

# Анализ эффективности термостимулированного нейтринного механизма реализации LENR (рецензия на статью А.Г. Пархомова «LENR как проявление слабых ядерных взаимодействий»)

В.И. Высоцкий

Проблемы, рассматриваемые в статье А.Г. Пархомова «LENR как проявление слабых ядерных взаимодействий», относятся к числу самых актуальных и важных в современной ядерной физике. Большое количество успешных экспериментов, проведенных в лабораториях разных стран, стимулирует поиск механизмов реализации LENR. Я полагаю, что такие исследования, в которых делается попытка выявить механизм осуществления ядерных реакций при низкой энергии, характеризующихся рядом уникальных характеристик, вне всякого сомнения, должны приветствоваться.

Автор рецензируемой статьи предполагает, что конкретный механизм связан с влиянием на ядерные процессы медленных нейтрино или антинейтрино. По мнению автора, образование таких частиц связано с упругим рассеянием электронов при их столкновении с ядрами или ионами в конденсированной среде. При таком столкновении рождаются виртуальные фотоны, которые действительно могут родить пару нейтрино-антинейтрино. Автор оценил темп формирования этих пар величиной  $N_{\nu\bar{\nu}} \approx 10^{26}$  пар  $\nu\bar{\nu}/\text{см}^3\text{с}$ .

Эта точка зрения имеет право на существование, но она должна быть подкреплена корректными численными оценками, основанными на хорошо апробированном аппарате ядерной физики и квантовой механики.

Такой процесс  $e^-e^+ \rightarrow X \rightarrow \nu\bar{\nu}$  протекает с очень малой вероятностью при электрон-позитронной аннигиляции, когда рождается виртуальный фотон, порождающий пару нейтрино и антинейтрино. Хорошо известно, что вероятность этого процесса при малой кинетической энергии сталкивающегося электрона и позитрона очень мала по сравнению с «традиционным» каналом аннигиляции – рождением пары гамма-квантов  $e^-e^+ \rightarrow X \rightarrow \gamma + \gamma$ .

Это связано, в первую очередь, с тем, что рождение пары нейтрино-антинейтрино соответствует слабому

взаимодействию, а пары гамма-квантов – несопоставимо более сильному электромагнитному взаимодействию. Следует отметить, что минимальная полная энергия виртуальных фотонов (которые затем становятся реальными) при такой аннигиляции соответствует  $2m_e c^2 = 1.022$  МэВ. Вероятность рождения пары нейтрино-антинейтрино резко возрастает при увеличении энергии сталкивающегося электрона и позитрона, что связано с увеличением плотности конечных состояний формируемых частиц  $\nu\bar{\nu}$  в импульсном пространстве.

В частности, этот процесс является одним из основных механизмов генерации нейтрино и антинейтрино в процессе формирования нейтронной звезды или черной дыры и реализуется при температуре  $kT \approx 1 - 100$  МэВ в веществе с плотностью  $10^7 - 10^{15}$  г/см<sup>3</sup>. Необходимо отметить, что вероятность этого процесса даже при таких экстремальных условиях в зоне коллапса намного меньше соответствующей вероятности образования пары гамма-квантов, но эти кванты не могут покинуть объем сверхсжатого состояния коллапсирующей звезды и сразу исчезают, повторно формируя аналогичные электрон-позитронные пары или стимулируя другие нелинейные явления. Такой цикл может повторяться много раз, пока не образуется пара  $\nu\bar{\nu}$ , компоненты которой сразу покидают зону коллапса.

Совсем другая ситуация соответствует ядерным реакциям в нормальных («земных») условиях. Энергия в виде виртуальных или реальных квантов, выделяемая в процессе упругого столкновения электронов с ядрами (ионами) в конденсированной среде, много меньше  $2m_e c^2$ . Соответственно, вероятность рождения пары нейтрино-антинейтрино будет в этом случае невероятно мала. В этом легко убедиться, если провести простой расчет с использованием типичного сечения слабого взаимодействия с участием нейтрино (антинейтрино) в упругих процессах  $\sigma_\nu/E \approx 10^{-38}$  см<sup>2</sup>/ГэВ. Это сечение при энергии  $m_e \nu_e^2/2 \approx 0.1$  эВ равно  $\sigma_\nu \approx 10^{-48}$  см<sup>2</sup>. Если принять, что в термостимулированных соударениях участвует  $n_e \approx 10^{23}$  см<sup>-3</sup> электронов и такое же коли-

чество  $n_n$  ионов (ядер), то полное число соударений в  $1 \text{ см}^3$  равно величине

$$N_{ei} = n_e(n_n\sigma_a\nu_e) \approx 10^{36} \text{ соударений/см}^3\text{с}$$

что совпадает с оценкой А.Г.Пархомова. Здесь  $\sigma_a \approx 10^{-16} \text{ см}^2$  – типичное сечение рассеяния медленного электрона на атомарном ионе.

На основе этих параметров можно оценить количество пар нейтрино-антинейтрино

$$N_{\nu\bar{\nu}} \approx n_e(n_n\sigma_\nu\nu_e) = N_{ei}\sigma_\nu/\sigma_a \approx 10^4 \text{ пар } \nu\bar{\nu}/\text{см}^3\text{с},$$

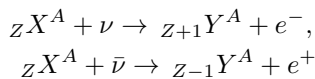
которые образуются в таких столкновениях.

