

Низкоэнергетическая трансмутация атомных ядер химических элементов.

В.Д. Кузнецов, Г.В. Мышинский
г.Дубна, Московская обл., Россия

Аннотация

Дается краткий обзор экспериментальных результатов по превращению (трансмутация) атомных ядер одних химических элементов в другие при низких энергиях. Коэффициент трансмутации в ряде опытов достигает десятков процентов. Предложена феноменологическая модель процесса трансмутации. Сделан расчет возможных конечных продуктов, получающихся в этом процессе, с учетом энергетических балансов ядерных превращений. Указываются три механизма запрета явления трансмутации в рамках современных физических представлений. Делается вывод, что единственной возможностью согласования этих запретов и наблюдаемых процессов трансмутации является увеличение области протекания реакций до атомных размеров.

Введение

В последние 10 лет в печати регулярно появляются сообщения об экспериментальном наблюдении аномального физического явления - низкоэнергетической трансмутации атомных ядер химических элементов. Суть этого явления заключается в том, что в слабовозбужденных в масштабах ядерной физики, конденсированных средах одни химические элементы превращаются в другие. Явление низкоэнергетической трансмутации элементов (далее – НТЭ или трансмутация) было зарегистрировано при тлеющем разряде в палладиевом и других металлических катодах [1-5], при электронной плавке слитков циркония в вакуумной печи [6], при ультразвуковой обработке водных солевых растворов [7], при электровзрывах металлических фольг в жидкой диэлектрической среде [8,9], при осуществлении электрического разряда в водно-минеральной среде [10], при воздействии импульсным током на свинец в магнитном поле [11], в растущих биологических структурах [12,13] и других.

Наряду с тем, что во всех этих экспериментах **появляются новые элементы**, отсутствующие в исходном материале до начала указанных процессов, в продуктах трансмутации зарегистрировано **отношение изотопов** химических элементов, отличное от природного [2,4-8]. Как правило, в большинстве экспериментов продуктами трансмутации являются **стабильные изотопы** элементов. При этом во время проведения опытов радиоактивные излучения также не обнаружены. Более того, имеется сообщение о превращении радиоактивных изотопов в стабильные [7]. В некоторых экспериментах [3-5] удалось зарегистрировать рентгеновское- и гамма-излучение, излучение заряженных частиц, а также радиоактивные изотопы. При этом, по оценкам авторов публикаций число образовавшихся в результате трансмутации стабильных изотопов в 10^{12} - 10^{13} раз больше, чем радиоактивных изотопов. Другой характерной особенностью процесса НТЭ является то, что в тех экспериментах, где это возможно сделать, регистрировалась **избыточная тепловая энергия** [4,5,7]. Некоторые авторы подчеркивают, что процесс трансмутации сопровождается **неизвестным излучением**, которое оставляет свои “странные” следы в фотоэмульсиях, на шлифах металлов, и которое при взаимодействии с веществом изменяют его структуру и химический состав [6-8,14,15].

Настоящая публикация ставит перед собой задачу привлечения внимания научной общественности к труднообъяснимому, но многократно подтвержденному явлению. Поэтому она имеет “облегченную” форму изложения. В частности, статья сопровождается минимальным набором графиков и таблиц. Основой для нее послужила большая публикация [9] с таблицами, анализом ошибок и выполненная расширенным составом авторов.

I Краткий обзор

Этот обзор содержит наиболее яркие, с нашей точки зрения, экспериментальные работы российских ученых по проблеме низкоэнергетической трансмутации. Следует отметить, что число научных групп, в которых зафиксировано явление трансмутации непрерывно растет, так же как растет число групп, которые целенаправленно занимаются

исследованием этого процесса, и связанными с ним физическими, биологическими, материаловедческими и другими эффектами. В связи с этим, мы извиняемся перед многими исследователями, чьи работы по трансмутации не вошли в этот Краткий обзор. Более широкое представление о работах, проводимых в России и мире по проблеме НТЭ, можно получить, например: в Материалах 1-10-й Российских конференций по холодной трансмутации ядер химических элементов и в Proceedings of the 1-10th International Conferences On Cold Fusion.

В этом обзоре мы представляем полученные авторами экспериментальные данные, полагая, что авторская интерпретация и описание физических процессов, приводящих к эффекту низкоэнергетической трансмутации элементов, должны остаться вне рамок настоящей работы.

