1)\mathbf{v}_\nu \boldsymbol{\zeta}_n\}, \quad (6.8)$$

причем $\mathbf{v}_e = \mathbf{p}_e/\varepsilon_e$, $\mathbf{v}_\nu = \mathbf{p}_\nu/\varepsilon_\nu$ — скорости электрона и антинейтрино соответственно, $\boldsymbol{\zeta}_n$ — вектор поляризации нейтрона, а величина $\alpha \simeq 1,2$. Отсюда полная вероятность распада нейтрона равна

$$w = C \frac{G^2 \Delta^5}{60\pi^3} (1 + 3\alpha^2), \quad (6.9)$$

причем $C \simeq 0,47$, $\Delta = m_n - m_p \simeq 1,3$ МэВ [146].

Как это ни парадоксально, данное выражение, на основе которого проводилась оценка константы слабого взаимодействия G , не учитывает очень важный наблюдаемый физический эффект, а именно возможность образования атома водорода в конечном состоянии связанного состояния протона и электрона. Для учета этого процесса к выражению (6.7) следует добавить поправку:

$$d\Delta w = \frac{1}{2m_n} \sum |M_{fi}|^2 (2\pi)^4 \delta^{(4)}(p_n - p_H - p_\nu) \frac{d\mathbf{p}_H}{(2\pi)^3 2\varepsilon_H} \frac{d\mathbf{p}_\nu}{(2\pi)^3 2\varepsilon_\nu}, \quad (6.10)$$

где сумма включает в себя все состояния дискретного спектра атома водорода. Величина Δw заведомо не является малой по сравнению с величиной w . Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, структура матричных элементов M_{fi} в формулах (6.8) и (6.10) достаточно близка*. Как следствие, эти матричные элементы близки по порядку величины**. Во-вторых, увеличение импульса антинейтрино в конечном состоянии для процесса $n \rightarrow \text{H}^* + \tilde{\nu}_e$, по сравнению с аналогичным импульсом антинейтрино, образовавшегося в процессе $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$, вытекающее из законов сохранения энергии и импульса, приводит к увеличению вероятности процесса β -распада в связанное состояние***.

*Все детали вычислений матричных элементов M_{fi} в (6.10) имеются в любом учебнике, содержащем достаточно подробный расчет K -, L -, M -, ... электронного захвата.

**Матричные элементы M_{fi} в (6.8) и (6.10) имеют разную физическую размерность. В данном контексте утверждение об их близости означает, что интегральные величины w и Δw близки по порядку величины.

***Расчет поправки (6.10) технически не сложен, но не входит в цели настоящей работы, носящей качественный характер и опирающейся исключительно на первые принципы физики и надежные экспериментальные данные.

Особо отметим, что процесс $n \rightarrow (p + e^-)_{\text{bound}} + \tilde{\nu}_e = \text{H}^* + \tilde{\nu}_e$ не противоречит законам сохранения (двухчастичные распады элементарных частиц — один из наиболее изученных классов элементарных процессов). Исторически пренебрежение состояниями дискретного спектра при анализе этого распада объяснялось тем, что на момент открытия нейтрона исследование всех β -процессов проводилось только на основе анализа спектра электронов.

Описанный выше вклад дискретного спектра в вероятность β -распада ионизированного атома (т. е. в процессы типа $A(Z, N) \rightarrow (A(Z + 1, N - 1)) + e^-)_{\text{bound}} + \tilde{\nu}_e$) был изучен экспериментально в целом ряде работ [123–126, 131, 132]. При этом эффект наблюдался даже в случае слабоионизированных (однократно ионизированных) атомов. Величина эффекта оказалась необычайно большой. Например, согласно данным работ [131, 132], период полураспада материнских ядер при распаде ${}^{187}_{75}\text{Re} \rightarrow {}^{187}_{76}\text{Os}$, составляющий в нейтральных атомах $7 \cdot 10^{10}$ лет, в полностью ионизированном состоянии атомов равен $(32,9 \pm 2,0)$ лет. Таким образом, ионизация нейтрального атома рения приводит к сокращению периода полураспада на 9 порядков. Самое главное состоит в том, что этот эффект обнаружен в прямом эксперименте!

Конечно, в случае распада нейтрона вклад связанных состояний в полную вероятность распада гораздо меньше. Но и в этом случае он не является пренебрежимо малым. Таким образом, можно заключить, что интенсивность слабых процессов, оцененная на основе анализа электронных спектров, является заниженной.

Следует отметить, что первые оценки подобных процессов были сделаны в работе [119]. Более детальный анализ проблемы проведен в [120]. Астрофизические аспекты процессов β -распада в связанное состояние впервые исследованы в [123]. В работах [123–125, 133] было показано, что описанный канал распада становится важным, если не единственным, когда речь идет о процессах нуклеосинтеза в звездной плазме*. В свете этого описанный канал распада является одним из важнейших инструментов космохронометрии.

К великому сожалению, описанный круг идей к настоящему времени мало известен широкой научной общественности и не попал в учебники физики и астрофизики.

*Для неионизированных атомов β -распад в связанное состояние либо строго запрещен принципом Паули (в совокупности с законом сохранения энергии), либо чрезвычайно сильно подавлен. Поэтому наблюдение описанного эффекта в земных условиях и дальнейшее изложение результатов измерений в доступной форме является непростой задачей. Обычно продукты β -распада в связанное состояние, появляющиеся в различного рода электроразрядных экспериментах («трансмутация»), объявляют «лженаукой» и считают «ошибкой эксперимента», несмотря на то, что сам эффект ускорения β -процессов хорошо известен с 1947 г., не противоречит ни одному из известных фундаментальных законов физики и может достигать 9 порядков (!) [131, 132].

Как уже отмечалось выше, роль рассмотренных реакций β_b -распада ионизированных атомов в связанное состояние очень велика, если речь идет о проблеме нуклеосинтеза. Кроме того, данная реакция является хорошим инструментом для прецизионного измерения массы электронного антинейтрино. В дополнение к вышесказанному отметим, что описанные эффекты дают ключ для понимания явления трансмутации при низких энергиях.

Итак, без учета процессов типа $A(Z, N) \rightarrow (A(Z + 1, N - 1) + e^-)_{\text{bound}} + \tilde{\nu}_e$ невозможно построить рациональную космологическую картину происхождения химических элементов [123–125, 131–133, 105]. Однако, на наш взгляд, процессы этого типа не позволяют объяснить всю совокупность наблюдаемых астрофизических данных. В частности, до сих пор не имеет законченного объяснения проблема величины потока солнечных нейтрино, проблема асимметрии распределения вещества и антивещества во Вселенной, проблема формирования и химического состава планетных систем в окрестности звезд, прошедших через стадию взрыва сверхновой и т. п.

Все вышесказанное заставляет несколько по-новому взглянуть на проблему происхождения химических элементов, геологическую историю Земли и на проблему низкоэнергетической трансмутации ядер. Дело в том, что атмосферное электричество (как линейные, так и шаровые молнии) представляет собой разновидность электрического разряда. Наличие большого количества ионизированных ионов в зоне электрического разряда делает возможным β -распад в связанное состояние даже для атомов, для которых β -распад в неионизированном состоянии строго запрещен. А геологические времена настолько больше атомных и ядерных, что указанный тип процессов начинает играть заметную роль в процессе образования химических элементов. Косвенным подтверждением этого факта может служить различие в химическом составе лунного и земного грунтов. Атмосферное электричество, вулканическая деятельность и многие ионизационные процессы приводят к низкоэнергетической трансмутации ядер химических элементов в земных условиях, что может быть проверено и может привести к новым способам предсказания месторождений полезных ископаемых.

Несколько особняком стоит проблема эволюции элементов, входящих в состав солей, растворенных в воде океанов. Растворы электролитов содержат большое количество ионов. В растворах также возможно наблюдение β -распада в связанное состояние. К сожалению, на сегодняшний день отсутствуют работы (насколько нам известно), посвященные этой проблеме. И наконец, проблема биологической трансмутации ядер [148, 149] ждет своего решения как важнейшая часть холодной трансмутации. Многие химические элементы в живых системах встречаются в виде ионов, так что предлагаемый нами механизм холодной трансформации ядер может служить источником энергии в живых системах, что требует доказательства.

7. НОВЫЙ ВИД ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

На наш взгляд, в качестве рабочей гипотезы, позволяющей пролить определенный свет на указанные выше проблемы, можно принять следующее: на сегодняшний день в астрофизике недостаточно полно исследована роль многоступенчатых фотоядерных реакций. Если учесть, что плотность потока γ -квантов в звездной плазме (особенно если речь идет о внутренней области звезд) велика, а степень ионизации атомов очень высока, то по аналогии с описанной выше ситуацией можно предположить, что вклад многоступенчатых фотопроцессов в различные наблюдаемые эффекты может оказаться непривычно большим и соизмеримым (или даже превышающим) с вкладом сильных процессов. В качестве иллюстрации этого тезиса приведем следующие реакции:

$$\gamma + A(Z, N) \rightarrow A^*(Z, N) \rightarrow A(Z + 1, N - 1) + e^- + \tilde{\nu}_e, \quad (7.1)$$

$$\gamma + A(Z, N) \rightarrow A^*(Z, N) \rightarrow (A(Z + 1, N - 1) + e^-)_{\text{bound}} + \tilde{\nu}_e, \quad (7.2)$$

$$\gamma + A(Z, N) \rightarrow (e^+ + e^-)_v + A(Z, N) \rightarrow A(Z + 1, N - 1) + e^- + \tilde{\nu}_e, \quad (7.3)$$

$$\gamma + A(Z, N) \rightarrow (e^+ + e^-)_v + A(Z, N) \rightarrow (A(Z + 1, N - 1) + e^-)_{\text{bound}} + \tilde{\nu}_e, \quad (7.4)$$

где индекс v означает, что электрон-позитронная пара является виртуальной.

Совершенно очевидно, что процессы (7.1)–(7.4) могут давать существенный вклад в процесс наработки тяжелых элементов в недрах звезд. Однако из перечисленных выше фотопроцессов в научной литературе подробно описана только реакция (7.1).

Остановимся подробнее на остальных процессах и их роли в космологии и астрофизике. Процесс (7.2) полностью аналогичен процессу (7.1). Однако из-за того, что антинейтрино, образующиеся в этом процессе, имеют большую энергию, вероятность соответствующего перехода весьма велика. Несмотря на то, что сечение фотоядерной реакции не слишком велико, при определенных условиях (большой плотности потока γ -квантов и высокой плотности вещества в центральной области звезды) вклад реакций (7.1), (7.2) в процесс синтеза химических элементов (включая тяжелые элементы, вплоть до урана) может быть весьма значительным. В принципе, этот механизм нуклеосинтеза подлежит детальному изучению, построение теории этого явления не является чрезмерно сложной задачей. При этом процессы (7.1) и (7.2) дают лишь количественные поправки к расчетам эволюции химических элементов, выполненным на базе гипотезы о существенной роли реакции $A(Z, N) \rightarrow (A(Z + 1, N - 1) + \tilde{\nu}_e)_{\text{bound}} + \tilde{\nu}_e$ в процессе нуклеосинтеза.

Несколько иначе обстоит дело с процессами (7.3) и (7.4). Дело в том, что в силу кроссинг-симметрии процесс (7.3) и обратная реакция $\gamma + A(Z+1, N-1) \rightarrow (e^+ + e^-)_v + A(Z+1, N-1) \rightarrow A(Z, N) + e^+ + \nu_e$ идут с одинаковой вероятностью (при равенстве энергии налетающих γ -квантов). Поэтому указанные процессы никоим образом не влияют на распределение химических элементов и эволюцию этого распределения в недрах звезд. Совершенно иначе обстоит дело с процессом (7.4). Дело в том, что позитроны являются положительно заряженными частицами, что исключает образование их связанных состояний с ядрами. Это означает, что в процессе формирования химических элементов естественным образом возникает эмпирически наблюдаемая асимметрия между распределением вещества и антивещества во Вселенной. Тот факт, что в видимой части Вселенной не наблюдается скоплений антиматерии, служит хорошим косвенным указанием на то, что реакция типа (7.4) является доминирующей и для процесса нуклеосинтеза. Проверка этой гипотезы на непротиворечивость (данные о потоках солнечных нейтрино, средней плотности звезд, температуры внутренних областей звезд, средней плотности γ -излучения, средней энергии γ -квантов и т. п.) позволила бы существенно пересмотреть существующие астрофизические представления.

