

риалов, содержащих магнитные ионы, не обнаружено особенностей, связанных с точкой перехода в магнитоупорядоченное состояние.

2. В парамагнитной области скорость релаксации с ростом температуры увеличивается быстрее, чем в обычных ВТСП, при этом спад амплитуды сигнала эха с ростом температуры аномально затянута.

3. В области средних магнитных полей для указанных материалов выполняется квадратичный закон зависимости амплитуды эхо-сигнала от постоянного магнитного поля, что отличается от теоретических предпосылок, построенных ранее для нормальных металлов и низкотемпературных сверхпроводников.

Таким образом, в статье показано, что метод фононного эха является эффективным инструментом исследования нелинейных и других свойств ВТСП, в том числе обусловленных внедрением в материал магнитных ионов, и может быть использован при тестировании этих материалов.

Л и т е р а т у р а

1. Nishihara H., Hayashi K., Okuda Y., Kajimura K. // Phys. Rev. B. 1989. V. 39. № 10. P. 7351.
2. Дробинин А. В., Ципенюк Ю. М. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 10. С. 563.
3. Петров М. П., Дядюшкин Д. В., Иванов А. В., Красинкова М. В., Нечитайлов А. А., Паугурт А. П., Пleshakov И. В. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 10. С. 2363.
4. Petrov M. P., Pleshakov I. V., Paugurt A. P., Krasinkova M. V., Nechitailov A. A., Melech B. T. // Solid. State Commun. 1991. T. 78. № 10. С. 893.
5. Асадуллин Я. Я., Самарцев В. В. // Известия вузов. 1993. Т. 36. № 7. С. 20.
6. Дробинин А. В., Ципенюк Ю. М. // ЖЭТФ. 1997. Т. 111. № 3. С. 1032.
7. Никифоров В. Н., Леонюк Л. И., Мухеев М. Г., Моцалков В. В. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 2. С. 376.
8. Brown S. E., Thompson J. D., Willis J. O., Aikin R. M., Zirngiebl E., Smith J. L., Fisk Z., Schwarz R. B. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. № 4. P. 2298.
9. Ramirez A. P., Schneemeyer L. F., Waszczak J. V. // Ibid. № 12. P. 7145.
10. McGuire T. R., La Place S. J., Boehme R. F., Chivashankar S. A., Keane D. T. // J. Appl. Phys. 1991. V. 69. № 8. P. 5388.
11. Zhou X. Z., Raudsepp M., Pankhurst Q. A., Morrish A. H., Luo Y. L., Maartense I. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. № 13. P. 7230.
12. Tsuruoka F., Kajimura K. // Ibid. 1980. V. 22. № 11. P. 5092.

Статья поступила в редакцию 28 октября 2004 г.

Phonon echoes in high- T_c superconductors with magnetic ions

I. V. Pleshakov, A. A. Nechitailov, A. P. Paugurt
Ioffe Physico-Technical Institute of RAS, St.-Petersburg, Russia

The phonon echoes in $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ и $YBa_2Cu_{2.85}Fe_{0.15}O_{7-x}$ have been investigated in this work. The peculiarities in temperature dependencies of the signal relaxation and amplitude were revealed, which can be explained qualitatively by the materials properties, connected with the presence of magnetic ions.

УДК 539.17.01

Влияние возбуждения и ионизации атомов на скорости ядерных процессов

Ф. А. Гареев, И. Е. Жидкова
Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия
Ю. Л. Ратис

Самарский университет аэрокосмических исследований, г. Самара, Россия

Трансмутация ядер при низких энергиях возможна в рамках современной физической теории — возбуждение и ионизация атомов и универсальная резонансная синхронизация ответственны за это явление — к такому заключению пришли авторы статьи. Изучение этого явления требует знаний в различных областях науки: ядерной и атомной физики, химии и электрохимии, физики конденсированных сред и твердых тел, ... Результаты таких исследований могут обеспечить их новыми источниками энергии, веществ и технологий.

На пресс-конференции 23 марта 1989 г. М. Флейшман и С. Понс сообщили об обнару-

жении ими нового явления в науке — холодного ядерного синтеза при комнатной температуре [1].