1.1 Эксперименты по трансмутации в палладии и в других металлических катодах в тлеющем разряде

Эксперименты [1-5] проводились в НИИ НПО “Луч”, город Подольск. Установка представляла собой камеру с катодом и анодом, заполняемую рабочим газом до давления 300–1000 Па. В качестве рабочего газа использовался водород, дейтерий, аргон, ксенон и их сочетания. Тлеющий разряд проводился при плотностях тока 10-50 мА/см² и напряжении горения 500-1400 В. Эксперименты длились до 120 часов. Материалом для катодов служили 100мкм фольги, изготовленные из палладия и других металлов (Ti, Ag, Nb и др.). Образцы катодов анализировались на предмет обнаружения в них примесей до и после проведения опытов. Для анализа образцов использовались: искровая, вторично-ионная и вторичная нейтрал масс-спектрометрии, а также метод микрозондового рентгено-спектрального анализа. Содержание элементов в катодах регистрировалось в приповерхностном слое толщиной 100 нм. Разница в содержании примесей до и после экспериментов определялась, как наработка “новых”, примесных нуклидов. Наибольший выход примесных нуклидов зарегистрирован в тлеющем разряде дейтерия в палладиевом катоде (^{102,104-106,108,110}Pd). Основными нуклидами (с содержанием более 1%) являются ⁷Li, ¹²C, ¹⁵N, ²⁰Ne, ²⁹Si, ^{44,48}Ca, ^{56,57}Fe, ⁵⁹Co, ^{64,66}Zn, ⁷⁵As, ^{107,109}Ag, ^{110-112,114}Cd, ¹¹⁵In. На рис.1 представлены примеси нуклидов, нарабатанные в Pd-катоде после его облучения в разряде дейтерия в течение 22 часов, при токе разряда 50 мА. Абсолютное количество атомов этих нуклидов составляет до 10¹⁷ при времени облучения до 2·10⁴ сек. Для таких элементов, как Li, B, C, Ca, Ti, Fe, Ni, Ga, Ge и др., было зарегистрировано изменение природного соотношения изотопов, для некоторых элементов в несколько десятков раз, например: отношение ⁵⁷Fe/⁵⁶Fe меняется от 25 до 50раз, в то время, как естественное соотношение составляет величину ⁵⁷Fe/⁵⁶Fe=0,024. При этом отсутствуют некоторые основные изотопы, например: ⁵⁸Ni, ^{70,73,74}Ge, ^{113,116}Cd. Кроме того, в Pd-катодах наблюдается изменение природного соотношения изотопов палладия.

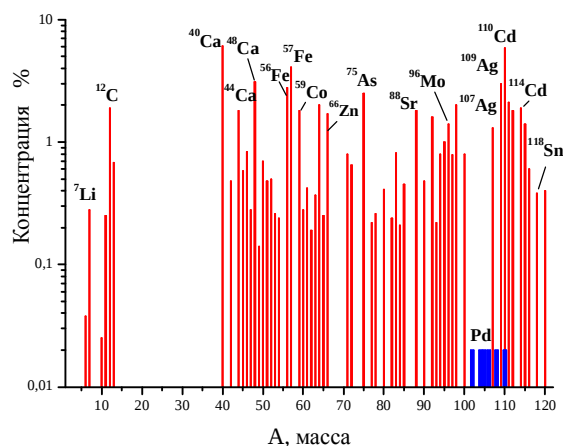


Рис.1 Примеси “новых” нуклидов, нарабатанные в Pd-катоде в тлеющем разряде дейтерия. Для ориентации изотопы палладия выделены синими линиями, без их относительного содержания.

Во время горения разряда и после его выключения проводилась регистрация гамма-излучения в диапазоне энергий 0,1-3,0 МэВ с помощью Ge(Li)-детектора. Анализ гамма-спектров показал, что излучателями являются нейтронно-избыточные ядра с массами от $A=16$ до $A=136$, дающие β -радиоактивные цепочки распадов. Однако, по оценкам авторов число образовавшихся в результате трансмутации стабильных изотопов в 10^{12} - 10^{13} раз больше, чем радиоактивных изотопов. Кроме того, с помощью пластиковых детекторов CR-39 во всех экспериментах были зарегистрированы треки 3 МэВ протонов и 14 МэВ α -частиц, с интенсивностью 10 - $15 \text{ с}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$. Особенно, авторы [14,15] обращают внимание на регистрацию неизвестных частиц, которые оставляет свои “странные” следы-треки в рентгеновских и ядерных фотоэмульсиях. Размер этих треков варьируется от нескольких до десятков миллиметров. Необычна и разнообразна форма этих треков; это прерывистые линии прямолинейные, криволинейные и даже спиралеобразные, состоящие из отдельных пятен. Пятна, в свою очередь, могут иметь форму кругов, эллипсов, подков. Авторы отмечают удивительную способность “странных” частиц (трассеров) проникать в металл и передвигаться в нем. Частицы могут выйти из металла, изменив его структуру и состав, оставив за собой следы подобные тем, которые остаются на фотоэмульсиях.

Отдельно, автор [4-5] исследовал эмиссию рентгеновского излучения (РИ) из палладиевого катода в сильноточном (до 150 мА) тлеющем разряде дейтерия и водорода, а также производство избыточной тепловой мощности. В опытах было зарегистрировано РИ с энергией 1,5-2 кэВ с интенсивностью до 100 Рентген/сек. и выявлено три режима эмиссии рентгеновского излучения: диффузное РИ, излучение в виде рентгеновских узконаправленных микропучков и сверхмощная генерация РИ. Диаметр микропучка на расстояние 200 мм. от катода оценивается 10-20 мкм., а угловая расходимость 10^{-4} . Автор отмечает аномально высокую проникающую способность рентгеновских микропучков в сплошных металлических средах. Стационарная мощность сверхмощной генерации РИ оценивается до 10 Вт при стационарной электрической мощности разряда 50 Вт.