В настоящий момент мы рассматриваем асимметрию распространности вещества и антивещества во Вселенной как прямое указание на то, что процесс образования химических элементов в звездах (особенно средних и тяжелых) происходил через реакции типа (7.4) с последующим (или предшествовавшим) захватом нейтронов. Данное утверждение слабо меняет наши представления об углеродном цикле и других термоядерных процессах, протекающих в звездах и отвечающих за нуклеосинтез легких элементов, но заставляет радикально пересмотреть наши взгляды на природу сверхновых.

Если предположить, что гипотеза о роли процесса (7.4) верна, то отсюда следует, что для ее проверки необходимо тщательно изучить спектры сверхновых с целью уточнения их химического состава в момент взрыва. С нашей точки зрения, есть все основания считать, что вспышка сверхновой представляет собой *ядерный* взрыв центральной части звезды, происходящий в тот момент, когда количество тяжелых элементов (например урана) превышает некоторую критическую массу (зависящую от массы звезды и ее типа).

Изложенные выше аргументы позволяют сформулировать следующее утверждение: **реакция захвата виртуальных позитронов ядрами сильноионизированных атомов (7.4) является новой разновидностью естественной радиоактивности.**

Она широко распространена в природе и отвечает за асимметрию распространности вещества и антивещества во Вселенной. Это позволяет рассматривать ее как новый тип *природных* β -процессов, на сегодняшний день не описанный в литературе.

8. ПРИНЦИП РЕЗОНАНСНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Если в иерархической системе движения подсистем происходят с почти соизмеримыми частотами, то в результате взаимодействий произойдет синхронизация движений в системе и подсистемы будут двигаться с соизмеримыми частотами независимо от уровня организации вещества и полей микро- и макросистем и реализующихся в них взаимодействий. При этом нет порога по интенсивности взаимодействий. Была высказана и проверена на огромном фактическом материале атомной и ядерной физики, физики твердого тела, молекулярной физики живых и косных систем гипотеза об универсальности принципа резонансной синхронизации. Оказалось, этот принцип верен также в экономике, управлении, в исторических явлениях, искусстве, в различных процессах в социоприродных системах.

Принцип резонансной синхронизации есть следствие фундаментального закона сохранения энергии-импульса, однако он шире и глубже по своему содержанию. Этот универсальный принцип выступает как всеобщий организующий «дирижер» иерархических систем в микро-, макро- и мегамире. Обнаруженные универсальные закономерности могут быть использованы для улучшения качества рукотворных материалов (например, сверхпроводников, медицинских препаратов, пищи, и т.д.), при конструировании технических устройств по аналогии с живыми системами, а также при разработке планов устойчивого развития общества и предвидения результатов многих процессов в природе.

Многие знают, что двое одинаковых маятниковых часов, укрепленных на жесткой стене и длительное время сохранявших разность хода, довольно быстро синхронизируются, если их укрепить на общей подвижной балке. В данном случае синхронизация или самосогласование хода часов осуществляется посредством слабой связи между часами — едва заметных колебаний балки. Интересно, что теория этого замечательного эффекта синхронизации маятников, впервые качественно описанного Х. Гюйгенсом более трехсот лет тому назад [154], разработана совсем недавно (детали см. в монографии [155], также в ссылках, приведенных в ней).

В конце XIX в. Рэлей [156] обнаружил синхронизацию в акустических и электроакустических системах. Он установил, что две органые трубы с расположенными рядом отверстиями при достаточно малой их расстройке звучат в унисон, т.е. происходит взаимная синхронизация колебаний органных труб.

В некоторых случаях трубы могут заставить почти полностью замолчать одна другую. Аналогичное явление было обнаружено Рэлеем и для двух камертонов: *когда камертоны хорошо настроены и помещены близко друг к другу, колебание может несколько раз переходить от одного камертона к другому, если их попеременно заглушать прикосновением пальца.*

Можно указать ряд обстоятельств, общих для динамических объектов самой разной природы. Перечислим здесь некоторые из них [150–153, 155]:

- отсутствие порога синхронизации;
- зависимость синхронизации от парциальных частот объектов;
- установление определенных соотношений между начальными фазами движения объектов;
- зависимость синхронных движений от характера системы связи.

Подчеркнем, что отсутствие порога синхронизации является очень важным обстоятельством. Самосинхронизация непременно наступит, если только достаточно малое различие между парциальными частотами объектов. При этом вхождение в синхронизм сопровождается установлением вполне определенных фазовых соотношений между колебаниями, тогда как при отсутствии самосинхронизации фазы были случайны. Существенным является вопрос о времени, необходимом для установления синхронного движения.

В макросистемах налицо универсальность явления синхронизации — оно не зависит от вида взаимодействия, от природы периодически движущихся систем, отсутствует порог синхронизации и т. д., т. е. синхронизация присуща движениям с близкими или же соизмеримыми частотами.

Здесь целесообразно процитировать малоизвестную статью Э. Шредингера [161]: «Одного лишь следует придерживаться — того, что представляет собою неотъемлемое следствие волнового уравнения, в какой бы форме оно ни использовалось для решения той или иной задачи, а именно: что взаимодействие между микроскопическими физическими системами контролируется специфическими законами резонанса.

Эти законы требуют, чтобы разность двух собственных частот одной системы равнялась разности двух собственных частот другой системы:

$$\nu_1 - \nu'_1 = \nu'_2 - \nu_2. \quad (8.1)$$

Такое взаимодействие описывается, соответственно, как постепенное изменение амплитуд рассматриваемых четырех собственных колебаний. Уже вошло в привычку умножать обе части этого выражения на h и твердить, что первая система падает с энергетического уровня $h\nu_1$ на уровень $h\nu'_1$, причем энергия, равная разнице уровней, передается второй системе, позволяя ей повысить свою энергию от $h\nu_2$ до $h\nu'_2$.

Эта привычная интерпретация устарела. Ничто не заставляет ее придерживаться, но она служит помехой пониманию того, что происходит в действительности.

Приверженцы этой интерпретации упрямо отказываются по-настоящему осознать принцип суперпозиции, который дает нам возможность предусматривать одновременные постепенные изменения любой в отдельности и всех вместе амплитуд, не избегая и существенных разрывов, если таковые имеются,

например, разрывного изменения частоты. Следует уточнить, что условие резонанса (8.1) может учитывать три взаимодействующие системы и более многочисленную группу систем. Условие может, например, приобретать вид

$$\nu_1 - \nu'_1 = \nu'_2 - \nu_2 + \nu'_3 - \nu_3. \quad (8.2)$$

Более того, можно принять, что две или большее число взаимодействующих систем рассматриваются как одна система: это дает повод переписать (8.1) и (8.2) в следующем виде:

$$\nu_1 + \nu_2 = \nu'_1 + \nu'_2, \quad (8.3)$$

$$\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 = \nu'_1 + \nu'_2 + \nu'_3, \quad (8.4)$$

т. е. условие резонанса формулируется так: в процессе взаимодействия участвующие колебания должны быть составляющими одной и той же частоты. Это не ново. Незнакомым является молчаливое допущение, что частоты **аддитивны** (выделено нами — авт.), когда две или большее число систем рассматриваются как формирующие единую систему. Это допущение представляет собой неизбежное следствие волновой механики.

... К явлению резонанса могут быть сведены и многочисленные другие аналогичные случаи передачи порций энергии, например, фотохимические процессы. Схема остается той же: вы можете либо взять уравнения, подобные (8.1) и (8.2), формирующие условия резонанса, либо умножить эти уравнения на h и думать, что они выражают энергетический баланс для каждого одиночного микроперехода».

Если равенства (8.3) и (8.4) умножить на постоянную Планка h , то мы получаем закон сохранения энергии*, так что аддитивность частот есть следствие аддитивности энергии. Таким образом, мы приходим к очень важному

*Закон сохранения и превращения энергии открыл немецкий врач Юлий Роберт Майер [157–160]. Майер в июле 1841 года направил статью под названием «О количественном и качественном определении сил» в один из наиболее авторитетных физических журналов того времени («Annalen der Physik»). Я. М. Гельфер пишет ([157], с. 115): «Однако издатель журнала, известный физик Поггендорф, не только не счел нужным поместить статью, но даже не ответил автору. Эта первая работа Майера о законе сохранения и превращения энергии была опубликована после его смерти лишь в 1881 г. Поггендорф не поместил в своем журнале и следующих работ по этому же вопросу, в которых открытие излагалось более полно и обстоятельно. Какими мотивами руководствовался Поггендорф, отказывая Майеру в напечатании его работ, трудно сказать. Здесь, по-видимому, играли роль два момента: неизвестное в науке имя автора и непонимание самих работ, их глубокого содержания. Этим объясняется то обстоятельство, что Майер вынужден был печатать свои работы в малоизвестном среди физиков журнале «Annalen химии и фармации», который издавали известные химики Либих и Велер».

Далее [157, с. 129] Я. М. Гельфер продолжает: «В полном смысле травлю Майера начинает и профессора Тюбингенского университета. В мае 1849 г. в «Аугсбургский всеобщей газете» — органе профессоров этого университета — появилась заметка Майера «Важное фи-

выводу: в единой самосогласованной волновой системе устанавливается иерархия частот — сумма всех парциальных частот есть интеграл движения. Это означает, что любое взаимодействие в волновой микроскопической иерархической системе имеет резонансный характер, в результате устанавливаются самосогласованные движения различных подсистем — другими словами, соответствующие парциальные движения детерминированы, мы применяем термин «детерминированность» только в этом смысле.

Эта детерминированность возникает как следствие закона сохранения энергии. Следовательно, поскольку условие резонанса — во взаимодействии парциальные частоты должны быть составляющими одной и той же общей частоты — возникает из фундаментального закона сохранения энергии, то наблюдаемые ритмы и синхронность многих явлений есть отражение этой универсальной природы самоорганизации Вселенной. Наконец, сказанное выше означает, что таким образом принцип синхронизации Гюйгенса распространяется на уровень микромира — как следствие закона сохранения энергии и резонансного характера любого взаимодействия между волновыми системами.

Рассматривая фотоэлектрический эффект, Э. Шредингер [161] приходит к выводу:

«Однако в соответствии с волновой интерпретацией, т. е. согласно общепринятым идеям де Бройля и автора этой статьи, падающая световая волна производит отклик в виде наблюдаемых цугов электронных волн повышенной частоты, выскакивающих из металла (наблюдать дебройлевскую частоту электронов то же самое, что наблюдать их скорость). Но если признавать нашу волновую интерпретацию, то зачем нужна еще вероятностная схема? Разве не становится беспочвенной сама идея о мистических внезапных скачках одиночных электронов? Для чего нужны эти скачки? Без волн обойтись нельзя, и нам ничего не стоит доказать это. Достаточно лишь поместить пробирку с кристаллической пудрой на пути электронного потока и зафиксировать интерференционное изображение того типа, что впервые было получено Г. П. Томсоном (оно может оказаться не столь красивым, как томсоновское, но и оно послужит гарантией, что волны те же)».

Мы утверждаем, что принцип резонансной синхронизации является универсальным. Как показать справедливость этой рабочей гипотезы примени-

зическое открытие», в которой он излагал свое открытие, его значение и право на приоритет. Через несколько дней в той же газете была помещена статья приват-доцента Зейффа, в которой автор, при полном отсутствии понимания великого открытия, подвергал критике Майера в издательской форме. Майер сделал попытку поместить опровержение, но газета его не опубликовала. Майера подвергают травле, его работы замалчивают. Все это создало вокруг ученого нетерпимую атмосферу и в мае 1850 г. Майер пытался покончить жизнь самоубийством, выбросившись из окна второго этажа. В результате этой попытки он на всю жизнь остался хромым. После этого случая Майера объявили сумасшедшим и в 1852–1853 гг. его держали в больнице для душевнобольных с очень строгим режимом».

тельно к системе ядро + атом? Для этого достаточно показать соизмеримость энергий (частот) переходов в ядре и энергий, соответствующих этому ядру в атоме — неразрешимая пока задача.

Однако в некоторых простейших случаях мы имеем строгие доказательства. Например, при β_t^- -распаде ядер в связанное состояние атома нейтрон превращается в протон с испусканием электрона и антинейтрино. Если энергия (и квантовые числа) вылетевшего из ядра электрона равна энергии электрона в какой-нибудь оболочке атома, то электрон при β_t^- -распаде может занять это состояние, если оно свободно — это и есть электрон-ядерный резонанс при $E_{\text{decay}} \approx E_{\text{atom}}$. Ясно, что при β_t^- -распаде в связанное состояние выигрыш энергии равен энергии связи электрона в оболочке. Поскольку вероятность β -распада пропорциональна энергии распада в пятой степени, то увеличение энергии распада ведет к росту его вероятности (уменьшению времени жизни).