За прошедшие 14 лет опубликованы сотни статей, обзоров и книг, проводятся регулярные конференции. В этих сообщениях описаны эксперименты, в которых наблюдаются изменения элементного состава вещества при таких внешних воздействиях, что не может быть и речи о возможности ядерных реакций. Тем не менее, элементный состав вещества меняется — это уже твердо установленный экспериментом факт.

Приведем несколько ссылок на экспериментальные работы, в которых сообщается о низкоэнергетической трансмутации атомных ядер химических элементов при различных внешних воздействиях. Такая трансмутация ядер наблюдалась при электровзрыве металлических фольг в жидких средах [2], при ультразвуковой обработке водных солевых растворов [3], при плавке циркония в вакууме электронным пучком [4], при воздействии высокоамперными токами на свинец в мощном магнитном поле [5], при сонолюминесценции [6], при облучении материалов ионами в плазме тлеющего разряда [7].

Опубликованные экспериментальные данные имеют много общего несмотря на то, что были использованы различные внешние воздействия для индуцирования холодной трансмутации. Это новое физическое явление пока что не нашло даже качественного общепринятого объяснения; оно очень богато по своему физическому содержанию и сопровождается:

- холодной трансмутацией химических элементов;
- излучением неизвестной физической природы;
- 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;
- воздействием на живую материю.

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

процессы, сопровождающие холодную трансмутацию ядер, не радиоактивны, включая конечные продукты реакций;

явления пороговые;

отчетливо виден резонансный характер известных физических параметров;

явление ограничено “сверху” по энергетике процесса; другими словами, имеются некоторые критические значения физических наблюдаемых величин (тепла, величины тока, массы взаимодействующих атомных ядер).

Количественный анализ экспериментальных данных по холодной трансмутации ядер позво-

ляет утверждать, что это явление пока не нашло общепринятого объяснения с позиции современного понимания закономерностей микромира. Холодная трансмутация ядер отличается от обычных ядерных реакций следующим [8]:

процесс холодной ядерной трансмутации происходит при небольших энергиях (меньше чем 10 кэВ на один синтезированный атом);

отсутствуют свободные нейтроны;

отсутствует остаточная радиоактивность, т. е. не синтезируются нестабильные изотопы.

Авторы работы [8] отмечают: “Обратим внимание на тщательно проверенный факт отсутствия остаточной радиоактивности, т. е. 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*” (выделено авторами статьи).

В работах [9, 10] 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 [11], тем самым весь процесс приобретает когерентный, коллективный характер. Заметим, что если атомы, испускающие электроны, образуют молекулы или входят в состав кристалла, то испущенные 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 [12].

Холодная трансмутация ядер возможна в рамках современной физики, авторы статьи предлагают новую разновидность естественной радиоактивности. Цель настоящей работы — качественный анализ 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.

Радиоактивные ядра подвергали воздействию высоких и низких давлений, температур, электрических и магнитных полей; скорость радиоактивного распада изменить каким-нибудь внеш-

ним воздействием не удастся. 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 представляющих как правило, от нескольких эВ до несколько кэВ, обусловлена огромными разностями масштаб энергии. Следовательно, по современным представлениям при таких внешних воздействиях не может происходить и трансмутация ядер.

β-распад на связанные состояния

Появление лазеров дало новый толчок в исследованиях управления скоростями радиоактивного распада ядер и ядерных реакций световыми излучениями*. Энергия лазерного излучения не превышает нескольких электронвольт, что на много порядков ниже требуемых для ядерных реакций. Когерентность, монохроматичность, направленность и интенсивность лазерного излучения в ряде случаев позволяет эффективно воздействовать на ядро (подробности в лекции Ю. П. Гангрского).

Известно, что целый ряд процессов в ядре происходит с участием электронных оболочек атомов: электронный захват, внутренняя конверсия γ-излучения и β-распад на связанные состояния. Следовательно, возбуждение и ионизация атомов могут служить ключом управления скоростями радиоактивного распада ядер и ядерных реакций, поскольку различные превращения энергии в электронной оболочке атома могут оказать воздействие на ядро.

Возможность β-распада на связанные электронные состояния дочернего атома (индекс *b* обозначает распад на связанные состояния), сопровождаемого эмиссией монохроматического антинейтрона, была предсказана в работе [13] и детально обсуждена в [14–16]. Для нейтральных атомов β-распад на связанные состояния играет второстепенную роль по сравнению с β_c-распадом на непрерывные электронные состояния (индекс *c* обозначает распад электрона на непрерывный спектр). Он может стать доминирующим каналом для сильно ионизированных атомов, которые существуют в звездной плазме при ядерном синтезе. Важность β_b-распада на связанные состояния в астрофизике, в особенности для космохронологии, были подчеркнуты в работах [17–23].