Эта величина в  $10^{22}$  раз меньше той оптимистической оценки, на которую указал автор статьи, полагая, что в одном из  $10^{10}$  электрон-ядерных соударений генерируется пара нейтрино-антинейтрино. Даже если предположить, что в процессе такого преобразования дополнительно участвует та малая часть электронов проводимости, которые находятся на верхних уровнях зоны проводимости и имеют энергию около 5-10 эВ, то это увеличит сечение образования пар в  $10^2$  раз, но практически не изменит эффективность их генерации из-за малого количества быстрых электронов проводимости около уровня Ферми.

Задача об особенностях неупругого взаимодействия таких очень медленных нейтрино с ядрами этой же мишени и с учетом коллективных эффектов может быть решена на основе строгого квантовомеханического анализа, но очевидно, что вероятность их захвата в пределах небольших мишеней в любом случае будет очень малой.

Исходя из этих оценок, несложно прийти к выводу, что теоретически допустимый (но предельно маловероятный) процесс генерации нейтрино за счет электрон-ядерных столкновений в условиях реально проводимых LENR экспериментов никак не может обосновать очень фундаментальные ядерные преобразования, наблюдаемые в этих экспериментах.

Следует отметить еще одно очень важное обстоятельство. Очевидно, что медленные нейтрино (антинейтрино) могут стимулировать только экзоэнергетические реакции в радиоактивных ядрах (в частности, они могут стимулировать ускоренный распад свободного нейтрона  $n + \nu \rightarrow p + e^-$ ), но принципиально не могут стимулировать эндоэнергетические реакции типа



с участием любых стабильных ядер, которые могут протекать только при использовании нейтрино и антинейтрино очень высокой энергии! Именно такие процессы (в основном – второй из них) отвечают за процесс формирования ядер с массой, больше ядра железа при взрыве сверхновых. Это очень важное обстоятельство прямо связано с законом сохранения энергии при превращении стабильных ядер, который может быть выполнен за счет поглощения очень быстрых нейтрино,

но принципиально не может быть обеспечен за счет поглощения медленных нейтрино!

При этом следует напомнить, что абсолютное большинство успешных LENR экспериментов (за исключением экспериментов по трансмутации радиоизотопов в биологических системах [1], [2]), реализуемых без внешнего силового воздействия (т.е. без внесения большой дополнительной энергии), проведены именно со стабильными изотопами. Это обстоятельство еще раз показывает малую эффективность использования медленных нейтрино для обоснования механизма LENR.

Необходимо отметить, что А.Г.Пархомов сам неоднократно ранее подтверждал эту точку зрения, очень убедительно рассматривая влияние медленных космологических нейтрино на годовые и суточные вариации темпа распада радиоактивных ядер [3]. Можно сделать еще одно уточнение к рассматриваемой статье. Оно связано с утверждением о необходимости наличия плотной среды для реализации LENR. В работах [4], [5], [6], [7] показано, что такие процессы очень эффективно протекают также в газе при действии на него импульсного магнитного поля, связанного с электрическим разрядом [4], [5], [6] или при движении протонов в парах лития [7].

К положительной стороне данной статьи также следует отнести идею о возможности влияния размера области квантовомеханической делокализации очень медленных нейтрино (антинейтрино) на эффективность их взаимодействия с конденсированной средой. Следует, однако, заметить, что эта идея, внешне похожая на известное увеличение сечения ядерного захвата нейтронов при уменьшении их энергии, имеет то очень существенное отличие, что «геометрическая» часть сечения в случае нейтрино возрастает при уменьшении энергии, а «внутренняя» часть, связанная с матричным элементом энергии взаимодействия, при этом же условии уменьшается. В случае нейтрона вторая часть сечения при уменьшении энергии остается неизменной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Vysotskii V.I., Kornilova A.A. Transmutation of stable isotopes and deactivation of radioactive waste in growing biological systems. *Annals of Nuclear Energy*, 62:626–633, 2013.
- [2] Корнилова А.А., Высоцкий В.И. Синтез и трансмутация стабильных и радиоактивных изотопов в биологических системах. *РЭНСИТ*, 9(1):52–64, 2017.
- [3] Parkhomov A.G. Deviation from beta radioactivity exponential drop. *J. Mod. Phys.*, 2:1310–1317, 2011.
- [4] Высоцкий В.И., Высоцкий М.В. Формирование коррелированных состояний и туннелирование при низкой энергии и управляемом импульсном воздействии на частицы. *ЖЭТФ*, 152(2):234–251, 2017.
- [5] Gurevich A. V., V. P. Antonova, A. P. Chubenko, A. N. Karashtin, G. G. Mitko, M. O. Ptitsyn, V. A. Ryabov, A. L. Shepetov, Yu. V. Shlyugaev, L. I. Vildanova, K. P. Zybin. Strong Flux of Low-Energy Neutrons Produced by Thunderstorms. *Phys. Rev. Lett.*, 108:125001, 2012.
- [6] Залиханов Б.Ж. От электронной лавины до грозового разряда. *Phys. Rev. Lett.*, 47(1):193, 2016.

- [7] Высоцкий В.И., Высоцкий М.В., Берталуччи С. Особенности формирования когерентных коррелированных состояний и ядерный синтез при взаимодействии медленных частиц с кристаллами и свободными молекулами. *ЖЭТФ*, 154(3):569–574, 2018.