В случае внутренней конверсии γ -излучения энергия возбуждения ядра передается одному из электронов атома. Если атом нейтральный, то электрон переводится в сплошной спектр. Если же атом ионизирован, то электрон переводится на дискретный уровень, тогда говорят о резонансной конверсии и, действительно, такие процессы носят резонансный характер [162].

В ионизированном атоме происходит заполнение свободных уровней электронами с выделением энергии E_{atom} и эта энергия может быть передана ядру электромагнитным взаимодействием, в результате произойдет возбуждение ядра на уровень с энергией E_{nucl} (обратный процесс внутренней конверсии γ -излучений). Вероятность этого процесса может быть записана в очевидных обозначениях в следующем виде:

$$P = \frac{|M_{ij}|^2}{(E_{\text{atom}} - E_{\text{nucl}})^2}.$$

Отсюда следует, что вероятность возбуждения растет при приближении к резонансу, когда разность энергий ядерных уровней становится близкой к разности энергий атомных уровней. Воздействие на атомы лазерного излучения приводит к сдвигу и расширению атомных уровней, так что открывается фактическая возможность управлять возбуждением ядер.

9. УПРАВЛЕНИЕ ЯДЕРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

Многие ученые, работающие в ядерной физике, уверены в том, что ядерные взаимодействия полностью независимы от окружения, например, от электронов атомов. Эта уверенность основана на кажущемся убедительным утверждении, что энергии, проявляющиеся в ядерных реакциях, гораздо больше

энергий химической связи атомов с характерными энергиями колебаний решетки твердого тела. Действительно, характерные энергии равны в ядрах $\approx (10^5 - 10^6)$ эВ, в атомах $\approx (1 - 10)$ эВ и твердых телах $\approx (10^{-2} - 10^{-1})$ эВ, а соответствующие масштабы расстояний $\approx 10^{-13}$, $\approx 10^{-8}$ и $\approx 10^{-7}$ см. Так что свойства ядер (за исключением массы и моментов основного состояния ядер) не имеют практически никакого значения для химика или физика, изучающего твердое тело.

Вышеприведенные аргументы казались убедительными до открытия излучения без отдачи и резонансного поглощения γ -лучей ядрами в твердых телах — эффект Р.Л.Мессбауэра [177]. Этот эффект может наблюдаться в том случае, когда импульс отдачи γ -кванта воспринимается макроскопическим кристаллом как единое целое. Это возможно для γ -квантов малых энергий, если излучающие и поглощающие ядра находятся в кристаллической решетке с достаточно сильной связью. При выполнении этих условий как в спектрах поглощения, так и в спектрах испускания присутствуют узкие линии при одной и той же энергии, что соответствует нулевой энергии отдачи. Ширины этих линий близки по величине к естественной ширине возбужденного уровня. Важно заметить, что величиной резонансного поглощения **можно управлять**, если внедрять атомы источника или поглотителя в соответствующие кристаллические решетки. Действительно, иногда открываются явления, связывающие различные области науки и вносящие вклад в каждую из них или даже в другие области науки. Вначале область применения эффекта Мессбауэра включала только ядерную физику низких энергий и динамику кристаллической решетки, а сейчас расширилась, охватив теорию относительности, металлургию, химию, биофизику, археологию и т. д.

Ядра могут возбуждаться электронными переходами в процессе ионизации внутренних оболочек атомов, если близки энергии переходов одинаковой мультипольности в ядре и электронной оболочке [163]. При этом не надо точно знать энергии ядерных и атомных переходов, лазер или другие внешние воздействия настраиваются на ядерную и атомную частоты из-за эффекта захватывания частот. Эти условия могут выполняться для состояний тяжелых ядер, для изомерных состояний ядер с малыми энергиями возбуждения, в водородоподобных ионах атомов, в которых сверхтонкое расщепление близко к энергии изомера. В таких случаях должны наблюдаться электрон-ядерные резонансы. Ф.Ф.Карпешин [162] пришел к выводу, что в водородоподобных ионах атома ^{229}Th электрон-ядерный резонанс может привести к ускорению переходов из изомерного состояния в основное в $\approx 10^4$ раз.

Рассмотрим ^{197}Au : условия электрон-ядерного резонанса выполняются для $K \rightarrow M_1$ дырочного перехода в электронной оболочке ($1S_{1/2} : 80,725$ кэВ $\rightarrow 3S_{1/2} : 3,425$ кэВ [164]) и $3/2 \rightarrow 1/2$ ядерного перехода ($0 \rightarrow 77,351$ кэВ; время жизни 1,91 нс [165]). Разница в энергиях в атомных и ядерных переходах равна 51 эВ при одинаковой мультипольности $M1$.

В эксперименте [166] возбуждались электронные оболочки в золоте электронным пучком с энергией 100 кэВ, а в эксперименте [168] — монохроматическими рентгеновскими лучами с энергиями выше энергии K -уровня в атоме золота. Во всех случаях атомные возбуждения передавались ядрам, затем распады ядерных состояний сопровождались вылетом конверсионных электронов, которые регистрировались спецдетектором. Экспериментальные значения вероятности исследуемого процесса равны $(2,2 \pm 1,8) \cdot 10^{-4}$ [166], $(5,1 \pm 3,6) \cdot 10^{-5}$ [167] (оценка вероятности была проведена с использованием экспериментальных результатов [166]) и $(5,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-8}$ [168]. Теоретические расчеты вероятностей проводились в рамках различных моделей, они равны $3,5 \cdot 10^{-5}$ [169], $2,2 \cdot 10^{-5}$ [170], $1,4 \cdot 10^{-7}$ [171], $2,4 \cdot 10^{-7}$ [172] и $1,3 \cdot 10^{-7}$ [173]. Итак, результаты двух экспериментов отличаются между собой и с теоретически вычисленными на 3–4 порядка. А это только означает, что электрон-ядерные резонансы находятся на начальном пути своего развития как в экспериментальном, так и в теоретическом плане.

Приведем экспериментальные данные об изменении радиоактивности ^{235}U после ионизации и возбуждения атомов урана.

Фольги урана облучались в водородной плазме тлеющего разряда на катоде установки [174]. Ввиду важности для нас и необычности результатов процитируем выводы авторов:

- интегральное увеличение α -активности в 2–4 раза;
- интегральное увеличение β - и γ -активности от 10 до 60 %, в зависимости от условий эксперимента;
- увеличение количества распадов в секунду в основных энергетических пиках урана ^{235}U , ^{234}Th и ^{231}Th до 50 % и уменьшение количества импульсов в пиках характеристического излучения урана на $\approx (30 \pm 3)$ %;
- увеличение количества распадов в секунду для пиков дочерних элементов урана дает основание считать, что происходит интенсификация процессов распада в процессе низкоэнергетического воздействия в плазме тлеющего разряда;
- изменение соотношения фазового состава урана α_2/α_1 , β_1/β_4 и других энергетических максимумов спектра характеристического излучения урана свидетельствует о наработке новых изотопов и наложении пиков вновь образующихся элементов на основные линии спектра;
- увеличение соотношения масс 234/232 на 20–30 % контрольного и облученных образцов свидетельствует о наработке тория в процессе облучения низкоэнергетическими ионами;

- уменьшение содержания урана на $(1 \pm 0,3) \%$ в образцах после облучения в плазме разряда и увеличение количества тория на $(1 \pm 0,3) \%$.

Обычно при расчетах вероятностей (ширин) α -распада учитывается только взаимодействие α -частицы с кулоновским полем ядра [178–180]. Априори ясно, что должно быть влияние кулоновского поля электронов атома на α -распад ядра. Электроны атома уменьшают высоту и ширину потенциального барьера, что и приводит к увеличению вероятности α -распада [181, 182]. Периоды α -распада для голого ядра и нейтрального атома вычислены в [182] в статистической модели Томаса–Ферми и равны $T_{1/2}/T_{1/2}^* = 1,55, 1,22, 2,60$ для α -распада ядер ^{222}Rn , ^{212}Po и ^{147}Sm соответственно.

Следует напомнить, что В. И. Илющенко, Е. Д. Донец и В. А. Альперт [183] еще в 1969 г. пришли к выводу о возможности измерения изменения скорости радиоактивного распада ядер в условиях ОИЯИ. Уже тогда проблемы многократной ионизации атомов до K -оболочки включительно и удержание образующихся многозарядных ионов в области расположения детекторов радиоактивных излучателей практически были решены. Сравнивая интенсивность излучения, сопровождающего распад исследуемых ядер, для ионов с разными зарядами можно определить не только $\Delta\lambda/\lambda$, но и отношения K/β^+ , коэффициенты внутренней конверсии a_K, a_L, \dots , их отношения и другие величины.

Известно, что на вероятность электронной конверсии при изомерных переходах небольшой энергии влияют деформации внешних электронных оболочек атомов, обусловленных химической связью с атомами окружения. Такие эффекты исследованы теоретически [184] и экспериментально [185–187] для возбужденных ядер атомов, находящихся на поверхности подложек различного химического состава. В этих работах было показано, что материал подложки влияет на период полураспада ^{235m}U в пределах 10 % при среднем значении 26 мин.

В работе [188] наблюдалось явление задержки распада атомного уровня при пропускании пучка возбужденных атомов через полость с проводящими стенками, поперечник которой меньше длины волны перехода.

Авторы работ [189, 217] предположили, что аналогичным образом могут изменяться вероятности таких ядерных переходов, для которых характерная длина поглощения средой квантов, соответствующих переходу, меньше длины волны самих квантов. В качестве объекта исследования был выбран изомер ^{235m}U с энергией изомерного перехода 76 эВ, что соответствует длине кванта 17 нм. Получено экспериментальное указание на подавление этого перехода на порядок при помещении атомов ^{235m}U в металлическое серебро.

Рассмотрим на качественном уровне воздействие низкоэнергетических внешних воздействий (пусть это будет лазер) на возбужденные состояния ядер. Лазерное излучение не может быть поглощено ядром в основном со-

стоянии из-за большой разницы энергий квантов лазерного излучения и ядерных уровней. Однако при высоких энергиях возбуждения ядра расстояния между ядерными уровнями могут стать близкими к энергии лазерных квантов. Воздействие на эти состояния ядра излучением лазера может привести к интересным эффектам [109].

Поглощение ядром лазерного кванта изменяет спин ядра на единицу, практически не меняя энергию возбуждения ядра. А это может привести к существенному изменению вероятностей каналов распада ядер, при этом запрещенные процессы могут стать открытыми и наоборот. Ядра с четным числом нейтронов и протонов при поглощении γ -квантов низких энергий образуют состояния со спином 1^- с высоким барьером деления. Захват лазерного кванта с энергией несколько эВ приведет к образованию новых состояний со спинами 0^+ и 2^+ и с барьерами деления ниже на 0,5–0,8 МэВ, так что вероятность деления возрастет на 3–4 порядка [109]. Многие ядерные реакции сопровождаются слабыми и электромагнитными процессами, так что открываются перспективы прямого управления ядерными превращениями.

К сожалению, пока что нет систематических исследований по выяснению влияния степени ионизации атомов на скорости ядерных процессов при низких энергиях. Такие исследования могут быть очень важными и это видно из нашего обзора, однако здесь возникают серьезные трудности, поскольку появляется необходимость рассматривать ядро + атом + кристалл как единую систему, а для этого прежде всего нужно знать временную иерархию различных процессов в ядерной, атомной подсистемах и в конденсированной среде [218, 219] и развивать новые подходы как в экспериментальном, так и в теоретическом плане.