При β_b-распаде на связанные электронные состояния электрон садится на связанные состояния, так что этот процесс двух тел, антинейтрино уносит всю выделяемую энергию *Q*.

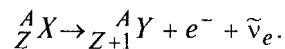
Впервые в работе [21] β_b-распад на связанные состояния наблюдался в случае ядра $^{163}_{66}\text{Dy}^{66+}$. Это ядро стабильное как нейтральный атом ($Q_s = -2,565$ кэВ), однако полностью ионизированное ядро $^{163}_{66}\text{Dy}^{66+}$ распадается на $^{163}_{67}\text{Ho}^{66+}$ с полупериодом 47 дней ($Q_{\beta_b}^K = 50,3$ кэВ).

В нейтральных атомах $^{163}_{67}\text{Ho}$ происходит захват электронов с *M*- и более высоких оболочек с переходом в $^{163}_{66}\text{Dy}$. Ионизация атомов $^{163}_{67}\text{Ho}$ вплоть до этих оболочек делает невозможным электронный захват и ионизированные ядра $^{163}_{67}\text{Ho}^{66+}$ становятся стабильными, а полностью ионизированные атомы $^{163}_{66}\text{Dy}^{66+}$ через β-распад на связанные состояния переходят в $^{163}_{67}\text{Ho}^{66+}$. Следовательно, можно управлять направлением ядерных превращений ионизацией атомов в этой цепочке посредством β-распадов.

В работе [9] 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:



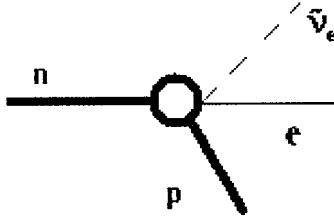
Известно, что если речь идет о β-распаде основного состояния материнского ядра, то в земных условиях этот процесс протекает достаточно медленно из-за малости константы слабого взаимодействия.

Для простоты проведем дальнейшее рассмотрение на примере свободного нейтрона, поскольку с формальной точки зрения он представляет собой полностью ионизированный

* Авторы благодарны проф. Ю. П. Гангрскому за предоставление неопубликованных лекций "Воздействие лазерного излучения на скорости ядерных процессов".

атом. Период его полураспада составляет $12 \pm 1,5$ мин [24] 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 сильно ионизированного атома).

В простейшем варианте теории процессу $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ отвечает диаграмма рисунка.



Диаграмма, соответствующая распаду свободного нейтрона

Стандартное выражение для дифференциальной вероятности распада нейтрона имеет вид [25, 26]:

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

где

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

где $\bar{v}_e = \vec{p}_e / \varepsilon_e$, $\bar{v}_{\bar{\nu}_e} = \vec{p}_{\bar{\nu}_e} / \varepsilon_{\bar{\nu}_e}$ — скорости электрона и антинейтрино, соответственно;

$\bar{\zeta}_n$ — вектор поляризации нейтрона;

величина $\alpha \approx 1, 2$.

Отсюда полная вероятность распада нейтрона равна

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

причем $C \approx 0,47$, $\Delta = m_n - m_p \approx 1,3$ МэВ [25].

Как это ни парадоксально, выражение (3), на основе которого проводилась оценка константы слабого взаимодействия G , не учитывает очень важный наблюдаемый физический эффект — возможность образования в конечном состоянии связанного состояния протона и электрона — атома водорода. Для учета этого процесса к выражению (1) следует добавить поправку

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

где сумма по H 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 (2) и (4) достаточно близка*** (как следствие, эти матричные элементы близки по порядку величины); во-вторых, увеличение импульса антинейтрино в конечном состоянии для процесса $n \rightarrow H^* + \bar{\nu}_e$, по сравнению с аналогичным импульсом антинейтрино, образовавшегося в процессе $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, вытекающее из законов сохранения энергии и импульса, приводит к увеличению вероятности процесса β -распада в связанное состояние***.

