

LENR как проявление слабых ядерных взаимодействий

А.Г. Пархомов

Аннотация—Малая масса нейтрино (антинейтрино) делает возможным их интенсивную генерацию в результате соударений частиц вещества при тепловом движении. Возникающие нейтрино (антинейтрино) имеют энергию порядка 0,1 эВ. При такой энергии длина волны де-Бройля около 5 мкм. Это означает, что в ядерные слабые взаимодействия вовлекается огромное число атомов, что делает эффекты от ядерных трансформаций с участием нейтрино (антинейтрино) реально наблюдаемыми. Рассмотрение термической генерации нейтрино как основы ядерных трансформаций в процессе LENR позволяет объяснить целый ряд особенностей этого явления.

I. ВВЕДЕНИЕ

Обширный класс явлений, которые называют «низкоэнергетическими ядерными реакциями» (НЭЯР, LENR) или «холодными трансмутациями ядер» (ХТЯ) или устаревшим «холодным синтезом», на самом деле не являются ни низкоэнергетическими (энергии выделяется очень много), ни холодными (можно ли назвать холодным процесс, протекающий при тысячеградусных температурах?). Неудовлетворительность применяемых терминов очевидна всем исследователям этого явления. Но пока физический механизм этого явления не выяснен, возможна лишь условная терминология. В дальнейшем мы будем использовать наиболее популярный у нас и за рубежом благозвучный термин «LENR».

LENR очень разнообразен. Это и процессы в металлах с растворенным в них водородом. Это и процессы в плазме, в газовом разряде и даже в биологических системах. На первый взгляд, в этих процессах нет ничего общего. Но при внимательном рассмотрении можно заметить четыре объединяющих их особенности.

Первая особенность состоит в том, что они имеют вполне ощутимый энергетический порог. Особенно отчетливо это видно на примере никель-водородных реакторов, интенсивное избыточное тепловыделение в которых происходит только при температурах выше 1200°C [1], [2], т.е. когда средняя энергия частиц вещества при тепловом движении превышает 0,1 эВ. В электроплазменных реакторах [3], [4] температура достигает нескольких тысяч градусов (десяти доли эВ). В установках с плазмой тлеющего газового разряда [5], [6] энергия электронов порядка 1 эВ. На первый взгляд

процессы, в которых признаки LENR обнаружены при комнатной температуре (электролиз [7], биология [8], [9]), являются исключением из этого правила. Но на самом деле, для актов энергообмена как в электрохимии, так и в процессах клеточного метаболизма характерны именно энергии порядка 1 эВ.

Второй особенностью является то, что процессы LENR происходят в достаточно плотной среде (твердое, жидкое состояние или плотная плазма).

Третьей особенностью является большое разнообразие нуклидов, возникающих в процессе LENR.

Четвертой особенностью является отсутствие (или очень малая интенсивность) жестких ядерных излучений (нейтроны, гамма кванты), которое, казалось бы, неизбежно должно возникать при ядерных трансформациях.

Эти особенности могут указать путь поиска физического механизма LENR. Надо искать механизм, проявляющийся при энергиях больше 0,1 эВ, дающий большое разнообразие нуклидов, а изменения на ядерном уровне не вызывают появления жестких излучений. Кроме того, искомый механизм должен решить проблему «кулоновского барьера», так как энергии порядка 1 эВ совершенно недостаточны для его преодоления в процессе ядерных столкновений.

В ряде работ было высказано предположение, что для решения проблемы объяснения LENR необходимо привлечь слабые ядерные взаимодействия [10], [11], [12], [13]. Я постараюсь показать, что на этом пути можно объяснить все указанные особенности LENR. Отмечу, что в слабых взаимодействиях (бета-процессах) проблемы кулоновского барьера не существует.

II. Порог LENR

Наличие нейтрино (антинейтрино) является необходимым условием для того, чтобы происходили ядерные преобразования, связанные со слабыми взаимодействиями. Так как нейтрино имеет очень маленькую массу (в настоящее время считается, что масса электронного нейтрино и антинейтрино не превышает 0,28 эВ [14]), они могут, хотя и с малой вероятностью, образовываться в результате неупругих столкновений частиц вещества (электронов, ионов, нейтральных атомов) при их тепловом движении. В основном же, при неупругих столкновениях частиц рождаются не нейтрино, а фотоны. Рожденные фотоны, если они обладают до-

статочной энергией, могут с небольшой вероятностью распадаться на пару нейтрино-антинейтрино.