Измерения избыточной мощности осуществлялись водным, проточным калориметром. Система измерений позволяла контролировать введенную электрическую мощность и тепловую мощность, выведенную охлаждающей водой, с точностью $\pm 0,5$ Вт, при абсолютной величине электрической мощности до 120 Вт. В отдельных экспериментах избыточная тепловая мощность составляла несколько десятков Ватт и полном КПД до 150%.

1.2 Эксперименты по плавке циркония в вакууме электронным пучком

В статье М.И. Солина [6] описываются результаты экспериментов по плавке слитков циркония электронным пучком. Опыты проводились на стандартных промышленных вакуумных печах с нагревом слитка при помощи электронного пучка. Ускоряющее напряжение в электронной пушке поддерживалось на уровне 30 кэВ. Плотность мощности, подводимой к поверхности жидкой ванны на поверхности циркония, составляла $0,38 - 0,4 \text{ кВт/см}^2$. В статье описывается несколько феноменов, проявляющихся в процессе электронно-вакуумной плавки циркония. Мы лишь отметим, что плавка циркония в этих экспериментах сопровождалась интенсивными колебательными динамическими процессами расплава, и остановимся на данных по образованию посторонних элементов в слитках циркония во время плавки. После плавления в слитке циркония обнаруживаются микроструктуры или, как их называет автор, продукты-самородки, элементный состав которых существенно отличается от исходного материала. На Рис.2а приведен характерный спектр масс образца переплавляемых заготовок циркония, а на Рис.2в - спектр масс продукта-самородка, образовавшегося в этом слитке. Как видно, в конечном продукте-самородке образовались Li, Be, B, Ba и редкоземельные металлы – элементы, отсутствующие в исходном слитке. Кроме того, в полученном продукте-самородке увеличено на 2-3 порядка содержание таких элементов, как Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe. Содержание этих элементов в отдельных самородках составляет от 2 до 45 массовых процентов. Методами

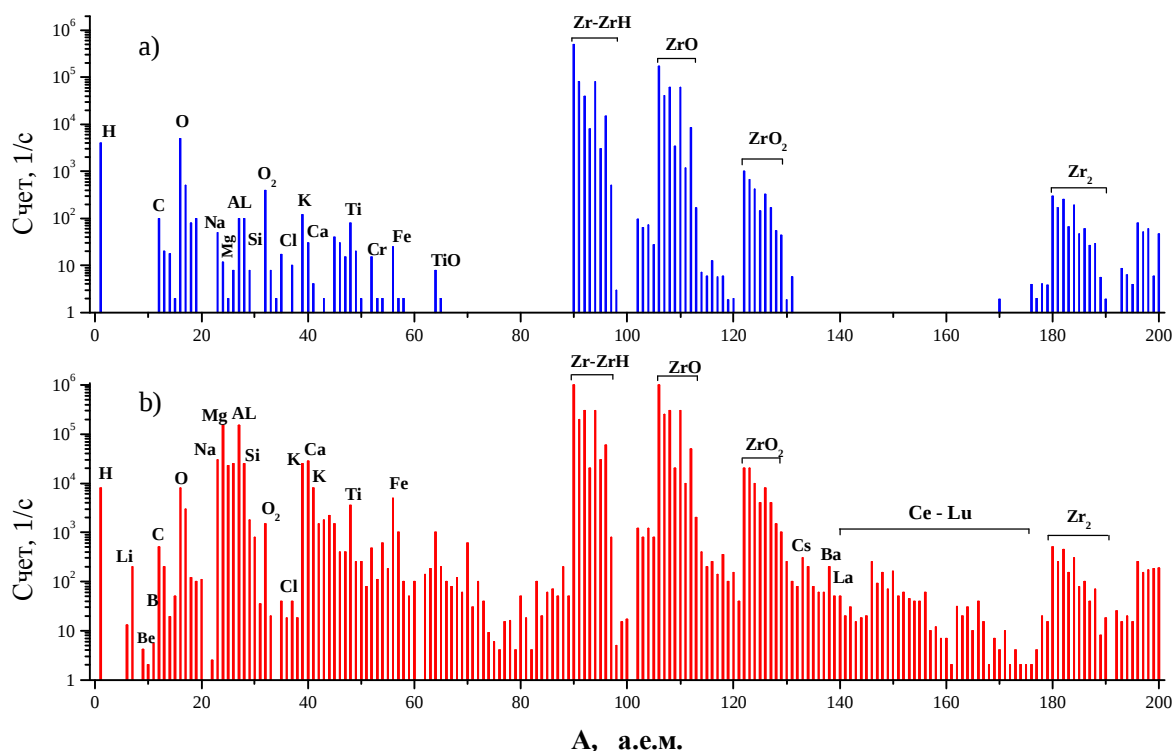


Рис.2 а) массовый спектр слитка циркония до электронной плавки, б) массовый спектр продукта самородка

рентгеноспектрального микроанализа и Оже-спектроскопии установлено высокое содержание в самородках углерода, азота и кислорода.