Особо отметим, что процесс $n \rightarrow (p + e^-)_{\text{bound}} + \bar{\nu}_e = H^* + \bar{\nu}_e$ 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. процессы типа $Z^A X \rightarrow Z^{A+1} Y + e^- + \bar{\nu}_e$) был изучен экспериментально в целом ряде работ [17—22]. При этом эффект наблюдался даже в случае слабоионизированных (однократно ионизированных) атомов. Величина эффекта оказалась необычайно большой. Например, согласно данным работ [21, 22], полупериод распада материнского ядра при распаде рения $^{187}_{75}\text{Re}$ в осмий $^{187}_{76}\text{Os}$ в полностью ионизированном состоянии атомов сокращается в 10^9 раз по сравнению с полупериодом нейтрального атома.

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.

* Все детали вычислений матричных элементов M_{fi} в (4) имеются в любом учебнике, содержащем достаточно подробный расчет K -, L -, M -, ... электронного захвата.

** Матричные элементы M_{fi} в (2) и (4) имеют разную физическую размерность. В данном контексте утверждение об их близости означает, что интегральные величины w и Δw близки по порядку величины.

*** Расчет "поправки" (4) технически несложен, но не входит в цели настоящей работы, носящей качественный характер и опирающийся исключительно на первые принципы физики и надежные экспериментальные данные.

Следует отметить, что первые оценки подобных процессов были проделаны в работе [13]. Более детальный анализ проблемы был проделан в работе [14]. Астрофизические аспекты процессов β -распада в связанное состояние впервые исследованы в работе [17]. В работах [17–19, 23] было показано, что описанный канал распада становится важным, если не единственным, когда речь идет о процессах нуклеосинтеза в звездной плазме. 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 (!) [21, 22]). В свете этого описанный канал распада является одним из важнейших инструментов космохронометрии.

Описанный круг идей к настоящему времени мало известен широкой научной общественности и не попал в учебники физики и астрофизики.

Как уже отмечалось выше, роль рассмотренных выше реакций β -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.

Итак, без учета процессов типа ${}^A_ZX \rightarrow ({}^A_{Z+1}Y + e^-)_{bound} + \tilde{\nu}_e$ невозможно построить рациональную космологическую картину происхождения химических элементов [8, 17–23]. 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 звезды и т. п.

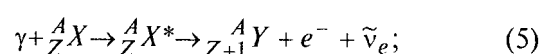
Все вышесказанное заставляет несколько по-новому взглянуть на проблему происхождения химических элементов, на геологическую историю Земли и на проблему низкоэнергетической трансмутации ядер. Дело в том, что атмосферное

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 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 месторождения 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 [27–32] 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 косных системах, что требует доказательства.

Новый вид естественной радиоактивности

В качестве рабочей гипотезы, на наш взгляд, позволяющей пролить определенный свет на указанные проблемы, можно принять, что 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 фото процессов в различные наблюдаемые эффекты может оказаться непривычно большим и соизмеримым (или даже превышающим) со вкладом сильных процессов. В качестве иллюстрации этого тезиса приведем следующие реакции:



$$\gamma + {}^A_ZX \rightarrow {}^A_ZX^* \rightarrow ({}^A_{Z+1}Y + e^-)_{bound} + \tilde{\nu}_e; \quad (6)$$

$$\gamma + {}^A_ZX \rightarrow (e^+ + e^-)_v + {}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + e^- + \tilde{\nu}_e; \quad (7)$$

$$\gamma + {}^A_ZX \rightarrow (e^+ + e^-)_v + {}^A_ZX \rightarrow ({}^A_{Z+1}Y + e^-)_{bound} + \tilde{\nu}_e, \quad (8)$$

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

Совершенно очевидно, что процессы (5)–(8) могут давать существенный вклад в процесс наработки тяжелых элементов в недрах звезд. Однако из перечисленных выше фотопроцессов в научной литературе подробно описана только реакция (5).

Остановимся подробнее на остальных процессах и их роли в космологии и астрофизике. Процесс (6) полностью аналогичен процессу (5). 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 (5), (6) 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 (5) и (6) дают лишь количественные поправки к расчетам эволюции химических элементов, выполненным на базе гипотезы о существенной роли реакции ${}^A_ZX \rightarrow ({}^A_{Z+1}Y + e^-)_{bound} + \tilde{\nu}_e$ в процессе нуклеосинтеза.