Так как точных данных о массе нейтрино нет, для оценочных расчетов будем считать, что минимальная энергия для образования пары нейтрино-антинейтрино равна 0,5 эВ. Среднюю энергию 0,5 эВ имеют частицы в теле, нагретом до 3200°C. Напомню, что средняя энергия теплового движения $\bar{\varepsilon} = 1,5kT$ ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $T=t(^{\circ}\text{C})+273,15$ – абсолютная температура). Такую и более высокую энергию имеют некоторые частицы и при меньшей температуре. Воспользовавшись функцией распределения энергии частиц при тепловом движении [15]

$$f(\varepsilon) = \frac{2\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right),$$

можно найти зависимость от температуры доли частиц, имеющих энергию выше заданной. Для пороговой энергии 0,5 эВ эта зависимость показана на рис. 1. При комнатной температуре доля таких частиц 10^{-8} . Заметная доля частиц с энергией выше 0,5 эВ появляется только при температуре около 1000°C. При температуре 1600°C таких частиц уже 10%, а при температуре 4500°C 50%. Таким образом, при сделанных допущениях порог термической генерации нейтрино-антинейтринных пар около 1000°C.

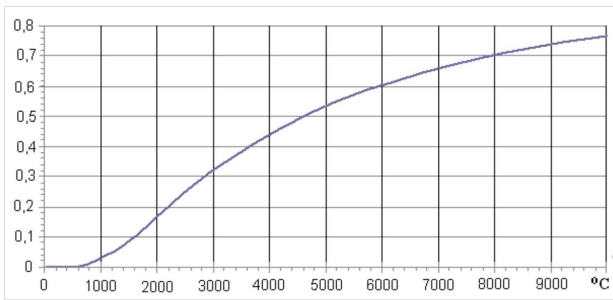


Рис. 1. Доля частиц, имеющих энергию выше 0,5 эВ в зависимости от температуры.

III. НЕОБХОДИМОСТЬ ПЛОТНОЙ СРЕДЫ

В настоящее время уровень знаний о свойствах нейтрино недостаточен для надежного определения вероятности образования нейтрино и антинейтрино при термических столкновениях частиц вещества. Ясно только, что вероятность этого небольшая. Маленькая вероятность компенсируется большим числом соударений. Сделаем оценку числа соударений в секунду при тепловом движении в металлах. Чаще всего в металлах сталкиваются электроны с атомами. Длина пробега между столкновениями около 10^{-8} м. Скорость движения электронов при температуре 2000К около $2 \cdot 10^5$ м/с [16, стр.117]. Следовательно, электрон при своем тепловом движении испытывает $2 \cdot 10^{13}$ столкновений в секунду. Учитывая, что число свободных электронов в 1 см³ металла порядка 10^{23} [16, стр.115], найдем число столкновений в секунду в 1 см³ металла: $2 \cdot 10^{36}$. Столь огромное число столкновений позволяет предположить, что в

достаточно горячих металлах нейтрино и антинейтрино возникают с интенсивностью, достаточной для инициации ядерных трансформаций, дающих значительное энерговыделение даже при очень малых вероятностях процессов, связанных с нейтрино. Допустим, что лишь одно из 10^{10} соударений порождает пару нейтрино-антинейтрино, и лишь одно из 10^{10} нейтрино или антинейтрино вызывает ядерную трансформацию. Даже при таких огромных потерях 1см³ горячего металла производит $2 \cdot 10^{16}$ ядерных трансформаций в секунду. В каждом акте таких трансформаций выделяется порядка 1 МэВ. Так как 1 Дж эквивалентен $6,25 \cdot 10^{12}$ МэВ, мощность выделяемой энергии примерно 2 кВт.

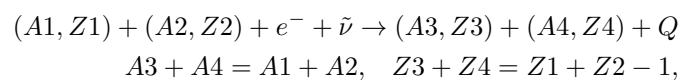
Сделаем аналогичную оценку для газа, нагретого до температуры, достаточной для термической генерации нейтрино (несколько тысяч °C). В газе даже при таких температурах электронов и ионов значительно меньше, чем нейтральных атомов (молекул), поэтому сталкиваются преимущественно атомы (молекулы). Скорость их движения порядка 10^3 м/с, а длина пробега до столкновения при атмосферном давлении около 10^{-7} м [17]. Следовательно, атом (молекула) испытывает около 10^{10} столкновений в секунду. В 1 см³ горячего газа при атмосферном давлении содержится около 10^{19} атомов (молекул). В нем происходит около 10^{29} столкновений в секунду, что на 7 порядков меньше, чем в металлах.

