

Когерентные и корреляционные эффекты в физике LENR (отзыв и дополнение к статье А.Г. Пархомова “Холодная трансмутация ядер: странные результаты и попытки их объяснений”)

В.И. Высоцкий¹

Работа [1] посвящена краткому изложению ряда экспериментов и нескольких теоретических моделей теории процессов, которые объединяются в проблему “холодного ядерного синтеза” (в современной трактовке — проблему LENR (проблему низкоэнергетических ядерных реакций)). Этот обзор достаточно хорошо освещает состояние проблемы LENR, но может быть дополнен и уточнен в некоторых вопросах.

В силу краткости обзорной статьи [1] ее автор упомянул только несколько базовых LENR экспериментов, среди которых более детально остановился на двух.

а) Эксперименты в киевской лаборатории “Протон-21” (научный руководитель — С.В. Адаменко) по формированию в процессе самоуправляемого коллапса макроскопического количества (порядка $10^{19} - 10^{20}$ ядер) сверхсжатого до итоговой ядерной плотности вещества мишени (обычно меди), которое при таком сжатии теряло свою индивидуальность и в финальной стадии было похоже на вещество нейтронной звезды, а при последующем расширении и свободном разлете перерождалось в ядра, соответствующие всей таблице Менделеева, а также лежащие далеко за ее пределами.

б) Эксперименты А.Росси с системой E-cat, содержащей нагретый нанопорошок никеля и водород при давлении 20-30 атм и проводимые, начиная с января 2011 года, в Болонье, а с 2012 — в США.

Эффективность экспериментов в лаборатории “Протон-21” можно оценить по соотношению энергии 100-200 Дж импульсного электронного драйвера, стимулирующего начало процесса самоуправляемого коллапса, и полной механической и тепловой энергии (в форме кинетической энергии разлета частиц и плазмы, энергии оптического излучения и др.), равной 1-2 КДж, а также полной суммарной энергии $\sim 30 - 50$

МДж, выделяемой в системе и затрачиваемой в процессе формирования и распада зоны коллапса на создание легких и тяжелых ядер с малой удельной энергией связи.

В экспериментах А.Росси эффективность процесса определялась соотношением “входной” и “выходной” мощностей $P_{in} \approx 1 - 2$ кВт и $P_{out} \approx 10$ кВт, если учитывать “входную” мощность, затрачиваемую при предварительном нагреве установки и, соответственно, $P_{in} \approx 100 - 125$ Вт и $P_{out} \approx 10$ кВт, если учитывать только энергозатраты в процессе рабочего режима установки после отключения источника предварительного нагрева.

Видно, что обе экспериментальные системы имеют очень высокую эффективность, но установка Росси имеет то несомненное преимущество, что она работает в непрерывном режиме и способна генерировать большую мощность в течении длительного времени.

Главный вопрос о механизме реализации самоуправляемого коллапса и полного перерождения ядер мишени (в том числе формирования стабильных легких, тяжелых, трансураниевых и сверхтяжелых ядер) в лаборатории “Протон-21” в данном обзоре [1] рассмотрен не вполне корректно и напрямую не связан “...с взрывом центральной части мишени под действием электронов”, как утверждает автор.

Удельная энергия пучка в этих экспериментах соответствовала среднему энерговыделению $\sim 1-10$ эВ/нуклон, что явно недостаточно для реализации фундаментальных ядерных преобразований с выделением полной энергии ~ 10 МэВ/нуклон.

Для примера укажем, что в Ливерморской лаборатории удельный энерговыделению от лазерного драйвера в экспериментах по инерционному ядерному синтезу на основе dt-мишеней равен $\sim (0.5-1)$ МэВ/нуклон, а итоговый выход избыточной энергии (в расчете на всю мишень) в настоящее время не превышает 1

¹ Киевский национальный университет им. Т.Шевченко, 01601, ул. Владимирская 64, Киев, Украина, vivysotskii@gmail.com

КэВ/нуклон. Заметим, что в этой системе энергия лазерного драйвера используется для нагрева и сжатия всей мишени.