Несколько иначе обстоит дело с процессами (7) и (8). Дело в том, что в силу кроссингсимметрии процесс (7) и обратная реакция $\gamma + {}^A_{Z+1}X \rightarrow (e^+ + e^-)_v + {}^A_{Z+1}Y \rightarrow {}^A_ZX + e^- + \nu_e$ идут с одинаковой вероятностью (при равенстве энергии налетающих γ -квантов). Поэтому указанные процессы никак не влияют на распределение химических элементов и эволюцию этого распределения в недрах звезд. Совершенно иначе обстоит дело с процессом (8). 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 (8) является доминирующей и для процесса нуклеосинтеза. Проверка этой гипотезы на непротиворечивость (данные о пото-

ках 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 распространенности 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 (8) с последующим (или предшествовавшим) захватом нейтронов. Данное утверждение слабо меняет наши представления об углеродном цикле и других элементов, но заставляет радикально пересмотреть наши взгляды на природу сверхновых.

Если предположить, что гипотеза о роли процесса (8) верна, то отсюда следует, что для ее проверки необходимо тщательно изучить спектры сверхновых для 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 (урана например) превышает некоторую критическую массу (зависящую от массы звезды и ее типа).

Изложенные выше аргументы позволяют сформулировать следующее утверждение: *реакция захвата виртуальных позитронов ядрами сильно ионизированных атомов (8) 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.

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. Гипотеза об универсальности принципа резонансной синхронизации была высказана и проверена на огромном фактическом материале атомной и ядерной физики, физики твердого тела, молекулярной физики и биологии.

Принцип резонансной синхронизации — следствие фундаментального закона сохранения энергии-импульса. Этот универсальный прин-

цип 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, ...) при конструировании технических устройств по аналогии с живыми системами и предвидении результатов многих процессов в природе.

Многие знают, что двое одинаковых маятниковых часов, укрепленных на жесткой стене и длительное время сохраняющих 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 подробно описанного Х. Гюйгенсом более трехсот лет тому назад [33], разработана совсем недавно [34].

В конце XIX века лорд Рэлей [35] обнаружил синхронизацию в акустических и электроакустических системах. Он установил, что две органнотрубы с расположенными рядом отверстиями при достаточно малой их расстройке звучат в унисон, т. е. происходит взаимная синхронизация колебаний органнотруб. 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 [34]:

- 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 мало 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. Существенен вопрос о времени, необходимом для становления синхронного движения. Естественно, это время зависит от силы взаимодействия подсистем.

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 [14]: *"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:

$$\nu_1 - \nu'_1 = \nu'_2 - \nu_2. \quad (9)$$

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

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 (9) может учитывать три взаимодействующие системы и более многочисленную группу систем. Условие может, например, приобретать вид

$$\nu_1 - \nu'_1 = \nu'_2 - \nu_2 + \nu'_3 - \nu_3. \quad (10)$$

Более того, можно принять, что две или большее число взаимодействующих систем рассматриваются как одна система: это дает повод переписать (9) и (10) в следующем виде:

$$\nu_1 + \nu_2 = \nu'_1 + \nu'_2, \quad (11)$$

$$\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 = \nu'_1 + \nu'_2 + \nu'_3, \quad (12)$$

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 авторами статьи), 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 (9) и (10), формирующие условия резонанса, либо умножить эти уравнения на $\hbar$ и думать, что они выражают энергетический баланс для каждого одиночного микроперехода".

Если равенства (11) и (12) умножить на постоянную Планка $\hbar$, то мы получаем закон сохранения энергии, так что аддитивность частот есть следствие аддитивности энергии. Таким образом, мы приходим к очень важному 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 [36] 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)".

Заключение

Итак, делаем вывод, что резонансная синхронизация усиливает слабые процессы до такой степени, что холодная трансмутация ядер становится принципиально возможной. Резонансное усиление скоростей трансмутации ядер зависит только от частот внешних воздействий, но не зависит 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 ростом размеров кластеров мишени. В некоторых случаях из ядра мишени вылетают ионы с энергиями до 1 МэВ, чего уже достаточно для ядерных реакций слияния. Например, недавно наблюдались [37] ядерные реакции $D(D, n)^3\text{He}$ при облучении больших дейтронных кластеров лазерными импульсами. Авторы работы [37] делают вывод, что сечение вышеуказанной реакции слияния быстро растет с увеличением размеров дейтронных кластеров, и наблюдаемый эффект объясняют кулоновским взрывом.