Таким образом, в газе, нагретом до температуры несколько тысяч градусов, термическая генерация нейтрино и антинейтрино хотя и возможна, но происходит с интенсивностью на много порядков меньшей, чем в металлах. Для интенсивной генерации нужна горячая плотная среда с большим содержанием свободных электронов. Кроме металлов, такой средой является плазма высокой плотности, которая кратковременно возникает, например, при взрывах металлических проводников или при достаточно сильном импульсном энерговыделении в жидкостях.

IV. МНОГОЯДЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И МНОГООБРАЗИЕ ВОЗНИКАЮЩИХ НУКЛИДОВ

Как указано в работах [11], [12], [13], огромное разнообразие нуклидов, возникающих в процессе LENR, может быть достигнуто, если во взаимодействие вовлекается сразу несколько ядер. В статье [13] сделано сообщение о компьютерном расчете возможных вариантов энергетически выгодных ядерных преобразований двух стабильных нуклидов в два других стабильных нуклида с участием электронов и нейтрино (антинейтрино), в которых выполняются законы сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов. Рассмотрены:

перегруппировки нуклонов с поглощением электронов:



например, ${}^{60}\text{Ni} + {}^1\text{H} + e^- + \tilde{\nu} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^{57}\text{Fe} + 0,569\text{МэВ}$,

и перегруппировки нуклонов с выделением электронов:

$$(A1, Z1) + (A2, Z2) + \nu \rightarrow (A3, Z3) + (A4, Z4) + e^- + Q$$

$$A3 + A4 = A1 + A2, \quad Z3 + Z4 = Z1 + Z2 + 1,$$

например, ${}^{61}\text{Ni} + {}^{64}\text{Ni} + \nu \rightarrow {}^{63}\text{Cu} + {}^{62}\text{Ni} + e^- + 0,995\text{МэВ}$.

Обнаружено 263546 вариантов преобразований первого типа и 433536 вариантов второго типа. Число выявленных вариантов огромно. Но это далеко не все возможности. В процессы такого рода могут вовлекаться более двух ядер, возможны процессы с участием нескольких электронов.

Процессы, связанные со слабыми ядерными взаимодействиями, крайне маловероятны, если участвующие в них нейтрино (антинейтрино) имеют энергию порядка 1 МэВ и выше. Такие нейтрино (антинейтрино) возникают в процессах бета распадов или генерируются на ускорителях. Но когда они возникают в результате тепловых столкновений, ситуация значительно лучше. Такие нейтрино (антинейтрино) имеют кинетическую энергию не выше десятых долей эВ. В отличие от «ядерных» нейтрино, они имеют длину волны де-Бройля, значительно превышающую межатомные расстояния. При массе 0,28 эВ и кинетической энергии 0,1 эВ длина волны де-Бройля около 5 мкм. Это означает, что область взаимодействия охватывает огромное число атомов (порядка 10^{13} в твердом или жидком веществе), что делает возможными трансформации, захватывающие множество атомов и ядер, в результате чего даже маловероятные процессы становятся заметными [18], [19].