Упомянутые выше продукты-самородки проявляются в застывшем слитке циркония как дефекты, отчетливо выделяющиеся из его основной массы. Дефекты представляют собой протяженные трубчатые каналы различной конфигурации и выглядят, как соединенные между собой пустотелые синусоидальные, прямолинейные, спиралевидные образования. Форма и размер этих образований похожи на следы, которые “странные” частицы остаются на фотоэмульсиях и на шлифах металлов (см. 1.1).

В опытах отмечено значительное возрастание скорости плавления циркония в 6-8 раз при постоянстве подводимой энергии электронного пучка, а для некоторых режимов разогрева слитка скорость его плавления возрастает в 50 раз. Другими словами, процесс плавления сопровождается значительным энерговыделением. Автор указывает, что масса металла является критическим параметром для начала протекания аномальных процессов.

1.3 Ультразвуковая трансмутация элементов

В работах А.Кладова [7] отмечается деструкция (трансмутация) атомных ядер химических соединений, в том числе радиоактивных изотопов, после ультразвуковой обработки их водных растворов. Экспериментальная установка представляет собой гидродинамический генератор ультразвуковых колебаний роторного типа. Активатор сделан из нержавеющей стали. Основные параметры установки следующие: интенсивность звука $>10^6$ Вт/м², частота (основной тон) - $5.9 \cdot 10^3$ Гц, рабочее давление в активаторе – 10^6 Па, рабочий объем – $6.3 \cdot 10^{-3}$ м³, объем активной зоны – $0.25 \cdot 10^{-3}$ м³.

Автор работал со стабильными и радиоактивными изотопами. В случае работы со стабильными элементами, обработка исходных растворов осуществлялась в течение 2, 8, 24 для LiCl и 360 часов для CsCl. Спектры элементов, полученные при различном времени обработки растворов стабильных элементов, представлены автором в табличном виде.

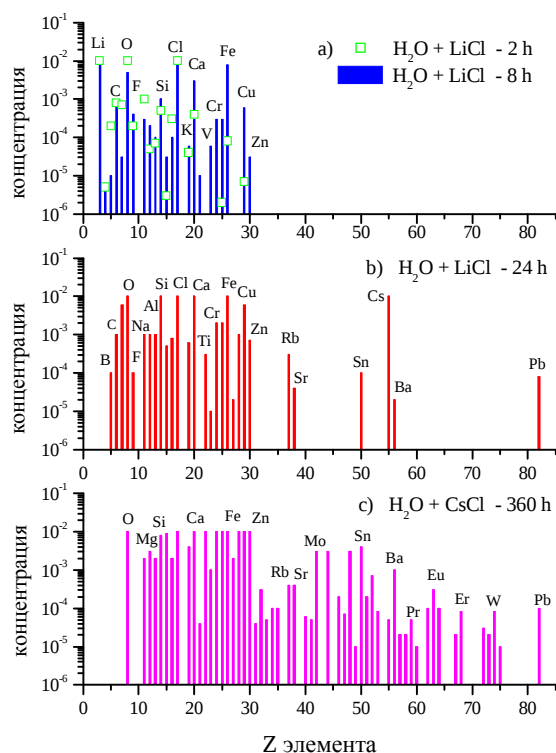


Рис.3 Элементный состав раствора LiCl после:
 а) 2-часовой и 8-часовой ультразвуковой активации,
 б) LiCl после 24-часовой ультразвуковой активации.
 в) Элементный состав раствора CsCl после 360-часовой ультразвуковой активации.

Для наглядности мы перевели табличный материал в гистограммы, приведенные на Рис.3. На нем представлен элементный состав растворов через определенное время работы установки. Из рисунка видно, что, действительно, с течением времени в растворе нарастает количество посторонних элементов – от бора до свинца (Рис.3б,в). К сожалению, автор не дал в статье элементный состав раствора солей LiCl и CsCl до ультразвуковой активации. Однако косвенную оценку интенсивности появления посторонних элементов можно сделать, сравнив спектры LiCl после 2-х и 24-х часов обработки. Необходимо отметить, что при элементном анализе растворов для многих элементов наблюдается насыщение при концентрации 10^{-2} , по-видимому, это связано с методическими ограничениями масс-спектрометрических измерений.

Можно утверждать, что приведенные А.Кладовым опытные данные свидетельствуют о накоплении примесей посторонних элементов.

В статье также описываются работы с радиоактивными изотопами ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{197}Hg , ^{188}Pt , ^{126}Sn , ^{40}K . Автор утверждает, что его установка изменяет количество радиоактивных ядер, т.е. происходит трансмутация радиоактивных изотопов в стабильные. Кроме того, автор отмечает убыль объема радиоактивного раствора в активаторе при гарантированной герметичности устройства. Средняя скорость уменьшения раствора составляет 28 мл/час. Это обстоятельство свидетельствует, что молекулы воды участвуют в реакциях трансмутации.