Резонансное усиление процесса выбивания электронов из атомов слабыми внешними воздействиями сопровождается β_β -распадом на связанное состояние и образованием из-за синхронизации больших кластеров ядер и когерентных коллективных состояний — механизм процесса низкоэнергетической трансмутации, что можно проверить экспериментально на достаточно простых и дешевых установках. В любом случае открываются широкие возможности получения новых элементов и производства энергии, утилизации ядерных отходов с получением при этом добавочной энергии и предсказания месторождения полезных ископаемых. Возможность управлять скоростями ядерных реакций подбором 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.

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! Холодная трансмутация ядер, наблюдавшаяся в различных экспериментах, является результатом β -распада на связанные состояния. И, наконец, приведем экспериментальные данные об изменении радиоактивности урана после ионизации и возбуждения атомов урана.

Фольги урана облучались в водородной плазме тлеющего разряда на катоде установки [38]. 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 и тория 234 и 231 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 дают 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 $(1 \pm 0,3)$ %.

Возбуждением и ионизацией атомов можно воздействовать на скорости ядерных процессов, а это означает, что встает вопрос детального исследования свойств низкотемпературной плазмы, в которой и происходит в природе 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 быстро и дешево.

Мы сознательно написали "вопрос управления скоростями физико-химических процессов...". Мы сейчас в состоянии указать многие области экспериментальной физики и химии, где удалось получить конкретные, воспроизводимые результаты при облучении различных веществ лазерными лучами, ультразвуком, различными полями. Приведем только один вывод [39]: *Обработка нефти и нефтепродуктов низко-*

энергетическим лазерным излучением существенно повышает эффективность процессов нефтепереработки и улучшает качество моторных топлив...

Фантастически удачное применение микромагнитных лазеров обработки нефтепродуктов основано практически полностью на голых эмпирических фактах. Правда, таких фактов набралось великое множество, их уже нельзя не заметить. Можно утверждать, что даже в этом научном направлении образовалось своеобразная "критическая масса" эмпирических фактов. Но, к большому сожалению, убедительных теорий, объясняющих крупномасштабные изменения физико-химических свойств моторных топлив, подвергнутых микровоздействию лазерного излучения, пока не создано.

Основной механизм — снова возбуждение и ионизация атомов и молекул.

Авторы признательны Б. М. Барбашову, Б. Е. Большакову, В. Л. Бычкову, Ю. А. Галушкину, Ю. П. Гангскому, И. В. Горячеву, Р. В. Джолосу, Е. Д. Дону, В. М. Дубовику, Г. А. Емельяненко, Е. П. Жидкову, В. В. Иванову, П. С. Исаеву, М. Г. Иткису, В. Г. Калининскому, 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 поддержку и доброжелательную критику. Мы выражаем благодарность Л. Ковальскому за предоставление нам материалов по холодному слиянию ядер, В. В. Крымскому — за предоставление книги [40], посвященной вопросам превращения ядер при электромагнитных воздействиях.

Работа осуществляется за счет финансовой поддержки Российского фонда фундаментальных исследований, гранты 04-01-00490 и 02-01-81023.

Л и т е р а т у р а

1. Fleischmann M., Pons//J. Electroanal. Chem. 1989. V. 261. P. 301.
2. Уруцкоев Л. И., Ликсонов В. И., Циноев В. Г.//Прикладная физика. 2000. № 4. С. 83.
3. Kladov A. 13 Radiochemical Conference. 19—24 April 1998, Mariánské Lázně Jáchymov, Czech Republic, Booklet of Abstracts.
4. Солин М. И.//Физическая мысль России. 2001. № 1. С. 43.
5. Кривицкий В. А.//Геоинформатика. 2003. № 1. С. 42.
6. Taleyarkhan R. P., West C. D., Cho J. S., Lahey R. T. Jr., Nigmatulin R. I., Block R. C.//Science. 2002. V. 295. P. 1868.