V. ОТСУТСТВИЕ ЖЕСТКИХ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В описанном механизме перегруппировка нуклонов происходит без внесения энергии, которая могла бы вызвать возбуждение ядерных уровней, высвечивание которых могло бы привести к излучению гамма квантов. Дефицит вносимой энергии приводит к тому, что из всех возможных вариантов преобразований реализуются те, при которых образуются максимально устойчивые нуклиды, не склонные ни к альфа или бета радиоактивности, ни к испусканию нейтронов. Выделяющаяся энергия реализуется в виде кинетической энергии возникающих нуклидов. Несмотря на то, что они могут иметь энергию до нескольких МэВ, при их торможении жесткая радиация не возникает, так как массивные заряженные частицы даже при высоких энергиях теряют свою энергию в основном в результате ионизации и возбуждения атомов среды, в которой они движутся [20]. При этом происходит излучение электромагнитной радиации, но «мягкой», с энергией квантов до нескольких кэВ. Кроме того, излучение «мягких» квантов происходит при нормализации деформированных электронных оболочек возникших нуклидов.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нейтрино принято считать практически неуловимыми, проявляющимися лишь в сложнейших экспериментах на огромных установках. Но при этом не принимается во внимание, что свойства нейтрино при очень низких энергиях столь же сильно отличаются от свойств «ядерных» нейтрино, как, например свет отличается от гамма излучения или газообразный гелий отличается от альфа частиц. А охват взаимодействием огромного числа атомов приводит к существенному возрастанию взаимодействия нейтрино с веществом, к вовлечению в ядерные трансформации сразу множества атомов. Это позволяет объяснить целый ряд особенностей протекания LENR.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Levi G., Foschi E, Høistad B. Observation of abundant heat production from a reactor device and of isotopic changes in the fuel. – <http://www.sifferkoll.se/sifferkoll/wp-content/uploads/2014/10/LuganoReportSubmit.pdf>.
- [2] Пархомов А.Г., Алабин К.А., Андреев С.Н и др. Никель-водородные реакторы: тепловыделение, изотопный и элементный состав топлива. *РЭНСИТ*, 9(1):74–93, 2017.
- [3] Вачаев А.В., Иванов Н.И., Иванов А.Н., Павлова Г.А. 'Способ получения элементов и устройство для его осуществления'. Патент РФ № 2096846, МКИ G 21 G 1/00, H 05 H 1/24. Заявл. 31.05.94 // Изобретения. 1997. № 32. С. 369.
- [4] Бажутов Ю.Н., Герасимова А.И., Корецкий В.П., Пархомов А.Г. Особенности потребления электроэнергии, выделения тепла и излучения в процессе плазменного электролиза. *Материалы 21-й РКХТЯ и ИИМ, Москва, 2015, с.122*.
- [5] Savvatimova I.B. Transmutation of Elements in Low-energy Glow Discharge and the Associated Processes. *J. Condensed Matter Nucl. Sci.*, (8):1–19, 2011.
- [6] <https://lenr.su/obosnovaniya-dlya-postrojki-gazorazryadnogo-me-hd-xyas-reaktora>.
- [7] Fleischmann M., Pons S. Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, (261 (2 A)):301–308, 1989.
- [8] Kervran L. *Biological Transmutations*. Happiness Press, USA, Magalia, California, 1998.
- [9] Корнилова А.А., Высоцкий В.И. Синтез и трансмутация стабильных и радиоактивных изотопов в биологических системах. *РЭНСИТ*, 9(1):52–64, 2017.
- [10] Ратис Ю.Л. О возможности существования долгоживущего экзотома 'нейтроний'. *ЖФНН*, 1(2):27–42, 2013.
- [11] Мышинский Г.В. Магнитные поля трансатомов. Спиновый-нуклидный-электронный конденсат. *ЖФНН*, 15-16(5):6–25, 2017.
- [12] Filippov D.V., Urutskoev L.I. On the possibility of nuclear transformation in low-temperature plasma from the viewpoint of conservation laws. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 29(3):1187–1205, 2004.
- [13] Пархомов А.Г. Многообразие нуклидов, возникающих в процессе холодных ядерных трансмутаций с участием электронов. *ЖФНН*, 6(21-22):131–132, 2018.
- [14] Thomas S.A., Abdalla F.B. and Lahav O. Upper Bound of 0.28 eV on Neutrino Masses from the Largest Photometric Redshift Survey. *Phys. Rev. Lett.*, 105(3):031301, 2010.
- [15] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Статистическая физика*. Наука, М., 1964. с.108.
- [16] *Физическая энциклопедия. Т.3. Ред. Прохоров А.М.* Большая Российская энциклопедия, М., 1992.
- [17] Каганов И.Л. *Ионные приборы*. Энергия, М., 1972. 528 с.
- [18] Parkhomov A.G. Deviations from beta radioactivity exponential drop. *J. Mod. Phys.*, (2):1310–1317, 2011.
- [19] Пархомов А.Г. Ритмические и спорадические изменения скорости бета распадов. Возможные причины. *ЖФНН*, 6(21-22):86–96, 2018.
- [20] Мухин К.Н. *Введение в ядерную физику*. Атомиздат, М., 1965. с. 203-212.