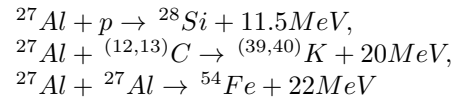
В экспериментальной установке лаборатории “Протон-21” принцип совсем другой — электронный пучок только запускает процесс низкотемпературного самосжатия мишени за счет формирования тонкого сферического плазменного слоя на поверхности мишени, состоящего в начальный момент возбуждения из слабо вырожденного электронного газа, который затем стремится с возрастающей скоростью и увеличивающейся плотностью к центру мишени. Механизм ускорения и сжатия этой плазмы, а также ядер мишени, по которым этот слой движется к центру, связан со спецификой кулоновского коллапса в пределах быстро движущейся вырожденной плазмы, причиной ускорения которой являются силы поверхностного натяжения на границе этого слоя. В очень упрощенном виде механизм ускорения аналогичен, например, механизму стягивания кольца (тора) из жидкой ртути к центру с образованием единой капли ртути.

В итоге этот самосжимаемый слой электронной плазмы поочередно “сканирует” весь объем мишени, экранируя по очереди кулоновское поле ядер и стимулируя энергетически выгодные пикноядерные реакции. В объеме, соответствующем текущему положению движущегося плазменного слоя с непрерывно возрастающей электронной плотностью, происходит синхронизованное с движением непрерывное смещение области максимума полной энергии связи электронно-ядерной системы от обычного значения $A_{opt} \approx 60$ до величин $A_{opt} > 100$, а при приближении к центру до $A_{opt} > 300$ и более. В центральной части мишени параметры плазменного слоя соответствуют ядерной плотности, что приводит к формированию в центре мишени вырожденной электрон-нуклонной плазмы (кратковременного микроаналога тяжелой звезды с массой $M > 4M_{\odot}$ в фазе завершения гравитационного коллапса), состав которой при этом может включать очень большое количество протонов и электронов, а время существования определяется силами инерции. В работах [2], [3], [4] показано, что вследствие быстроты процесса сжатия в зоне коллапса процессы нейтронизации, которые являются определяющими при коллапсе звезд, в лаборатории практически невозможны, а основным процессом является протонизация. Последующий развал этого объекта приводит к формированию и вылету различных ядер (включая сверхтяжелые), подавляющая часть которых оказывается стабильными. Стабильность этих объектов связана, в первую очередь, с очень большим размером (по сравнению с размерами “обычных” ядер) области электронно-нуклонной плазмы, вследствие чего процесс формирования и вылета формируемых ядер и кластеров соответствует адиабатическому режиму, при котором ядра всегда образуются в основном состоянии. Этот эффект аналогичен термализации быстрых нейтронов в массивном замед-

лителе. но более универсальный из-за термализации также внутренних степеней свободы ядер. Нестабильными могут быть только ядра, которые сформировались около поверхности этой области, а их доля в массивной центральной зоне коллапса очень мала. Детальный сценарий этого процесса описан в статьях [2]–[4] и монографии [5].

Очень краткое изложение результатов экспериментов представлено в [6].

Еще одно уточнение касается вопроса о природе и регистрации “странного излучения” в процессе экспериментов, проводимых в лаборатории “Протон-21”. В специально поставленных экспериментах с использованием кремниевых пластин, покрытых тонким слоем алюминия (МДП-структур), были исследованы механизмы формирования макроскопического периодического пустотелого канала (каньона), образуемого на поверхности МДП-структуры, установленной на расстоянии около 10 см от катода [7], [8]. В местах разрыва, где алюминий отсутствовал, трека не было. Вероятной причиной появления такой траектории может являться взаимодействие движущихся около поверхности магнитозаряженных частиц (магнитных монополей) с поверхностным парамагнетиком (Al в исходном виде) и диамагнитными слоями (Si, SiO_2 и Al в ионизованном состоянии) МДП-структуры: выталкивание из области диамагнетизма и притягивание к парамагнетикам. Анализ показал, что источником очень большого удельного энерговыделения $dQ_{tot}/dl \approx -10^6$ ГэВ/см, затрачиваемого на формирование этого канала в алюминии, могут быть процессы управляемого ядерного синтеза



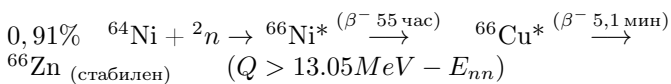
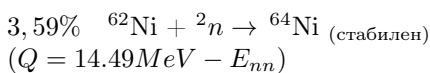
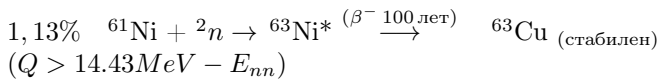
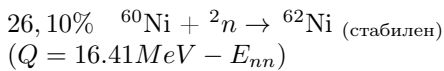
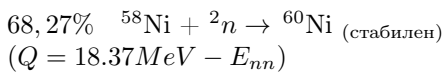
с участием ядер алюминия, водорода и углерода, входящих в состав очень тонкой пленки масла, образуемой при работе насоса и находящейся на поверхности алюминия.