7. Савватимова И. Б., Карабут А. Б. // Поверхность. 1996. № 1. С. 63.
8. Уруцкоев Л. И., Филиппов Д. В., Гуляев А. А., Клыков Д. Л., Кузнецов В. Л., Столяров В. Л., Стеблевский А. В. Материалы 10-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. — М., 2003. С. 76.
9. Бутцев В. С., Бутцева Г. Л., Зулькарнеев Р. Я. Пат. РФ на изобретение 2169405 от 20.06.2001 "Способ трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные".
10. Гареев Ф. А., Ратис Ю. Л. // Межвуз. сб. науч. работ "Естествознание, экономика, управление". — Самара. 2002. Вып. 3. Т. 1. С. 103.
11. Гареев Ф. А., Гареева Г. Ф., Жидкова И. Е. // Геоинформатика. 2003. № 1. С. 51.
12. Gatti F., Fontanelli F., Galeazzi M., Swift A. M., Vitale S. Nature, 14 January, 1999. V. 397. P. 137.
13. Daudel R., Jean M. and Lecoïn M. // J. Phys. Radium. 1947. № 8. P. 238.
14. Bahcall J. N. // Phys. Rev. 1961. V. 124. P. 495.
15. Баткин И. С. // Изв. АН СССР. Серия физическая. 1976. Т. 49. С. 1279.
16. Копытин И. В.: Дис. ... д-ра техн. наук. — Воронеж, 1986.
17. Takahashi K. and Yokoi K. // Nucl. Phys. 1983. V. A404. P. 578.
18. Takahashi K. and Yokoi K. // At. Data Nucl. Data Tables. 1987. V. 36. P. 375.
19. Takahashi K. et al. // Phys. Rev. 1987. V. C36. P. 1522.
20. Kappeler F., Beer H., Wisshak K. // Rep. Prog. Phys. 1989. V. 52. P. 945.
21. Jung M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 69, № 15. P. 2164.
22. Bosh F., et al. // Ibid. 1996. V. 77. № 26. P. 5190.
23. Klepper O. et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. 1992. V. B70. P. 427.
24. Селинов И. П. // Изотопы. Т. 1. — М.: Наука, 1970. — 623 с.
25. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Релятивистская квантовая теория. Т. 4. Часть 2. — М.: Наука, 1971. — 287 с.
26. Бьёркен Дж. Д., Дрелл С. Д. Релятивистская квантовая теория. Т. 1. — М.: Наука, 1978. — 295 с.
27. Kervran C. L. // Biological Transmutation, Happiness Press Magalia, California, 1987.
28. Высоцкий В. И., Корнилова А. А. Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах. — М.: Мир, 2003.
29. Гареев Ф. А.: Препринт М13-98 национального ядерного центра, Алма-Аты. С. 115, 1998; ISINN-7, Dubna, 1999. P. 71.
30. Гареев Ф. А. // Сб.: Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, закономерности, концепции / Под ред. акад. М. М. Лаврентьева. — Новосибирск: Изд-во ИМ, 1999. С. 161.
31. Гареев Ф. А., Гареева Г. Ф. // Там же. 2002. С. 161.
32. Гареев Ф. А., Жидкова И. Е. // Там же. 2002.
33. Гюйгенс Х. Три мемуара по механике. — М.: Изд-во АН СССР, 1951.
34. Блехман И. И. Синхронизация в природе и технике. — М.: Наука, 1981.
35. Стрет Дж. (Лорд Рэлей). Теория звука. Т. 2. — М.: Л.: Гостехиздат, 1944.
36. Schrodinger E., Brit. J. Philos. Sci., (1952) {bf 3}, 233; Перевод: Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. — М.: Наука, 1976. С. 261.
37. Ditmore T. Nature (London), 1999. V. 398. P. 489.
38. Савватимова И. Б., Дэш Д., Франц С.: Матер. 10-й российской конф. по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. — Дагомыс, Сочи, 29 сентября — 6 октября 2002 г., Москва, 2003. С. 64.
39. Шаркова В. Ф. Доклад на семинаре "Экономические проблемы энергетического комплекса" ИАП РАН от 24 сентября 2002 года. — М.: Изд-во, ИАП. 2002.
40. Балакирев В. Ф., Крымский В. В., Болотов Б. В. и др. Взаимопревращения химических элементов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003.

Статья поступила в редакцию 15 мая 2004 г.

Influence of excitation and ionization of the atoms on the velocity of nuclear processes at low energies

F. A. Gareev, I. E. Zhidkova

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Yu. L. Ratis

Samara Aerocosmic State University, Samara, Russia

We have concluded that transmutation of nuclei at low energies 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.