Отдельно, автор констатирует факт регистрации некоего излучения и корреляции его интенсивности с изменением режима работы активатора. В качестве детекторов этого излучения использовались: черенковский детектор, радиометр-дозиметр типа МКС-01Р, детекторы-калориметры. Особо подчеркивается значительное, в два раза, снижение активности плутоний-бериллиевого источника нейтронов после работы активатора. Источник находился на расстоянии 2.4 м от активатора.

Автор считает, что главным действующим фактором в представленных технологических процессах является кавитация.

1.4 Эксперименты по электровзрыву металлических фольг в жидких средах

Эксперименты проводились в РЕКОМ РНЦ “Курчатовский институт” под руководством Л.И.Уруцкого [8]. Экспериментальная установка представляет собой взрывную камеру, выполненную в виде полиэтиленового тора с восемью отверстиями, высверленными равномерно по окружности. В отверстия вставлены полиэтиленовые стаканы, заполненные дистиллированной водой. В стаканы помещались титановые электроды, к которым приваривались с помощью контактной электросварки металлические фольги, являющиеся нагрузкой. В качестве нагрузок использовались металлические фольги титана и циркония. Электроды с нагрузкой располагались на полиэтиленовой крышке, которая уплотняла взрывную камеру. Электроды, выведенные на внешнюю поверхность крышки, замыкались на конденсаторную батарею. Энергозапас батареи при разрядном напряжении $U \sim 4$ кВ составлял $W \sim 50$ кДж. При импульсной подаче напряжения на взрывную камеру металлические фольги разрушались (электровзрыв). Длительность импульса тока в экспериментах составляла 150 мкс при характерных временах нарастания импульса тока ~ 10 мкс. В статье утверждается, что в продуктах электровзрыва, кроме основного элемента и элементов примесей, образуются атомы элементов, которые отсутствовали в объеме электровзрыва до начала процесса. Содержание посторонних элементов в продуктах электровзрыва достигает нескольких процентов от количества атомов основного элемента фольги, что соответствует $\sim 10^{17} \div 10^{18}$ атомов. На Рис.4 представлен в процентах усредненный выход посторонних элементов от их общего количества для нагрузки из циркония и титана. В список посторонних элементов входят: В, Na, Mg, Al, Si, Ca, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Ba, Pb. Авторами отмечается, что различным исходным нагрузкам (Ti, Zr) соответствует свой спектр посторонних химических элементов. Элементный состав всех деталей взрывных камер исследовался различными методами до взрыва. В статье также отмечено изменение изотопного состава титана, в частности, уменьшение удельного количества ^{48}Ti . В экспериментах наблюдается корреляция между процентным содержанием посторонних элементов и уменьшением доли ^{48}Ti .

Кроме того, в своих экспериментах авторы зарегистрировали “странные” частицы, сопровождающие эффект трансмутации. Эти частицы оставляют такие же треки в фотопленках и фотоэмульсиях, как и в экспериментах с тлеющим разрядом (см. 1.1). Отдельные исследования свойств этих частиц позволили авторам высказать гипотезу о наличии у них магнитного заряда.

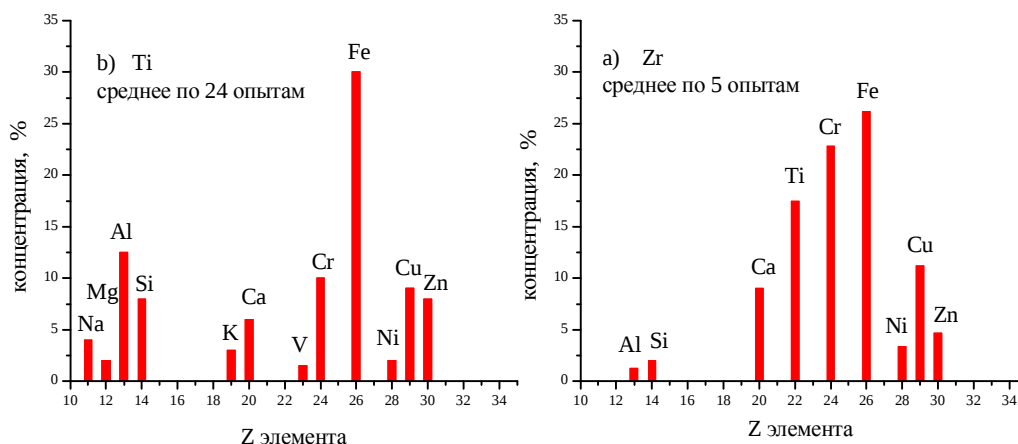


Рис.4 Усредненный выход посторонних элементов от их общего количества для нагрузки из Zr и Ti