Обратим внимание на то, что частичный ответ на поставленный вопрос можно получить из анализа экспериментальных данных [190], где приведены периоды полураспада $T_{1/2}$ (в часах) ядра ^{99}Mo , полученного в разных реакциях:

$$T_{1/2} = (66,0197 \pm 0,0877) \text{ } ^{98}\text{Mo}(n, \gamma)^{99}\text{Mo},$$

$$T_{1/2} = (65,8467 \pm 0,1052) \text{ } ^{235}\text{U}(n, f)^{99}\text{Mo},$$

$$T_{1/2} = (64,9234 \pm 0,2516) \text{ } ^{181}\text{Ta}(^{12}\text{C}, X)^{99}\text{Mo}.$$

В работе [191] выдвигается гипотеза о возможном магнитном механизме, приведшем к росту коэффициента реактивности реактора в ходе проведения испытаний по выбегу турбогенератора на IV блоке Чернобыльской атомной электростанции. Б. Б. Кадомцев [193, 194] обратил внимание на перестройку состояний электронов атома в сильном магнитном поле. Электроны у тяжелых атомов в сильном магнитном поле согласно Б. Б. Кадомцеву, не стремятся занимать нижние энергетические уровни. Другими словами, если атом возбуждается, то ближайшие к ядру электронные орбиты освобождаются, и туда

может идти β_b -распад в связанные состояния атома. Следовательно, если по каким-то причинам возникает сильное магнитное поле, то оно в состоянии открыть дополнительные каналы β_b -распада в связанные состояния атома. Авторы работы [191] приходят к выводу, что появление свободной электронной орбиты атома-излучателя запаздывающих нейтронов приводит к повышению доли запаздывающих нейтронов, что и приводит к разгону реактора в активной среде.

И. М. Шапаронов с сотрудниками [192] разработали технологию компенсации кулоновского барьера с применением высокого напряжения от постороннего источника — генератора Ван-де-Граафа. Образцы различных ядер помещались в эквипотенциальное поле генератора со сверхвысоким напряжением 10 МВ. За короткое время ядра распались. Авторы считают, что эта технология может быть использована для дезактивации ядерных отходов и, от себя добавим, для обезвреживания ядовитых веществ.

10. ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ БАЛАНС

В последнее время на страницах ведущих физических журналов (см., например, [195–198] и ссылки в них) много пишут о проблемах производства энергии и экологического баланса планеты. Хотя более 86 % от полной используемой человечеством энергии производится при сжигании полезных ископаемых — угля, нефти, природного газа и др., тем не менее единственным кандидатом для базовой энергетики в будущем считается ядерная энергия.

Сжигание полезных ископаемых приводит к ежегодным выбросам углерода в виде углекислого газа в атмосферу в количестве 5,5 Гт, из них только 2,2 Гт перерабатывается естественной системой управления биосферы. Около 3,3 Гт накапливается в виде углекислого газа, который может сохраниться в атмосфере течение многих сотен лет, что привело к увеличению концентрации углекислого газа на 30 % в последние 200 лет. Результат известен — парниковый эффект.

Единственный кандидат для базовой энергетики — ядерная энергия, основанная на энергии деления тяжелых ядер*.

*Деление атомного ядра — это процесс распада одного ядра на два (реже три) ядра — осколки, сравнимые по массе. О. Ган и Ф. Штрассман (химики) обнаружили деление ядер в 1939 г. [199] при облучении урана нейтронами, а в 1940 г. Г. Н. Флеров и К. А. Петряков открыли спонтанное деление ядер урана [200] (они измеряли число излученных нейтронов при вынужденном делении и при измерении фона случайно обнаружили явление спонтанного деления).

Э. Ферми с сотрудниками открыли в 1934 г. существование реакций (n, γ) . Они облучили уран нейтронами и нашли неизвестные активности [201]. Приведем отрывок из доклада М. Н. Гайсинского [202], посвященного псевдооткрытиям в истории радиоактивности: «...Они приписали одну (речь идет об активности — наше замечание) из них эка-рению, т. е. элементу

Ядерные технологии хорошо разработаны, и если бы не было радиоактивных отходов, опасности серьезных аварий и угрозы возможного применения этих технологий и ядерных материалов для производства ядерного оружия, то ядерная энергетика была бы идеальным решением проблем. При этом не выделяются газы, ответственные за парниковый эффект, химические загрязнители — окислы азота, серы и т. д. и выделяется меньше радиоактивных элементов, чем на угольных станциях (продукты сгорания угля содержат уран и торий).

К настоящему моменту накоплено более 100000 тонн не переработанного ядерного топлива, в мире ежегодно из реакторов разных типов выгружается еще 10000 тонн. Основным методом утилизации радиоактивных отходов являются хранилища — могильники, сейчас они близки к заполнению. Более того, радиоактивные отходы будут радиоактивны в течение последующих 10–100 тысяч лет, будут накапливаться непрерывно. И еще, до сих пор ни один атомный реактор не демонтирован и никто не знает, как это сделать. Действительно [196], *ядерная энергетика является областью, в которой серьезных фундаментальных научно-исследовательских работ не велось с конца 1950-х гг., когда первые гражданские атомные электростанции были введены в эксплуатацию.*

Это действительно так. Вспомним, что Л. Майтнер и О. Фриш [204] обнаружили выделение огромного количества энергии (около ≈ 200 МэВ) при делении. При делении происходит испускание нескольких нейтронов, в результате может установиться самоподдерживающаяся цепная реакция деления, что и является источником энергии в современных атомных электростанциях. Обычно используются ядра урана ^{235}U и плутония ^{239}Pu , для этих ядер порог вынужденного деления примерно совпадает с энергией связи нейтрона, т. е. при малой кинетической энергии налетающих нейтронов. Напомним, что периоды полураспада ядер ^{235}U и ^{239}Pu из основного состояния путем спонтанного деления равны [205] $9,8 \cdot 10^{18}$ и $7,8 \cdot 10^{15}$ лет соответственно. При вынужденном делении с поглощением нейтронов периоды полураспада уменьшаются до миллионных долей секунды, т. е. на несколько десятков по порядку величины. Другими словами, поглощение нейтронов ядрами служит как бы

№ 93, который они назвали аузоний, а другую — эка-осмию, гесперию (элементу № 94). Хан и Майтнер пошли еще дальше и предположили образование эка-иридия (95), эка-платины (96) эка-золота (97). Между тем кропотливое и тщательное исследование И. Кюри и П. Савича показало, что химические свойства некоторых новых продуктов не совпадают со свойствами ни одного из элементов, которые находятся по соседству с ураном. Ган и Штрассман (Майтнер тем временем должна была покинуть Германию), вновь предприняли опыты с трансураниевыми элементами и получили новые результаты, которые привели к открытию деления — явления, которого не ожидал никто, и о наличии которого не упоминалось ни в одной теории даже в качестве гипотезы [203]. Вот один из типичных примеров сенсационного открытия, которое явилось следствием ошибочной исходной позиции».

спусковым ключом для запуска канала деления: в данном случае нейтрон с малой кинетической энергией в несколько эВ играет роль катализатора, ускоряя скорость деления так, что начинается цепная реакция деления ядра с выделением энергии ≈ 200 МэВ. Итак, отношение выделяемой энергии к энергии воздействия равно $\approx 10^8$!

Рассмотрим ядро ^{236}U . Время полураспада из основного состояния путем спонтанного деления равно $2,43 \cdot 10^{16}$ лет, а из изомерного состояния $1,16 \cdot 10^{-7}$ с. Возбуждение ядра на 2,7 МэВ сокращает время полураспада на $\approx 10^{29}$ раз! Впервые это явление было обнаружено [206] при исследовании свойств изомера ядра ^{242}Am , который спонтанно делится с временем жизни в 10^{20} раз меньше, чем время жизни для спонтанного деления соседних изотопов из основного состояния. Сейчас принято считать [207,208], что такое ускорение процесса деления связано с существованием второго минимума в потенциальной энергии деформации ядра — изомерия формы. Итак, скорость спонтанного деления с изомерного состояния ядра ^{236}U в $\approx 10^{29}$ раз больше, чем скорость соответствующего спонтанного деления с основного состояния. Это явление полностью аналогично резонансным явлениям, когда частота вынуждающей сосредоточенной силы равна или соизмерима с какой-либо собственной частотой системы и при этом точка приложения этой силы приходится на пучность собственной функции системы. В этом случае система разваливается, и такое явление носит универсальный характер, не зависящий от природы действующих сил и субстанций.

Следует заметить, что время полураспада спонтанного деления с увеличением энергии возбуждения ядра на 1 МэВ уменьшается приблизительно на порядок, только с изомерного состояния наблюдается сокращение времени полураспада на несколько десятков порядков (см., например, [209–212] и ссылки в них). Энергии возбуждения изомера составляют 1,7–3,5 МэВ, а спины малы. Состояния изомеров формы интерпретируются как нижние состояния во втором минимуме на барьере деления.

11. ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Первый атомный реактор был построен Э. Ферми в 1942 г., а первая атомная электростанция — в 1954 г. Д. И. Блохинцевым. Э. Ферми и П. Л. Капица утверждали, что только человек способен создать ядерный реактор.

Сейчас стало известно, что в Габоне в местечке Окло около 2 млрд. лет назад работал природный ядерный реактор [213]. И это явление было открыто фактически случайно. В 1972 г. доставили партию уранового сырья с месторождения Окло в лабораторию французского урано-обогачительного завода Пьерлат (Pierrelette). Изотопный состав элементов в любой точке Земли одинаков и стабилен. Содержание изотопа ^{235}U в современной урановой руде

равно 0,7202 %, а в руде из месторождения Окло содержание этого изотопа оказалось 0,7171 %, так что в Окло наблюдается нехарактерный изотопный состав. Единственно возможное разумное объяснение — существование естественного природного ядерного реактора. В данном районе около 20 подобных месторождений — реакторных зон. Возможно, что 2 млрд. лет назад в Габоне функционировал естественный ядерный реактор в результате возникновения уникальных условий. Это представляет уникальную возможность исследовать проблемы длительного захоронения ядерных отходов [213–215] на примере существовавшего, а затем погасшего реактора. Заметим, что ни один из рукотворных реакторов пока что не утилизирован, и как это осуществить, не знает никто.

Рассмотрим несколько проектов ядерных реакторов, основанных на гипотезе холодной трансмутации ядер.

Ядерный реактор Б. В. Болотова [80]: большие импульсные токи пропускаются через многокомпонентный расплав, содержащий Zn, так что Zn превращается в Ni и выделяется тепло. Известно [134], что цинк может превратиться в никель путем поглощения двух электронов и излучения двух нейтрино, либо без излучения нейтрино, т. е. возможна реакция ${}_{30}^{64}\text{Zn} \rightarrow {}_{28}^{64}\text{Ni} + 2\nu_e$ с выделением энергии 1,19482 МэВ, эта энергия может быть распределена между двумя вылетающими нейтрино и ядром-продуктом ${}_{28}^{64}\text{Ni}$ или полностью передаваться ядру-продукту, если процесс происходит без испускания нейтрино. Время полураспада ядра ${}_{30}^{64}\text{Zn}$ составляет $T_{2\varepsilon} > 8 \cdot 10^{16}$ лет. Мы выдвигаем гипотезу, что импульсный ток является источником электронов, захватываемых ядром ${}_{30}^{64}\text{Zn}$, и эти электроны играют роль катализаторов при превращении цинка в никель — такую же роль играют медленные нейтроны при делении, в результате соответствующие времена процессов сокращаются на несколько десятков порядков. Разница масс атомов $m({}_{30}^{70}\text{Zn}) - m({}_{32}^{70}\text{Ge}) = 1,00608$ МэВ положительна, тем не менее ядро ${}_{30}^{64}\text{Zn}$ стабильно в нейтральном атоме. Однако ионизация атома может привести ядро из стабильного состояния в нестабильное, как это было для ядра ${}^{163}\text{Dy}$.

В [216] осуществлялось воздействие мощными наносекундными электромагнитными импульсами на водные растворы солей CuSO_4 и ZnSO_4 . Отмечалось исчезновение цинка из раствора после воздействия.

Ядерный реактор М. И. Солина [64, 220]: плавка циркония в вакууме электронным пучком. Изотоп ${}_{40}^{96}\text{Zr}$ нестабилен и превращается в ${}_{42}^{96}\text{Mo}$ путем двойного β -распада в непрерывный спектр с периодом полураспада $T_{\beta\beta} \approx 10^{17}$ лет, при этом выделяется энергия 3,3493 МэВ. При ионизации атома период полураспада уменьшится. Изотоп циркония ${}_{40}^{94}\text{Zr}$ стабилен, разница масс атомов $m({}_{40}^{94}\text{Zr}) - m({}_{42}^{94}\text{Mo}) = 1,14441$ МэВ положительна, так что при ионизации может открыться двойной β -распад в связанные состояния атома. Тогда изотопы циркония ${}_{40}^{96}\text{Zr}$ и ${}_{40}^{94}\text{Zr}$ превратятся в соответствующие изотопы молибдена с выделением энергии.