Эти изотопы ($^{(39,40)}K$ и ^{54}Fe) были обнаружены при SIMS масс-спектрометрии стенок канала (кремний присутствует в самой мишени). Протекание таких реакций могло быть стимулировано очень сильным магнитным полем частицы, благодаря чему происходило сжатие электронных оболочек взаимодействующих атомов и экранирование зарядов ядер. В поле $H > H_{cr} = m_e^2 c e^3 / \hbar^3$ Эрстед атомы принимают иглообразный вид с неизменным продольным размером $2R_z \approx 1 \text{ \AA}$ и очень малым поперечным $2R_{\perp} \approx e c m_e / \hbar H \ll 2R_z$ [7], [8]. В этом случае ядра могут сближаться без отталкивания до расстояния $2R_{\perp}$ и участвовать в реакции. Было исследовано место отражения (кловообразный трек) касательного движения магнитозаряженной частицы по поверхности мишени, в котором был обнаружен случайно находившийся там фрагмент магни-

тоупорядоченной доменной структуры (микромагнит), состоящий из железа и кобальта, с сильным полем, отразившим магнитозаряженную частицу. По анализу всех этих объектов была оценена масса гипотетического магнитного монополя $M_g \leq 10^{-24}$ г, что на много порядков меньше, чем следовало из космологических оценок. Образование этих монополей может быть связано с двумя причинами — разрывом монополю-антимонопольных пар космологического происхождения в очень сильном неоднородном магнитном поле при “пинч-эффекте” тока пучка в процессе коллапса или прямой генерацией монополей в этом поле. Заметим, что вследствие очень большой энергии связи внутри таких пар ($E^{(int)} \approx -2M_g c^2$) они не имеют наблюдаемой массы и заряда, поскольку для такой пары частиц очень большая отрицательная потенциальная энергия связи компенсирует положительную энергии покоя этих частиц.

Другая часть замечаний к работе [1] относится к анализу и поиску возможного механизма экспериментов России.

Прежде всего необходимо отметить ошибочность утверждения автора [1] о том, что реакции с участием разных изотопов никеля и гипотетических динейтронов $2n$



могут объяснить отсутствие существенного гамма-излучения в этих экспериментах.

Простой анализ показывает, что во всех этих экзо-энергетических реакциях выделяется очень большая энергия $Q > 0$, величина которой приведена справа от соответствующих реакций. С учетом того, что согласно всем существующим оценкам энергия связи нейтронов в динейтроне $E_{nn} < 2.5$ МэВ, очевидно, что каждый из итоговых изотопов ${}^{60}\text{Ni}$, ${}^{62}\text{Ni}$, ${}^{63}\text{Ni}$, ${}^{64}\text{Ni}$, ${}^{66}\text{Ni}$ будет формироваться в сильновозбужденном состоянии с избыточной энергией $Q > 10$ MeV. Эти изотопы являются стабильными только в основном состоянии. Могут быть разные каналы релаксации этих сильновозбужденных состояний (в том числе испускание нейтронов, протонов и электронов, каскада гамма-квантов), но очевидно, что распад любого из них будет сопровождаться очень сильным рентгеновским и гамма-излучением.

Вследствие этого утверждение автора обзора [1] о том, что “...можно оценить выход гамма излучения: меньше 1 кванта на 1000 взаимодействий” является ошибочным. Таких квантов будет не меньше (а значительно больше из-за каскадных распадов), чем число взаимодействий. Очевидно, что реакции в экспериментах России будут проходить иным образом.

Кроме отмеченных автором обзора возможных механизмов реализации ядерного взаимодействия в экспериментах России следует указать еще на 2 механизма.

Первый из них основан на теории Видом-Ларсена [9], [10], суть которой связана с использованием реакции обратного бета-распада

$$\tilde{e}^- + p \rightarrow n + \nu,$$

$$\tilde{m}_e \equiv m_e + \Delta W/c^2 = \{m_e^2 + e^2 |\vec{E}(\vec{r}, t)|^2 / \Omega^2 c^2\}^{1/2},$$

$$\Delta W \geq 0.75\text{MeV}$$

для преобразования протонов в нейтроны при использовании “тяжелых” (“одетых”) электронов \tilde{e}^- . Авторы [9], [10] предполагают, что такие электроны могут формироваться за счет взаимодействия с сильным переменным полем плазменных колебаний с частотой Ω в приповерхностном слое никелевой мишени.