Проверочные эксперименты по наблюдению трансмутации химических элементов при электровзрыве [9]. Предметом исследований авторов настоящей статьи являлось проведение анализа элементного и изотопного состава вещества, находящегося в рабочих камерах установки до и после электровзрыва. Электровзрывы фольг были проведены совместно с группой Л.И.Уруцкого на их установке. Для анализа продуктов электровзрывов использовались три метода: масс-спектрометрический анализ (МСА), рентгено-флуоресцентный анализ (РФА), гамма- и нейтронно-активационный анализ. В экспериментах, в качестве нагрузки, использовались фольги, изготовленные из Ti, Fe, Ni, Ta, Pb или их комбинации, а в качестве диэлектрической среды служили: дистиллированная вода, перекись водорода и глицерин. Всего были проанализированы результаты 13 экспериментов. Был проанализирован состав примесей, содержащихся в токоподводящем электроде, в фольгах, в воде и полиэтилене.

На рис.5а показан относительный рост элементов примесей и выход посторонних элементов к уровню их обнаружения в эксперименте, в котором осуществлялся электровзрыв титановой фольги в однопроцентной перекиси водорода. В случае, когда в качестве среды использовался глицерин ($C_3H_8O_3$), рентгено-флуоресцентный анализ показал устойчивое, от опыта к опыту, значительное увеличение в пробах таких элементов примесей как: Mn, Fe, Ni, Cu, Zn. В одном из экспериментов вместо марганца было зарегистрировано большое количество свинца (рис.5б). На рис.5с представлены результаты масс-спектрометрического анализа пробы, полученной в результате электровзрыва никелевой фольги в дистиллированной воде.

Наши исследования [9], в общих чертах, подтвердили результаты экспериментов, полученные группой Л.И.Уруцкого [8]. Было зафиксировано появление в пробах посторонних элементов и увеличение содержания элементов примесей. К этим элементам относятся: Na, Al, Si, K, Ca, Cl, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Ba, Ta, Pb. В отдельных пробах наблюдается уменьшение элементов примесей, присутствующих в фольгах. Абсолютное количество новых атомов элементов, появившихся в пробах после электровзрывов, находится в диапазоне 10^{15} – 10^{18} . В некоторых пробах наблюдается изменение в изотопном отношении титана. Состав и количество примесей после электровзрыва зависит как от состава нагрузки, так и от жидкой диэлектрической среды. Гамма- и бета-активность не обнаружены ни в одной пробе.

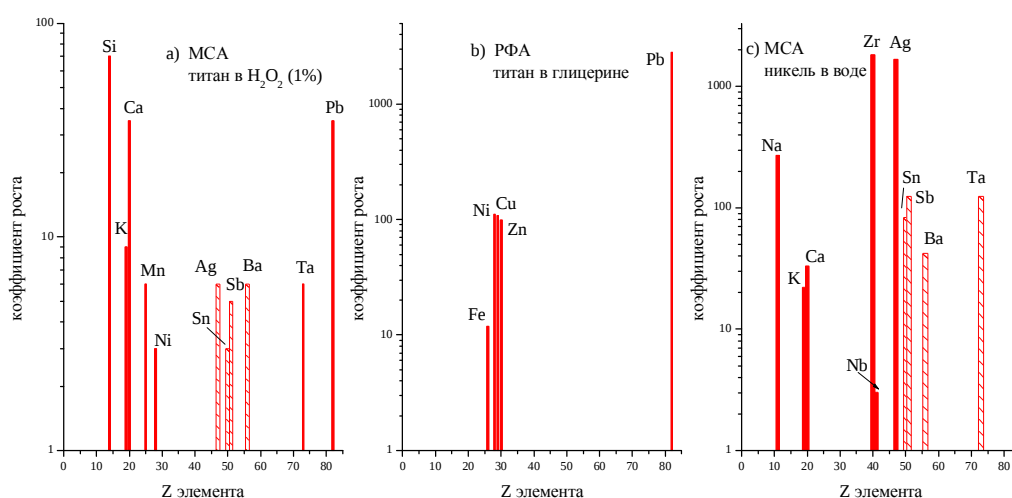


Рис. 5 Относительный рост элементов примесей и выход посторонних элементов в пробах после электровзрыва для наиболее ярких экспериментов. Метод анализа, материал нагрузки и диэлектрическая среда указаны на рисунках. Штриховкой на рисунках указаны элементы, присутствие которых достоверно, но абсолютное значение примеси имеет характер ограничения сверху.