Итак, ядерные реакторы низких энергий будут производить как энергию, так и различные новые элементы. Открываются возможности получения дорогих и редких элементов из дешевых и широко распространенных в природе.

В работах [54, 221] была высказана гипотеза, что холодное слияние может встречаться в конденсированных средах и, в частности, в толще планет. Согласно этой гипотезе, реакции слияния



могут идти на больших глубинах Земли с выделением гелия ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ трития*.

Гелий ${}^3\text{He}$ встречается во многих материалах вулканической деятельности, однако это может быть результатом сохранения гелия со времен формирования Земли [224]. Период полураспада трития равен 12,4 года, так что проверкой гипотезы может быть измерение эманации трития в магматических газах и флюидах, образованных глубоко в Земле [225].

Авторы работы [225] приходят к выводу о том, что имеются положительные сигналы о наблюдении трития (positive ${}^3\text{H}$ anomalies) в материалах извержения действующих вулканов и гейзеров [226–228]. Еще в 1989 г. авторы работы [54] высказали гипотезу о том, что гелий-3 и тритий образуются в горячих зонах Земли. Ввиду важности этой гипотезы мы приводим ее без перевода [225]:

«Natural geo-fusion in the earth occurs in or near the core of the earth, in the hot, hydrogen-bearing metals and minerals which are subjected to extreme off-equilibrium conditions deep in the earth. This hypothesis can be tested by measuring tritium and helium-3 in magmatic fluids from hot-spot volcanoes which tap magmas plumes arising from the core-mantle boundary. In particular, magmatic waters of Kilauea, Loihi, and icelandic volcanoes are predicted to contain significant tritium. We predict that tritium is also present in Jupiter, originating from cold fusion in or near its metallic hydrogen core».

Существуют три главных источника образования ядер химических элементов: ядерный синтез (первичный), реакции космического излучения с веществом (спалогенные) и спонтанная радиоактивность, деление ядер и ядерные реакции, обусловленные этими процессами (радиогенные). Поскольку период полураспада трития равен 12,4 года, то достоверное наблюдение трития в земных условиях будет означать возобновляемость трития, другими словами, правильность гипотезы об образовании новых элементов в горячих областях Земли.

*По современным представлениям [222, 223], такие реакции могут происходить только при температурах $\approx 10^7$ К.

Исследования распределения изотопов гелия ($^3\text{He}/^4\text{He}$) в природе ведутся с 1939 г., когда впервые был открыт второй стабильный изотоп гелия — ^3He [229] (гелий ^4He впервые был обнаружен на Солнце в 1868 г.). Гелий обладает уникальной особенностью: существует только восходящий поток гелия в направлении «мантия → кора → атмосфера → космос». Сейчас опубликованы достаточно детальные результаты исследований о распределении изотопов гелия, для нас важен следующий вывод ([230], с. 106):

«Гелий газов и гидротерм регионов, отличающихся наиболее активной тектоно-магматической деятельностью, современным или закончившимся вулканизмом, глубинными «незалеченными» разломами, высокой сейсмичностью и тепловым потоком, т. е. всех тех регионов, для которых связь мантии с поверхностными частями коры является наиболее вероятной, имеет высокое и сравнительно постоянное изотопное соотношение $^3\text{He}/^4\text{He}$, в тысячи раз превосходящее таковое в радиогенном гелии земной коры. Напротив, He газов, стабильных в тектоническом отношении платформенных регионов, в пределах которых магматическая деятельность закончилась в далеком прошлом, характеризуется низкими, типичными для радиогенного He отношениями $^3\text{He}/^4\text{He}$ ».

Мы обращаем внимание на то, что изотопы фосфора ^{32}P и ^{33}P с временами полураспада 14 и 24 сут соответственно найдены в дождевой воде. Общепринято считать [134], что радиоизотопы фосфора возникают в результате расщепления атомов под действием космических лучей. Мы считаем, что этот вывод нуждается в дополнительной проверке. Как нам известно, радиоактивные изотопы фосфора обнаружены только в дождевой воде, и поэтому естественно предположить их происхождение как результат воздействия атмосферного электричества на соответствующие стабильные атомные ядра.

Несколько особняком стоит проблема эволюции химических элементов, входящих в состав солей, растворенных в воде океанов. Растворы электролитов содержат большое количество ионов. В растворах также возможно наблюдение β -распада в связанное состояние. Как нам известно, на сегодняшний день отсутствуют работы, посвященные этой проблеме.

По определению [231]:

«Химическая реакция — это любой процесс, при котором в атомах или молекулах происходит изменение электронного распределения».

Простейшей химической реакцией является процесс ионизации атома водорода $\text{H} \rightarrow \text{H}^+ + e^-$, которую можно осуществить с помощью ионизирующих излучений или нагревания до высоких температур. Такие реакции типа ионизации характерны для газовой формы. В конденсированных средах, особенно в растворах, процессы гораздо сложнее: как реагенты, так и продукты реакции могут взаимодействовать с растворителем. Например, в воде примерно через 10^{-11} с основными продуктами радиолитического распада являются H , OH , $\text{H}_3\text{O}_{aq}^+$ и e_{aq}^- , и все они могут вступать в дальнейшие реакции. Электрон в

воде движется быстрее, чем более тяжелые молекулы воды, поляризует их и собирает положительные ионы так, что создает вокруг себя полость радиусом $R = 3,0-3,4 \text{ \AA}$, как бы выкапывая сам себе яму. Электрон, окруженный ориентированными молекулами растворителя, является необычно активным электронным донором. Такое образование [231–233], существующее в жидкостях, называется *сольватированным* электроном e_s^- , если же растворителем является вода, то это *гидратированный* электрон e_{aq}^- . Гидратированный электрон имеет потенциал 2,7 В и, следовательно, является агентом с самой высокой реакционной способностью, какая только известна. Поэтому он используется для инициирования большого числа различных химических реакций.

Сольватированный электрон впервые наблюдался в аммиаке еще в 1864 г. [234], в 1902 г. [235] было описано разложение воды на H_2 , O_2 , H_2O_2 под действием излучений радия и радона. Гидратированный электрон был постулирован Штейном [236] и Платцманом [237] в начале 50-х гг. Сейчас свойства гидратированного и сольватированного электронов хорошо изучены, для нас же важно то, что их спектры зависят от свойств окружающей среды.

Однако многие свойства электрона в растворах плохо поняты до сих пор. Например, еще в 1931 г. было обнаружено, что действие света с энергией $\approx 3 \text{ эВ}$ на ртутный катод, погруженный в разбавленный раствор H_2SO_4 , приводит к возрастанию тока, хотя работа выхода для ртути равна 4,5 эВ. Образование e_{aq}^- при фотоэмиссии с погруженных в раствор ртутных электродов было установлено во многих работах с полной достоверностью. Наблюдается фотоэмиссия электронов при энергиях фотонов, значительно меньших работы выхода. Предполагают [231], что работа выхода для ртути в растворе уменьшается на $\approx 1,6 \text{ эВ}$ по сравнению с работой выхода в вакууме. Если это так, то скорость β -распада ядер в растворе должна возрасти по сравнению со скоростью β -распада в вакууме.

Мы уже говорили, что многие биофизики доказывают превращение одних элементов в другие в живых организмах. Структурная единица организма — клетка, где происходят переработка и потребление продуктов, процессы производства, получения и передачи энергии и т. д. Предполагают, что именно в клетках происходит холодное превращение одних ядер в другие с выделением энергии — в «термоядерных реакторах» организма.

12. ВЫВОДЫ

Можно предположить, что резонансная синхронизация усиливает слабые и электромагнитные процессы до такой степени, что холодная трансмутация ядер может стать принципиально возможной. Резонансное усиление скоростей трансмутации ядер зависит только от частот внешних воздействий, но не от их природы.

В последнее время проведен ряд экспериментов по взаимодействию ультрабыстрых лазерных импульсов с большими кластерами, содержащих 10^2-10^6 атомов. Взаимодействие кластерной мишени с лазерным импульсом приводит к вылету ионов с энергиями, быстро растущими с увеличением размеров кластеров мишени. В некоторых случаях из ядра мишени вылетают ионы с энергиями до 1 МэВ, что уже достаточно для ядерных реакций слияния. Например, недавно наблюдались [175] ядерные реакции $D(D, n)^3\text{He}$ при облучении больших дейтронных кластеров лазерными импульсами. Авторы [175] делают вывод о том, что сечение вышеуказанной реакции слияния быстро растет с увеличением размеров дейтронных кластеров, и наблюдаемый эффект объясняют кулоновским взрывом (современное состояние проблемы DD-слияния в плазме см. в [176]).

Резонансное усиление процесса выбивания электронов из атомов с помощью слабых внешних воздействий сопровождается β_b -распадом на связанное состояние. В любом случае открываются широкие возможности получения новых элементов и производства энергии, утилизации ядерных отходов с получением при этом добавочной энергии и предсказания месторождений полезных ископаемых. Возможность управлять скоростями ядерных реакций путем подбора параметров соответствующих внешних воздействий основана на универсальном принципе резонансной синхронизации, отсюда высокая чувствительность результатов даже к малым изменениям геометрических параметров экспериментального оборудования и плохая воспроизводимость результатов.

Мы пришли к выводу о том, что реакция захвата виртуальных позитронов ядрами сильноионизированных атомов (7.4) является новой разновидностью естественной радиоактивности. Она широко распространена в природе и отвечает за асимметрию распространенности вещества и антивещества во Вселенной. Это позволяет рассматривать ее как новый тип *природных* β -процессов, на сегодняшний день не описанный в литературе.

Влияние возбуждения и ионизации атомов на свойства ядер фактически оказалось вне поля зрения физиков, несмотря на то, что сам эффект ускорения β -процессов, известный с 1947 г., не противоречит ни одному из известных фундаментальных законов физики и может достигать 9 порядков! Низкоэнергетическая трансмутация ядер, наблюдавшаяся в различных экспериментах, является результатом ядерного β_b -распада в связанные состояния (подчеркнем еще раз — β_b -распад в связанные состояния увеличивает фазовый объем конечных состояний и Q -значение реакции, оба эти фактора увеличивают вероятность трансмутации ядер; в этом же направлении действуют и сильные внешние магнитные поля — эффект Кадомцева), т. е. результатом электрон-ядерного взаимодействия в процессе возбуждения и ионизации атомов внешними энергетически слабыми воздействиями.

Энергетически слабые внешние воздействия могут служить ключом для открывания запрещенных процессов или для усиления незапрещенных, на-

пример, при воздействии лазера на фотоделение [109] усиление вероятности деления может быть 3–4 порядка, β -распад ядра на связанное состояние атома может быть усилен ионизацией на 9 порядков, усиление спонтанного деления с изомерного состояния ядер по сравнению с основным может достичь 20–29 порядков! Здесь мы столкнулись с открытыми сложными системами, через которые могут протекать большие потоки энергии. В таких открытых системах малые воздействия могут приводить к существенным последствиям [238, 239], в живых системах усиление слабых сигналов является основой выживания в условиях с неравновесной средой окружения.

Итак, возбуждением и ионизацией атомов можно воздействовать на скорости ядерных процессов. А это означает, что встает вопрос детального исследования свойств низкотемпературной плазмы (на сегодня плохо изученных), где, возможно, и происходит холодная трансмутация ядер. Низкотемпературная плазма может быть создана на миниатюрных дешевых экспериментальных установках, так что вопрос управления скоростями физико-химических процессов в живой и неживой природе может быть решен достаточно быстро.

Представляется, что произошла незаметная революция — экспериментально доказана возможность синтеза и трансмутации ядер при низких энергиях внешних воздействий и возможность получения дешевой экологически чистой энергии при таких превращениях ядер в миниатюрных установках на столе. В своем обзоре мы пытались доказать, что есть физические механизмы, делающие в принципе возможной трансмутацию ядер при низких энергиях. Мы нашли ссылки в литературе, что немецкие химики еще в 1920–1930 гг. успешно проводили такие превращения химических элементов, однако физики приняли их результаты как ошибочные, так что эти работы уже забыты. Сейчас уже только в России созданы десятки установок для холодной трансмутации ядер, и в своем обзоре мы привели достаточно серьезные аргументы в пользу возможности такой трансмутации. Холодный синтез ядер в нашем обзоре освещен очень бегло, это явление детально описано в обзорах [57, 240].