Механизм “одевания” хорошо известен в квантовой электродинамике и связан с тем, что в поле, описываемом векторным потенциалом \vec{A} , каждый из электронов образует комплекс, жестко связанный с полем, вследствие чего возрастает эффективная масса электрона. Оценки показывают, что для выполнения порогового условия реакции обратного бета-распада амплитуда электрического поля $\vec{E}(\vec{r}, t) = c^{-1} d\vec{A}(\vec{r}, t)/dt$ этих колебаний должна существенно превосходить напряженность, например, электрического поля внутри атома водорода. Последующее взаимодействие “синтезированных” нейтронов с ядрами разных изотопов никеля может объяснить, по мнению авторов, протекание ядерных реакций в экспериментах России. Анализ, проведенный в работе [11], показал крайне малую вероятность и очень низкую эффективность такого процесса в данном эксперименте. Основные причины, которые делают его нереальным, связаны с:

- невозможностью генерации таких полей с помощью спонтанных поверхностных плазмонов (вероятность флуктуационного увеличения массы ядра за счет такого механизма равна $w = \exp(-\Delta W/kT) \leq 10^{-4000000!}$);
- экранировкой поля $\vec{E}(\vec{r}, t)$ свободными электронами в матрице палладия;
- очень малой вероятностью реакции слабого взаимодействия $\tilde{e}^- + p \rightarrow n + \nu$ по сравнению с альтернативным процессом потери энергии ускоренных электронов \tilde{e}^- на ионизацию и возбуждение атомов мишени. Ускорение электронов при взаимодействии с поверхностными плазмонами связано с неоднородной структурой поля плазмонов $\vec{E}(\vec{r}, t)$.

Еще один реальный механизм преодоления кулоновского барьера в Ni+p взаимодействии связан с ис-

пользованием когерентных коррелированных состояний протонов в матрице никеля. В работе [12] показано, что при внешнем слабом периодическом воздействии с определенной частотой на поверхность металлической матрицы никеля возможно формирование таких плазмонных и фононных состояний матрицы, которые стимулируют формирование специального коррелированного суперпозиционного состояния ядер водорода, для которых прозрачность барьера возрастает на много порядков. Этот эффект связан с корреляцией флуктуаций колебательного состояния протонов в матрице никеля. Физическая суть этого эффекта связана со спецификой суперпозиционного состояния частицы в любой потенциальной яме. В такой системе в отсутствие специальной фазировки каждый из подуровней суперпозиционного состояния характеризуется нестационарными флуктуациями импульса $\Delta\vec{p}_n(t)$, что соответствует очень малой амплитуде суммарной флуктуации полной кинетической энергии

$$\begin{aligned}\langle\Delta T_{noncorr}\rangle &= \left\langle\left(\sum_n^N\Delta\vec{p}_n(t)\right)^2\right\rangle/2M = \\ &= N\langle(\Delta\vec{p}_n)^2\rangle/2M \sim N, \quad N \gg 1.\end{aligned}$$

При определенной фазировке этих состояний имеет место корреляция флуктуаций импульса и формирование очень больших флуктуаций полной кинетической энергии

$$\begin{aligned}\langle\Delta T_{corr}\rangle &= \left\langle\left(\sum_n^N\Delta\vec{p}_n(t)\right)^2\right\rangle/2M = \\ &= N\langle(\Delta\vec{p}_n)^2\rangle/2M + N^2\langle\Delta\vec{p}_n\Delta\vec{p}_m\rangle/2M \sim N^2.\end{aligned}$$

Величина этих флуктуаций $\langle\Delta T_{corr}\rangle$ может на много порядков превосходить полную энергию частицы и даже превышать высоту барьера, что сразу приводит к резкому просветлению потенциального барьера, ограничивающего потенциальную яму. В формальном отношении этот процесс формирования очень больших флуктуаций энергии и полного импульса соответствует модифицированному соотношению неопределенностей (соотношению неопределенностей Гейзенберга-Робертсона) [12], [13]

$$\delta x \delta p \geq \hbar/2\sqrt{1-r^2}, \quad \delta E \delta t \geq \hbar/2\sqrt{1-r^2}, \quad (1)$$

правая часть каждого из которых зависит от коэффициента корреляции $-1 \leq r \leq 1$.