1.5 Трансмутация элементов в электроразряде в жидких средах

Работы по трансмутации элементов в электроразряде в жидких средах были выполнены в Магнитогорском государственном техническом университете по методу А.В.Вачаева-Н.И.Иванова [10]. Установка состоит из двух трубчатых электродов внутренним диаметром от 6 до 50 мм., расположенных друг напротив друга на расстоянии 1-1.5 их диаметра. Между электродами, внутри которых движется жидкая среда, создается специфический электрический разряд, возникает плазма. Электроды и плазма находятся внутри катушки, создающей магнитное поле. Плазма поджигается импульсным разрядом дополнительных электродов, расположенных поперёк струи жидкости, между трубчатыми электродами. Плазма между трубчатыми электродами представляет собой электропроводящую плазменную пленку, образующую многомерную фигуру типа гиперболоида вращения с пережимом диаметром 0.1-0.2 мм. Разряд протекает практически бесшумно с минимальным выделением теплоты и газовой фазы. Величина тока через трубчатые электроды изменяется в пределах 0.1-100 А, в большинстве случаев - 20-40 А.

В результате работы установки, в ней возникает устойчивый процесс преобразования исходного материала среды в новые элементы и их соединения, в газообразном, жидком (растворенном в среде) и твердом состоянии. Эффективность процесса значительно повышается при последовательном соединении двух и более установок. При исследовании процесса трансмутации выяснилось, что максимальный выход твердых продуктов достигается при скорости движения жидкости равной 0.55 м/с.

В экспериментах на вход установки подавались различные жидкие среды: вода (дистиллированная, питьевая, речная), водно-минеральные смеси, стоки различных производств, водно-углеродные, органические смеси. Все работы проводились в так называемом “металлургическом” режиме, т.е. с максимальным выходом твердой фазы, в среднем до 300 г/л. Химический анализ образцов проводился в трех независимых лабораториях. На рис.6 в качестве примера изображены выходы посторонних элементов для случаев обработки дистиллированной воды (рис.6а) и бытовых стоков (рис.6б). Следует особо подчеркнуть практически промышленный характер созданной установки, позволяющей получать за реальное время десятки - сотни килограмм продуктов трансмутации.

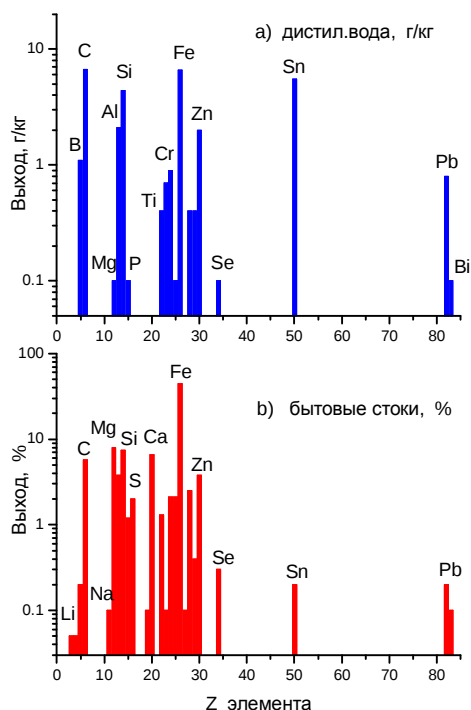


Рис. 6 Выход элементов для случаев обработки в электроразряде дистиллированной воды и бытовых стоков.

1.6 Трансмутация свинца под действием импульсного тока в магнитном поле

Эксперименты, выполненные Кривицким В.А. [11], состояли в следующем: навеска из свинца, меди и Na_2O , в соотношении 10:1:1, общей массой 270 г, помещалась в алуновдвый тигель (Al_2O_3) и нагревалась газовой горелкой в течение 30 минут до температуры $1100\text{ }^\circ\text{C}$ до её гомогенного расплава. Тигель располагался между полюсами постоянного электромагнита с магнитной индукцией, равной 1,2 Тл. Затем в расплав, не выключая горелки, вводились два вольфрамовых электрода, к которым подавался ток от импульсного генератора. При импульсной подаче напряжения в 1000 В, максимальный ток через расплав составлял 7,5 кА. Частота импульсов варьировалась от 1 до 400 Гц. Продолжительность воздействия током на расплав составляла от 60 до 180 сек.

В процессе экспериментов было установлено, что при воздействии на расплав в течение 60с, после его застывания, в слитке не обнаруживаются видимые структурные изменения. При воздействии от 100 до 180 с. в застывшем слитке четко выделяются две фазы: облегченная, превращающаяся при застывании в мелкокристаллическую зернистую массу, которая затем легко рассыпается на отдельные мелкие кристаллики размером 0,1 – 1,0 мм. и массивная, ковкая, напоминающая состояние вещества при воздействии на расплав импульсным током в течение 60 с. Соотношение двух фаз по объему составляет 1:5. Как показал последующий химический и структурный анализ, именно в первой, легкой фазе наблюдаются самые значительные процессы трансмутации свинца.

Химический анализ полученных образцов проводился методами рентгеновского энергодисперсионного микроанализа и рентгеноспектрального анализа. Анализ показал, что с увеличением длительности воздействия током на расплав наблюдается возрастание трансмутации атомных ядер свинца от нескольких до десятков процентов. В основном, продуктами трансмутации расплава являются медь и сурьма, содержание которых составляет десятки процентов. Кроме этих элементов в пробах обнаружены: молибден, палладий, олово, серебро (0.1-5%).