Уместно привести выводы академика И. В. Курчатова (лекция, прочитанная 25 апреля 1956 г. в английском научно-исследовательском атомном центре в Харуэлле [241]):

«Было обнаружено, что импульсный разряд является источником не только нейтронов, но и жестких рентгеновских лучей. Жесткое рентгеновское излучение возникает при прохождении больших токов через водород, дейтерий и гелий. Излучение при разрядах в дейтерии всегда состоит из коротких импульсов. Импульсы, вызываемые нейтронами и рентгеновскими квантами, могут быть точно сфазированы на осциллограммах. При этом оказывается, что они возникают одновременно. Энергия рентгеновских квантов, появляющихся при импульсных электрических процессах в водороде и дейтерии, достигает 300–400 кэВ. Следует отметить, что в тот момент, когда возникают

кванты с такой большой энергией, напряжение, приложенное к разрядной трубке, составляет всего лишь 10 кВ.

Оценивая перспективы различных направлений, которые могут привести к решению задачи получения термоядерных реакций большой интенсивности, мы не можем сейчас полностью исключить дальнейшие попытки достигнуть этой цели путем использования импульсных разрядов».

Мы знаем, что сейчас ведутся интенсивные исследования по холодному синтезу и холодной трансмутации, основная цель таких исследований — получение экологически чистой энергии, утилизация радиоактивных и ядовитых отходов, получение новых химических элементов и новые технологии. Число публикаций на эту тему огромно, журнал «Infinite Energy» оценивает их число как ≈ 3000 , многие публикации уже доступны. Вот некоторые адреса:

<http://www.infinite-energy.com>,
<http://lenr-canr.org/appeal.htm>,
<http://www.lenr-canr.org>,
<http://blake.montclair.edu/~kowalski/cf/>.

Детальный анализ доступных нам работ приводит нас к выводу: явление холодного синтеза и холодной трансмутации ядер действительно существует. Невостребованность и отторжение этого явления физическим сообществом есть результат того, что само явление было открыто еще химиками в 1925–1926 гг., переоткрыто в 1989 г. опять же химиками (вспомним историю открытия немецким врачом Ю. Р. Майером основного закона физики — закона сохранения и превращения энергии, за что «благодарные» профессора физики посадили Ю. Р. Майера в желтый дом со строгим режимом содержания). Добавим сюда плохую воспроизводимость результатов экспериментов.

Недавно мы узнали, что еще в 1991 г. в США под эгидой военноморских сил была сформулирована программа исследований по холодному слиянию ядер, и результаты исследований по этой программе были опубликованы в 2002–2003 гг. [242, 243]. Руководитель этой программы Ф. Е. Гордон (Dr. Frank E. Cordon, Head, Navigation and Applied Sciences Department Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego), подводя итоги десятилетних исследований по этой программе, писал [242]:

«We do not know if Cold Fusion will be the answer to future energy needs, but we do know the existence of Cold Fusion phenomenon through repeated observations by scientist throughout the world. It is time that this phenomenon be investigated so that can reap whatever benefits accrue from additional scientific understanding. It is time for government funding organizations to invest in this research».

Итак, понадобилось более 80 лет для признания самого факта существования холодного слияния ядер ($4\text{H} \rightarrow \text{He}$ — экзотермическая реакция, которую

впервые наблюдали химики Ф. Панет и К. Петерс [48] в 1926 г.). Сейчас начинают появляться публикации, в которых предсказывается научная революция на основе холодного слияния и трансмутации ядер*. Ясно, что положительные результаты во многих лабораториях по холодному слиянию и трансмутации ядер игнорировать далее нельзя только вследствие непонимания механизма таких процессов. Понимание этого явления потребует синтеза знаний из многих областей естествознания: ядерной физики, атомной физики, физики конденсированных сред и твердого тела, химии, физико-химические процессы при низких энергиях внешних воздействий плюс единое описание микро- и макросистем.

И наконец, мы должны учесть катастрофическое положение в экологии, сырьевых ресурсах, энергообеспечении, медицине, сельском хозяйстве, обусловленное кризисом в науке*, и поэтому логично тщательно исследовать любые сумасшедшие идеи и проекты, ибо в них может быть зарыто желаемое решение соответствующих проблем. Напомним еще раз, что ошибочная гипотеза А. Пуанкаре привела А. Беккереля к открытию фундаментального явления радиоактивности. В 1903 г. П. Кюри не понимал, почему нагревается радий без внешнего воздействия, в 1911 г. Х. К. Оннес не смог объяснить природу сверхпроводимости, тем не менее им была присуждена Нобелевская премия.

Нобелевский лауреат Н. Рэмзи (Norman Ramsey, Harvard University, physics, professor who served as panel co-chair) в 1989 г. утверждал [246]:

«With the many contradictory existing claims it is not possible at this time to state categorically that all the claims for cold fusion have been convincingly either proved or disproved, [but] even a single short but valid cold fusion period would be revolutionary».

Ясно, что настало время создания верификационного центра по странным явлениям и проектам. Такой центр — по трансмутации и синтезу ядер при низких энергиях — можно было бы создать в Дубне, где имеется современная экспериментальная база и большая группа специалистов, а также университет для подготовки молодых специалистов. Будущим экспериментаторам по ядерным реакциям при низких энергиях предстоит более четко выделить пробел в наших современных представлениях. Необходимо ответить на вопрос, лежит ли этот пробел в области физики ядра, атомной физики, физики элементарных частиц и конденсированных сред, химии. Только совместными усилиями многих специалистов будет найден ответ на этот вопрос, так что мы призываем к сотрудничеству.

*Например, доклад Левиса [244] на 10 международной конференции по холодному слиянию называется «"Cold Fusion" May Be Part of a Scientific Revolution».

*Основная невосполнимая утрата прошлого века — потеря единства и взаимосвязей наук.

Один из авторов (Ф. А. Гареев) выражает благодарность Р. Я. Зилькарнееву и В. С. Бутцеву за предоставление патента «Способ трансмутации долгоживущих радиоактивных элементов в короткоживущие или стабильные» и исключительно полезные обсуждения.

Благодарности. Авторы признательны Ю. Н. Бажутову, Б. М. Барбашову, Б. Е. Большакову, В. Л. Бычкову, Ю. П. Гангрскому, И. В. Горячеву, Р. В. Джолосу, Е. Д. Донцу, В. М. Дубовику, Г. А. Емельяненко, Е. П. Жидкову, В. В. Иванову, П. С. Исаеву, М. Г. Иткису, В. Г. Калининкову, С. А. Карамяну, В. А. Кривицкому, Р. Н. Кузьмину, В. Д. Кузнецову, О. Л. Кузнецову, В. К. Лукьянову, Г. В. Мышинскому, В. А. Никитину, Ю. Ц. Оганесяну, Ф. М. Пенькову, Ю. В. Попову, И. В. Пузынину, А. А. Рухадзе, В. Н. Самойлову, А. Н. Сисакяну, Н. И. Тарантину, Л. И. Уруцкоеву, М. С. Хозяинову, Д. В. Филиппову, В. И. Фурману за одобряющую поддержку и доброжелательную критику. Мы хотели бы выразить благодарность Л. Ковальскому за предоставление нам материалов по холодному слиянию ядер, В. В. Крымскому — за книгу [245], посвященную вопросам превращения ядер при электромагнитных воздействиях.

Один из авторов (И. Е. Жидкова) выражает благодарность за финансовую поддержку Российскому фонду фундаментальных исследований, гранты 04-01-00490 и 02-01-81023.

Ю. Л. Ратис выражает благодарность В. А. Сойферу, Н. Л. Казанскому, И. П. Завершинскому, В. С. Казакевичу, В. В. Ленивкину, Л. В. Туманову за многочисленные стимулирующие дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Becquerel H.* // *Compt. Rend.* 1896. V. 122. P. 420.
2. *Roentgen W. K.* // *Compt. Rend.* 1896. V. 122. P. 150.
3. *Poincare H.* // *Revue Cenerale des Sciences.* 1896. V. 7. P. 52.
4. *Вайнберг С.* Открытие субатомных частиц. М.: Мир, 1986.
5. *Wroblewski A. K.* // *Acta Physica Polonica B.* 1999. V. 30. P. 1179.
6. *Becquerel E.* *La Lumiere, ses Causes et ses Effets.* Tome second. *Effects de la Lumiere,* Paris 1868. P. 50.
7. *Guillaoume Ch. F.* // *Revue Generale des Sciences.* 1899. V. 10. P. 890.
8. *Sutton Ch.* // *New Scientist.* 27 February 1986. P. 30.
9. *Кюри М.* Радиоактивность. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960.

10. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия (Под ред. К. Зигбана). Вып. 4. М.: Атомиздат, 1969.
11. *Шпольский Э. В.* Атомная физика. М.-Л.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1950.
12. *Rutherford E., Chadwick J., Ellis C. D.* Radiations from Radioactive Substances. Cambridge Univ. Press, 1930.
13. *Mayer S., Schweidler E.* Radioactivitat. Berlin, 1927.
14. *Mayer S., Schweidler E.* Radioaktivitat. Leipzig, 1927.
15. *Kohlrausch K. W.* Radioaktivitat. Handbuch der Experiment. V. 15. Leipzig, 1928.
16. *Bothe W.* Handbuch der Physik. Ed. H. Geiger, K. Scheel. Berlin, 1933. V. 22-1. P. 201–244.
17. *Curie M., Kamerlingh Onnes M.* // Le Radium. 1913. V. 10. P. 181.
18. *Rutherford E., Petavel J. E.* // Brit. Assoc. Advan. Sci. 1907. Rep. A. P. 456; *Rutherford E.* Collected Papers. V. 2. P. 36. New York: Interscience, 1936.
19. *Emery G. T.* // Annu. Rev. Nucl. Sci. 1972. V. 22. P. 165.
20. *Segre E.* // Phys. Rev. 1947. V. 71. P. 274.
21. *Daudel R.* // Rev. Sci., Paris. 1947. V. 85. P. 162.
22. *Стародубцев С. В.* Полное собрание трудов. Т. 1. Ташкент: ФАН, 1969.
23. *Reitz J. R.* // Phys. Rev. 1950. V. 77. P. 10.
24. *Primakoff H., Porter F. T.* // Phys. Rev. 1953. V. 89. P. 930.
25. *Schwartz H. M.* // J. Chem. Phys. 1953. V. 21. P. 45.
26. *DeBenedetti S., Des Barros F., Hoy G. R.* // Ann. Rev. Nucl. Sci. 1966. V. 16. P. 31.
27. *Segre E., Wiegand C. E.* // Phys. Rev. 1949. V. 75. P. 39; V. 81. P. 284.
28. *Leininger R. F., Segre E., Wiegand C. E.* // Phys. Rev. 1949. V. 76. P. 897; V. 81. P. 280.
29. *Kraushaar J. J., Wilson E. D., Bainbridge K. T.* // Phys. Rev. 1953. V. 90. P. 610.
30. *Bouchez R. et al.* // J. Phys. Radium. 1956. V. 17. P. 363.
31. *Bainbridge K. T., Baker E.* // Bull. Am. Phys. Soc. 1959. V. 4. P. 278.
32. *Johlige H. W., Aumann D. C., Born H.-J.* // Phys. Rev. 1970. V. C2. P. 1616.
33. *Hollander J. M., Sherley D. A.* // Ann. Rev. Nucl. Sci. 1970. V. 20. P. 435.