Для некоррелированного состояния с $r = 0$ эти соотношения переходят в соотношение неопределенностей Гейзенберга и характеризуется малыми флуктуациями энергии δE и импульса δp . Для сильнокоррелированных состояний с $|r| \rightarrow 1$ амплитуда флуктуаций энергии и импульса может стать неограниченно большой [12], [13].

Аналогичный процесс очень значительного просветления потенциального барьера может быть обеспечен за счет формирования когерентных коррелированных состояний взаимодействующих частиц при монотонной деформации потенциальной ямы [13]. Эта модель

объединяет “горячий” и низкотемпературный синтез — сквозь барьер частицы проходят за счет большой флуктуации энергии, а последующее взаимодействие соответствует LENR. Подобный процесс может иметь место в экспериментах России.

Этот процесс также может успешно объяснить явления широкомасштабной ядерной трансмутации стабильных [14] и радиоактивных изотопов (в том числе утилизация реакторного изотопа $^{137}\text{Cs} + p = ^{138}\text{Ba}$ [15], [16]) в естественных нестационарных наноямах, неизбежно возникающих в зоне роста растущих биологических систем. Эксперименты, проведенные в оптимальных условиях [15], [16] показали высокую эффективность подобных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пархомов А.Г. Холодная трансмутация ядер: странные результаты и попытки их объяснений. *Журнал формирующихся направлений науки*, 1(1), 2013.
- [2] Adamenko S.V., Vysotskii V.I. Mechanism of synthesis of superheavy nuclei via the process of controlled electron-nuclear collapse. *Foundations of Physics Letters*, 17(3):203–233, 2004.
- [3] Adamenko S.V., Vysotskii V.I. Evolution of annular self-controlled electron-nucleus collapse in condensed targets. *Foundations of Physics*, 34(11):1801–1831, 2004.
- [4] Adamenko S.V., Vysotskii V.I. Neutronization and protonization of nuclei — two possible ways of the evolution of astrophysical objects and the laboratory electron-nucleus collapse. *Foundations of Physics Letters*, 19(1):21–36, 2006.
- [5] Adamenko S., Selleri F., Merwe A., editor. *Controlled Nucleosynthesis. Breakthroughs in Experiment and Theory*, volume 156 of *Fundamental Theories of Physics*. Springer, 2007.
- [6] Адаменко С.В., Высоцкий В.И. Успешная реализация полномасштабного коллапса твердотельной мишени и современные проблемы энергетики. *Интеграл*, 7(27):32–35, 2006.
- [7] Адаменко С.В., Высоцкий В.И. Экспериментальное обнаружение и моделирование ориентационного движения гипотетических магнито-заряженных частиц на многослойной поверхности. *Поверхность*, (3):84–92, 2006.
- [8] S.V. Adamenko, V.I. Vysotskii. Experimental observation and analysis of action of light magnetic monopoles on multilayer surfaces. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 33(1):1–17, 2008.
- [9] Widom A., Larsen L. Ultra low momentum neutron catalyzed nuclear reactions on metallic hydride surfaces. *European Phys. Jour. C*, 46(1):107–111, 2006.
- [10] Srivastava Y. N., Widom A., Larsen L. A primer for electroweak induced low-energy nuclear reactions. *PRAMANA. Journal of Physics*, 75(4):617–637, 2010.
- [11] Srivastava Y. N., Widom A., Larsen L. Critique of the Widom-Larsen Theory. *Infinite Energy*, (Issue 105, September/October):37–41, 2012.
- [12] Высоцкий В.И., Адаменко С.В. Коррелированные состояния взаимодействующих частиц и проблема прозрачности кулоновского барьера при низкой энергии в нестационарных системах. *Журнал технической физики*, 80(5):23–31, 2010.
- [13] Высоцкий В.И., Высоцкий М.В., Адаменко С.В. Особенности формирования и применения коррелированных состояний в нестационарных системах при низкой энергии взаимодействия взаимодействующих частиц. *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, 141(2):276–287, 2012.
- [14] Высоцкий В.И., Корнилова А.А. *Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах*. Мир, Москва, 2003.
- [15] Vysotskii V.I., Kornilova A.A. *Nuclear transmutation of stable and radioactive isotopes in biological systems*. Pentagon Press, India, 2010.
- [16] Vysotskii V.I., Kornilova A.A. Low-energy Nuclear Reactions and Transmutation of Stable and Radioactive Isotopes in Growing Biological Systems. *Journal Condensed Matter Nucl. Sci.*, 4:146–160, 2011.