34. *Daudel R.* // J. Phys. Radium. 1952. V. 13. P. 557.
35. *Perlman M. L.* Vistas in Research. 1969. V. 4. P. 171. New York: Gordon and Breach, 1969.
36. *Perlman M. L., Emery G. T.* // Proc. Intern. Conf. in Radioactiv. in Nucl. Spectrosc. Ed. J. H. Hamilton, J. C. Manthuruthil. New York: Gordon and Breach.
37. *Cooper J. A., Hollander J. M., Rasmussen J. O.* // Phys. Rev. Lett., 1965. V. 15. P. 680.
38. *Krutov V. A., Fomenko V. N.* // Ann. Phys. Leipzig. 1968. V. 21. P. 291.
39. *Крутов В. А., Фоменко В. Н.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1969. Т. 33. С. 84.
40. *Spector R. M.* // Phys. Rev. 1972. V. A5. P. 1323.
41. *Gatti F. et al.* // Nature. 1999. V. 397. P. 137.
42. *Шноль С. Э.* // Вопросы медицинской химии. 1958. Т. 4. С. 6.
43. *Шноль С. Э.* // Итоги науки и техники. Молекулярная биология. Т. 5 (Ред. В. П. Скулачев). М.: ВИНТИ, 1985. С. 130.
44. *Удальцева Н. В., Коломбет В. А., Шноль С. Э.* Возможная космофизическая обусловленность макроскопических флуктуаций в процессах разной природы. Пушино: ОНТИ НЦБИ, 1987. С. 96.
45. *Шноль С. Э. и др.* // Российский химический журнал. 1997. Т. 41(3). С. 30.
46. *Шноль С. Э. и др.* // УФН. 1998. Т. 168. С. 1129.
47. *Чернавский Д. С.* // УФН. 1998. Т. 168. С. 1139.
48. *Raneth F., Peters K.* // Nature. 1926. V. 118. P. 526; Naturewissenschaften. 1926. V. 14. P. 956.
49. *Клюев В. А. и др.* // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. С. 1331.
50. *Дерягин Б. В. и др.* // Коллоидный журнал. 1986. Т. 48. С. 12.
51. *Ярославский М. А.* // ДАН СССР. 1989. Т. 307. С. 369.
52. *Ярославский М. А.* // ДАН СССР. 1989. Т. 307. С. 600.
53. *Fleischmann M., Pons S.* // J. Electroanal. Chem. 1989. V. 261. P. 301.
54. *Jones S. E. et al.* // Nature. 1989. V. 338. P. 737.
55. *Chechin V. A. et al.* arxiv.org, nucl-th/0303057. 2003.
56. *Фокс Х. Л.* Холодный ядерный синтез: сущность, проблемы, влияние на мир. Взгляд из США. Производственная группа СВИТЭКС. М., 1993.

57. *Krivit S.B., Winocur N.* The 2004 Cold Fusion Report. Published by New Energy Times 11664 National Blvd., Suite 142 Los Angeles, CA 90064, March 22. 2004.
58. *Уруцкоев Л.И., Ликсонов В.И., Циноев В.Г.* // Прикладная физика. 2000. Т. 4. С. 83.
59. *Urutskoev L.I., Liksonov V.I., Tsinoev V.G.* // Annales de la Fondation Louis de Broglie. 2002. V. 27. P. 701.
60. *Kuznetsov V.D. et al.* // Annales de la Fondation de Broglie. 2003. V. 28. P. 173.
61. *Уруцкоев Л.И. и др.* // Материалы 10-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. М., 2003. С. 76.
62. *Кузнецов В.Д. и др.* // Материалы 8-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов. М., 2001. С. 308.
63. *Kladov A.* // 13 Radiochemical Conference. 19-24 April 1998, Marianske Lazne Jachymov, Czech Republic, Booklet of Abstracts, <http://roslo.narod.ru/rao/rao1.htm>
64. *Солин М.И.* // Физическая мысль России. 2001. Т. 1. С. 43.
65. *Шардыка С.К.* Бета-лазерная модель взаимодействия электронного потока с цирконием // Уравнения состояния вещества. Тезисы докладов XV международной конференции. Терскол, 2000. С. 94.
66. *Шардыка С.К.* Стратегический энергетический ресурс // Наука и оборонный комплекс — основные ресурсы российской модернизации. Материалы межрегиональной НТК ЦНТБ УрО РАН. Екатеринбург, 2002. С. 468.
67. *Солин М.И.* // Физическая мысль России. 2001. Т. 1. С. 40.
68. *Кривицкий В.А.* // Геоинформатика. 2003. Т. 1. С. 42.
69. *Кривицкий В.А.* Трансмутация химических элементов в эволюции Земли. М.: МПГУ, 2003.
70. *Кривицкий В.А.* // Геоинформатика. 2003. Т. 4. С. 50.
71. *Taleyarkhan R.P. et al.* // Science. 2002. V. 295. P. 1868.
72. *Taleyarkhan R.P. et al.* // Phys. Rev. 2004. V. E69. P. 036109-1.
73. *Nigmatulin R., Lahey R.T., Jr, Taleyarkhan R.P.* Science on Line, www.sciencemag.org/cgi/content/full/295/5561/1868/DC1, 2002.
74. *Нигматуллин Р.И., Талейархан Р.П., Лэхи Р.Т.* // Вестн. АН РБ. 2002. Т. 7, № 4. С. 3.
75. *Karabut A.B., Kucherov Ya. R., Savvatimova I. B.* // Phys. Lett. 1992. V. A170. P. 265.

76. *Савватимова И. Б., Карabut А. Б.* // Поверхность. 1996. Т. 1. С. 63.
77. *Савватимова И. Б., Карabut А. Б.* // Поверхность. 1996. Т. 1. С. 76.
78. *Переломова В. А., Лихошва В. А.* Литейное производство. 1992. Т. 9. С. 8.
79. *Adamenko S. V. et al.* Results of experiments on collective nuclear reactions in superdense substance. Kyiv, 2004.
80. *Лебедев И.* // Техника молодежи. 1991. Т. 8. С. 2.
81. *Болотов Б. В., Болотова Н. А., Болотов М. Б.* Основы строения вещества. Запорожье: Запорож. гос. академия, 1996.
82. *Kervran C. L.* Transmutation a Faible Energie. Paris. Libraire Malone S.A., 1972.
83. *Kervran C. A.* Preuves en Geologie et Physique de Transmutation a Faible Energie. Paris. Libraire Malone S.A., 1973.
84. *Балакирев В. Ф., Крымский В. В.* // Изв. Челябинского научн. центра. 2003. Т. 4. С. 65.
85. *Вачаев А. В., Иванов Н. И.* Энергетика и технология структурных переходов. Учебное пособие. Магнитогорск: МГМА, 1994.
86. *Вачаев А. В. и др.* Патент N2096846 РФ, МКИ G 21 G 1/00, H 05 H 1/24. Способ получения элементов и устройство для его осуществления. Заявл. 31.05.94 // Изобретения. 1997. № 32. С. 369.
87. *Павлова Г. А.* Разработка основ технологии металлов из плазменного состояния водно-минеральных систем. Дисс. канд. техн. наук. Институт металлургии УрО РАН. Екатеринбург, 1997.
88. Разработка теории и исследование возможностей создания технических устройств для излучения электромагнитных волн на основе сред с зарядными кластерами. Отчет по НИР/Гос. рег. N01.960.009493, инв. № 2.9.70.001655. Челябинск: ЧГТУ, 1996.
89. *Белкин В. С., Бухарин В. А., Дубровин В. К.* Наносекундные электромагнитные импульсы и их применение. Под ред. В. В. Крымского. Челябинск: Изд. Татьяна Лурье, 2001.
90. Исследования влияния мощных наносекундных электромагнитных импульсов на химические вещества и биологические объекты. Отчет по НИР. Гос. рег. № 1.96.0009487. Инв. № 2.97.0001651. Челябинск: ЧГТУ, 1996.
91. *Казбанов В. И. и др.* Патент N2140110 РФ, МКИ G 21 G 1/100, C 01 B 33/00. Способ получения кремния. Заявл. 12.03.97 // Изобретения. 1999. № 27. С. 389.

92. *Казбанов В. И. и др.* Превращение фосфида алюминия в кремний в импульсном электрическом разряде. Отчет по НИР. Институт химии и химической технологии СО РАН. Красноярск, 2000.
93. *Cameron A. T., Ramsay W.* // *Le Radium*. 1907. V. 4. P. 402.
94. *Curie M., Gleditsch E.* // *Le Radium*. 1908. V. 5. P. 225.
95. *Smits A., Karssen A.* // *Naturwiss.* 1925. V. 13. P. 699; *Zeit Electroch.* 1926. V. 32. P. 577.
96. *Miethe A.* // *Naturwiss.* 1925. V. 13. P. 635;
Miethe A., Stammreich H. // *Naturwiss.* 1924. V. 12. P. 597, 744, 1211; *Zeit. anorg. Chem.* 1926. V. 158. P. 185.
97. *Nagaoka H.* // *Nature*. 1925. V. 116. P. 95; *J. Phys. Radium*. 1925. V. 6. P. 209; *Naturwiss.* 1925. V. 13. P. 682.
98. *Gascheler A.* // *Angewandte Chem.* 1925. V. 38. P. 127.
99. *Haber F.* // *Naturwiss.* 1926. V. 14. P. 405;
Haber F., Jaenicke J., Matthias F. // *Zeit. Anorg. Chem.* 1926. V. 153. P. 153.
100. *Tiede E., Schleede A., Goldschmidt F.* // *Naturwiss.* 1925. V. 13. P. 745; *Ber. deut. chem. Gessell.* 1926. V. 59, P. 1629.
101. *Garret M. W.* // *Proc. Roy. Soc.* 1926. V. 112A. P. 391.
102. *Sneldon H. H., Estey R. S., Maily.* // *Scientific Amer.* 1925, November. P. 296.
103. *Riesenfeld E. H., Haase W.* // *Naturwiss.* 1925. V. 13. P. 745.
104. *Debierne A.* // *C. R. Acad. Sci.* 1937. V. 205. P. 141;
Debierne A., Goldatein L. // *C. R. Acad. Sci.* 1937. V. 205. P. 321.
105. *Бутцев В. С., Бутцева Г. Л., Зулькарнеев Р. Я.* Патент РФ на изобретение №2169405 от 20.06.2001 Способ трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные. 2002.
106. *Гареев Ф. А., Ратис Ю. Л.* // Межвузовский сборник научных работ «Естествознание, экономика, управление». Самара, 2002. Вып. 3, т. 1. С. 103.
107. *Гареев Ф. А., Гареева Г. Ф., Жидкова И. Е.* // *Геоинформатика*. 2003. Т. 1. С. 51.
108. *Уруцкоев Л. И. и др.* // Материалы 10-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. М., 2003. С. 76.
109. *Гангрский Ю. П., Марков Б. Н.* Ядра в лучах лазера. М.: Знание, 1984.
110. *Гангрский Ю. П.* // Материалы Рабочего совещания по использованию микротронов в ядерной физике. Пловдив, 22–24 сентября 1992. С. 3.

111. Ахиезер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика. М.: Физматгиз, 1959.
112. Зарецкий Д. Ф. // ЯФ. 1985. Т. 42. С. 1383.
113. Fermi E. // Z. Phys. 1934. Bd 88. S. 161.
114. Ву Ц. С., Мошковский С. А. Бета-распад. М., 1970.
115. Блин-Стойл Р. Фундаментальные взаимодействия и атомное ядро. М.: Мир, 1973.
116. Джелепов Б. С., Зырянова Л. Н. Влияние электрического поля атома на бета-распад. М.-Л., 1956.
117. Гапонов Ю. В. // УФН. 1970. Т. 102. С. 211.
118. Ахмедов Е. Х. Физическая энциклопедия. Т. 1. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. С. 190.
119. Daudel R., Jean M., Lecoïn M. // J. Phys. Radium. 1947. V. 8. P. 238.
120. Bahcall J. N. // Phys. Rev. 1961. V. 124. P. 495.
121. Баткин И. С. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1976. Т. 49. С. 1279.
122. Копытин И. В. Докторская диссертация. Воронеж, 1986.
123. Takahashi K., Yokoi K. // Nucl. Phys. A. 1968. V. 404. P. 578.
124. Takahashi K., Yokoi K. // At. Data Nucl. Data Tables. 1987. V. 36. P. 375.
125. Takahashi K. et al. // Phys. Rev. C. 1987. V. 36. P. 1522.
126. Kappeler F., Beer H., Wisshak K. // Rep. Prog. Phys. 1989. V. 52. P. 945.
127. Phillips W. R. et al. // Phys. Rev. 1993. V. A47. P. 3682.
128. Attallah F. et al. // Phys. Rev. C. 1997. V. 55. P. 1665.
129. Litvinov Yu. A. et al. // Phys. Lett. B. 2003. V. 573. P. 80.
130. Harston M. R. et al. // Nucl. Phys. A. 2000. V. 676. P. 143.
131. Jung M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 69. P. 2164.
132. Bosh F. et al. // Phys. Rev. Lett. 1996. V. 77. P. 5190.
133. Klepper O. et al. // Nucl. Instrum. Meth. B. Phys. Res., Sect. 1992. V. 70. P. 427.
134. Селинов И. П. Изотопы. Т. 1. М.: Наука, 1970.
135. Физическая энциклопедия. Под ред. Прохорова А. М. Т. 1. 1998.

136. Александров Ю. А. Фундаментальное свойство нейтрона. 2-е изд. М., 1982.
137. Ерозолимский Б. Г. // УФН. 1975. Т. 116. С. 145.
138. Кулаков В. М. Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 993.
139. Pfitzner M. // Acta Physica Polonica. 1999. V. 30. P. 1197.
140. Oganessian Yu. Ts. et al. // Phys. Rev. C. 2000. V. 62. P. 041604R.
141. Oganessian Yu. Ts. et al. // Ibid. P. 011301R.
142. Oganessian Yu. Ts. et al. JINR Preprint E7-2003-178. Dubna, 2003.
143. Sobiczewski A., Gareev F. A., Kalinkin B. N. // Phys. Lett. 1966. V. 22. P. 500.
144. Kalinkin B. N., Gareev F. A. JINR Preprint E7-99-107. Dubna, 1999.
145. Kalinkin B. N., Gareev F. A. e-print LANL nucl-th/0111083; Proc. Intern. Symp. «Exotic Nuclei», Lake Baikal, Russia, July 24–28, 2001, P. 118. World Scientific, New Jersey-London-Singapore-Hong kong, 2002.
146. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Релятивистская квантовая теория. Т. 4, ч. 2. М.: Наука, 1971.
147. Бьёркен Дж. Д., Дрелл С. Д. Релятивистская квантовая теория. Т. 1. М.: Наука, 1978.
148. Kervran C. L. Biological Transmutation. Happiness Press Magalia, California, 1987.
149. Высоцкий В. И., Корнилова А. А. Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах. М.: Мир, 2003.
150. Гареев Ф. А. Препринт М13-98 Национального ядерного центра. Алма-Ата, 1998. С. 115; ISINN-7, Dubna, 1999. P. 71.
151. Гареев Ф. А. // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, закономерности, концепции (под ред. акад. М. М. Лаврентьева). Новосибирск: ИМ, 1999. С. 92.
152. Гареев Ф. А., Гареева Г. Ф. // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, закономерности, концепции (под ред. акад. М. М. Лаврентьева). Новосибирск: ИМ, 2001. С. 161.
153. Гареев Ф. А., Жидкова И. Е. // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, закономерности, концепции (под ред. акад. М. М. Лаврентьева). Новосибирск: ИМ, 2002 (будет опубл.).
154. Гюйгенс Х. Три мемуара по механике. М.: Изд-во АН СССР, 1951.

155. *Блехман И. И.* Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981.
156. *Стрет Дж. (Лорд Рэлей)* Теория звука. Т.2. М., Л.: Гостехиздат, 1944.
157. *Гельфер Я. М.* Закон сохранения и превращения энергии. М.: Учпедгиз, 1958.
158. *Майер Р.* Закон сохранения и превращения энергии. 1933.
159. *Розенбергер Ф.* История Физики, ч.III, вып. I, 1936.
160. *Розенбергер Ф.* История Физики, ч.III, вып. II, 1937.
161. *Schroedinger E.* // Brit. J. Philos. Sci. 1952. V.3. P. 233 (перевод: Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976).
162. *Карпешин Ф. Ф.* Автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2002.
163. *Morita M.* // Prog. Theor. Phys. 1973. V.49. P. 1574.
164. *Larkins F. B.* // Data Nucl. Data Tables. 1977. V. 20. P. 313.
165. *Chunmei Z.* // Nucl. Data Sheets. 1991. V. 62. P. 433.
166. *Fujioka H. et al.* // Z. Phys. A. 1984. V. 315. P. 121.
167. *Shinohara A. et al.* // Bull. Chem. Soc. Jpn. 1995. V. 68. P. 566.
168. *Kishimoto S. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 85. P. 1831.
169. *Pisk K. et al.* // Nucl. Phys. A. 1989. V. 504. P. 103.
170. *Ljubicic A. et al.* // Phys. Lett. B. 1991. V. 272. P. 1.
171. *Tkalja E. V.* // Nucl. Phys. 1992. V. A539. P. 209.
172. *Ho Y. et al.* // Phys. Rev. 1993. V. C48. P. 2277.
173. *Tkalja E. V.* // ЖЭТФ. 1994. V. 94. P. 239.
174. *Савватимова И. Б., Дэи Д., Франц С.* // Материалы 10-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии, Дагомыс, Сочи, 29 сентября – 6 октября 2002. М., 2003. С. 64.
175. *Ditmire T. et al.* // Nature (London). 1999. V. 398. P. 489.
176. *Kurilenkov Yu. K., Skowronek M.* // Pramana – journal of physics. 2003. V. 61. P. 1187.
177. *Moessbauer R. L.* // Zs. Phys. 1958. V. 151. P. 124.
178. *Кадменский С. Г., Фурман В. И.* Альфа-распад и родственные ядерные реакции. М.: Энергоатомиздат, 1985.

179. *Гареев Ф. А., Ратис Ю. Л.* // ЯФ. 1996. Т. 59. С. 1005.
180. *Ратис Ю. Л., Гареев Ф. А.* // Межвузовский сборник научных работ «Естествознание, экономика, управление». Т. 1, вып. 3. Самара, 2002. С. 74.
181. *Ambrosino G., Piatier H.* // Compt. rend. 1951. V. 232. P. 400.
182. *Erma V. A.* // Phys. Rev. 1957. V. 105. P. 1784.
183. *Илющенко В. И., Донец Е. Д., Альперт В. А.* Препринт ОИЯИ Р-4688. Дубна, 1969.
184. *Гречухин Д. П., Солдатов А. А.* // ЯФ. 1976. Т. 23. С. 273.
185. *Mazaki H., Shimizi S.* // Phys. Rev. 1966. V. 148. P. 1161.
186. *Neve de Mevergnies M.* // Phys. Rev. 1969. V. 23. P. 422.
187. *Neve de Mevergnies M.* // Phys. Rev. 1972. V. 29. P. 1188.
188. *Hulet R. H., Hilfer E. S., Klepner D.* // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. P. 2137.
189. *Кольцов В. В., Римский-Корсаков А. А.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1989. Т. 53. С. 2085.
190. *Butsev V. S. et al.* // Heavy Ion Physics. 1998. V. 8. P. 227.
191. *Рухадзе А. А., Уруцкоев Л. И., Филиппов Д. В.* // Краткие сообщения по физике. ФИАН, 2004, №1.
192. *Шахпаронов И. М. и др.* Патент ЕПВ N0313073, G 21 К 1/00, 1989.
193. *Кадомяцев Б. Б.* // ЖЭТФ. 1970. Т. 58. С. 1765.
194. *Кадомяцев Б. Б., Кудрявцев В. С.* // ЖЭТФ. 1972. Т. 62. С. 144.
195. *Путвинский С. В.* // УФН. 1998. Т. 168. С. 1235.
196. *Риволь Ж.-П.* // УФН. 2003. Т. 137. С. 747.
197. *Герасимов А. С., Киселев Г. В.* // УФН. 2003. Т. 137. С. 39.
198. *Шарков В. Ф.* Развитие альтернативной энергетики в России на ближайшую перспективу. М.: ИНП, 2002.
199. *Hahn O., Strassmann F.* // Naturwissenschaften. 1939. Bd 27, Heft 1, S. 11–15.
200. *Флеров Г. Н., Петржак К. А.* // ЖЭТФ. 1940. Т. 10. С. 10-13.
201. *Amaldi E.* // Physik. Zeit. 1937. V. 38. P. 724.
202. *Гайсинский М. Н.* // Труды 8-го международного конгресса по истории науки. Москва, 18–24 августа, 1971. С. 1.

203. *Turner A.* // *Rev. Mod. Phys.* 1940. V. 12. P. 1.
204. *Фриш О., Уилер Дж.* // *УФН.* 1968. Т. 96. С. 697.
205. *Обухов А. И., Григорьев И. С.* Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 1087.
206. *Поликанов С. М. и др.* // *ЖЭТФ.* 1962. Т. 42. С. 1464.
207. *Strutinsky V. M.* // *Nucl. Phys.* 1966. V. 95. P. 420.
208. *Pashkevich V. V.* // *Nucl. Phys.* 1971. V. 169. P. 275.
209. *Гангский Ю. П., Марков Б. Н., Перельгин В. П.* Регистрация и спектроскопия осколков деления. М.: Энергоиздат, 1992.
210. *Струтинский В. М.* // *Природа.* 1976. Т. 9. С. 7.
211. *Пик-Пичак Г. А.* Физическая энциклопедия. М: Большая Российская энциклопедия, 1998. С. 581.
212. *Бор О., Моттельсон Б.* Структура атомного ядра. Т. 2. М.: Мир, 1977.
213. *Смирнова М.* // *В мире науки.* 2004. № 1. С. 70.
214. *Вальд М.* // *В мире науки.* 2003. № 7. С. 28.
215. *Надис С.* // *В мире науки.* 2003. № 7.
216. *Крымский В. В., Балакирев В. Ф.* // *ДАН.* 2002. Т. 385. С. 786.
217. *Ворыхалов О. В. и др.* // *Изв. РАН. Сер. физ.* 1992. Т. 56. С. 30.
218. *Karamian S. A., Carroll J. J.* // *Laser physics.* 2002. V. 2. P. 12.
219. *Karamian S. A. et al.* JINR Preprint E15-2003-179. Dubna, 2003.
220. *Солин М. И.* Патент РФ N2087951, МКИ G 21 В 1/00, 1997.
221. *Van Siclen C. D., Jones S. E.* // *J. Phys. G: Nucl. Phys.* 1986. V. 12. P. 213.
222. *Ишханов Б. С., Капитонов И. М., Тутынь И. А.* Нуклеосинтез во Вселенной. М.: МГУ, 1999.
223. *Ядерная астрофизика.* Под ред. Барнса Ч., Клейтона Д., Шрамма Д. М.: Мир, 1986.
224. *Jones S. E. et al.* // *J. Fusion Energy.* 1990. V. 9. P. 199.
225. *Jones S. E., Ellsworth J. E.* // 10th Intern. Conf. on Cold Fusion. 2003. Cambridge, Ma: LENR-CANR.org.

226. Goff F., McMurty G. M. // J. Volcanology and Geothermal Res. 2000. V. 97. P. 347.
227. Goff F. et al. // Bull. Volcanol. 2000. V. 62. P. 34.
228. Quick J. E. et al. // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1991. V. 69. P. 132.
229. Alvarez L. W., Cornog R. // Phys. Rev. 1939. V. 56. P. 379.
230. Мамырин Б. А., Толстихин И. Н. Изотопы гелия в природе. М.: Энергоиздат, 1981.
231. Харп Э., Анбар М. Гидратированный электрон. М.: Атомиздат, 1973.
232. Hart E. J. // Accounts Chem. Res. 1969. V. 2. P. 161.
233. Пикаев А. К. Сольватированный электрон в радиационной химии. М.: Наука, 1969.
234. Weyl W. // Pogg. Ann. 1864. V. 123. P. 350.
235. Giesel F. // Ber. 1902. V. 35. P. 3608.
236. Stein G. // Disc. Faraday Soc. 1952. V. 12. P. 227.
237. Platzman R. L. Physical and Chemical Aspects of Basic Mechanisms in Radiobiology. Natl. Res. Council, 1953. P. 34.
238. Кадомяев Б. Б. // УФН. 1994. Т. 164. С. 449; 2002. Т. 173. С. 1221.
239. Кадомяев Б. Б. Динамика и информация. М.: Ред. журн. УФН, 1997.
240. Kowalski L. <http://blake.montclair/~kowalskil/cf/>
241. Курчатова И. В. // Атомная энергия. 1956. Т. 3. С. 65.
242. Szpak S., Mosier-Boss P. A. (Editors) Technical Report 1862, February 2002. Thermal and Nuclear Aspects of the Pd/D₂O System. Volume 1: A decade of Research at Navy Laboratories. SSC San Diego. CA 92152-5001.
243. Daviss B. // New Scientist. 29 March 2003. P. 36.
244. Lewis E. H. // 10th Intern. Conf. on Cold Fusion. 2003. Cambridge, Ma: LENR-CANR.org.
245. Балакирев В. Ф. и др. Взаимопревращения химических элементов. Екатеринбург: УрО РАН, 2003.
246. Ramsey N. In the preamble to Report of the Energy Research Advisory Board to the United States Department of Energy, <http://www.ncas.org/erab> (November 1989).

Получено 20 апреля 2004 г.

Редактор *Е. К. Аксенова*

Подписано в печать 03.06.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,38. Уч.-изд. л. 4,68. Тираж 400 экз. Заказ №. 54467.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/