В целях проверки, возможных изотопических сдвигов во вновь образующихся атомных ядрах в результате трансмутации расплава, был проведен изотопный анализ меди, серебра, олова, сурьмы и свинца. Измерения проводились на искровом масс-спектрометре SM-602. В результате проведенных измерений установлено, во-первых, изотопное содержание исходных атомных ядер свинца и меди не претерпело ни каких относительных изотопных сдвигов и, во-вторых, вновь образовавшиеся в процессе трансмутации химические элементы сурьма, олово, и серебро имеют строго природную относительную распространенность изотопного состава.

Для оценки интенсивности возможного выхода потока нейтронов и гамма излучения во время проведения экспериментов, вблизи рабочей камеры, на расстоянии 40 см. от неё, были установлены два сцинтиляционных, измерительных блока. Измерения показали, что в опытах, которые отмечены наибольшей степенью трансмутации свинца, наблюдалось значимое отклонение потока гамма-квантов от фона. При этом значимого отклонения от фона потока нейтронов не наблюдалось.

1.7 Трансмутация изотопов в растущих биологических культурах

В работах [12,13] проведены успешные исследования по обнаружению явления низкоэнергетической трансмутации элементов в микробиологических культурах. Эксперименты были основаны на ожидаемых реакциях слияния марганца и дейтерия, натрия и фосфора: $^{55}\text{Mn} + ^2\text{H} = ^{57}\text{Fe}$ и $^{23}\text{Na} + ^{31}\text{P} = ^{54}\text{Fe}$, в растущих культурах в сахарно-солевой среде с недостатком железа, элементом необходимым для роста культур. В результате этих реакций получают редкие изотопы железа: ^{57}Fe и ^{54}Fe . Их содержание в природе составляет 2,2% и 5,8%, соответственно. Основной изотоп ^{56}Fe – 91,7%. Содержание изотопа железа ^{57}Fe в образцах определялось с помощью эффекта

Мессбауэра, а содержание ^{54}Fe определялось методом время-пролетной масс-спектропии. Эти методы позволяют, с высокой чувствительностью, контролировать содержание изотопов ^{57}Fe и ^{54}Fe во всех компонентах питательной среды, в первоначальной культуре и во всех образцах выращенной культуры по окончании ее роста. Кроме того, в экспериментах, одновременно, проводились контрольные выращивания культур, в питательных средах которых отсутствовал либо дейтерий (тяжелая вода), либо марганец, либо фосфор. После окончания каждой серии опытов, в выращенных культурах сравнивалось содержание изотопов железа и определялось их количество. В экспериментах была зарегистрирована трансмутация одних элементов в другие, при скорости образования ядра ^{57}Fe равной $(1,9 \pm 0,52) \cdot 10^{-8}$ на одно ядро ^{55}Mn в секунду и скорости образования ядра ^{54}Fe равной $(3-6) \cdot 10^{-10}$ на одно ядро ^{31}P в секунду или $(1-2) \cdot 10^{-10}$ на одно ядро ^{23}Na в секунду.

В заключение этого раздела отметим, что в указанных работах разные авторы в разных физических и, в том числе, биологических процессах независимо друг от друга наблюдают низкоэнергетическую трансмутацию элементов.

II. Анализ процесса низкоэнергетической трансмутации элементов

2.1 Феноменологическая модель и расчет.

Отметим сразу, что указанные в предыдущей главе превращения элементов не могут быть объяснены современными физическими представлениями как из-за невозможности преодоления кулоновского барьера ядрами, так и из-за невозможности построения наблюдаемых элементов при сохранении числа протонов. Для устранения последнего противоречия мы должны включить во входной или выходной каналы электроны, предполагая, таким образом, возможность слабых взаимодействий, при этом не нарушая законов сохранения электрического и лептонного заряда. Факт получения в реакции трансмутации при электровзрыве многих химических элементов, в том числе, тяжелых элементов: вольфрама, тантала, свинца, в относительно легкой по элементам среде [7-9], которые невозможно получить в парных реакциях, приводит нас к выводу, что при трансмутации осуществляется взаимодействие одновременно многих атомов:

$$\sum_i c_i {}^N_{Z_i}A_i \rightarrow \sum_j c_j {}^N_{Z_j}B_j,$$

где ${}^N_{Z_i}A_i, {}^N_{Z_j}B_j$ - нуклиды с зарядом Z и количеством нуклонов N , нуклиды ${}^N_{Z_j}B_j$ стабильные или с периодом полураспада более 10 лет; c_i, c_j - количество атомов нуклидов ${}^N_{Z_i}A_i, {}^N_{Z_j}B_j$ во входном и выходном каналах, соответственно.

Кроме того, мы должны быть уверены, что ядерные реакции, приводящие к наблюдаемым в опытах посторонним элементам, являются экзотермическими. Выделение энергии в этих реакциях идет за счет разницы в суммах масс атомных ядер во входном и выходном канале реакции. При этом, разумеется, в энергетическом балансе нужно учитывать не только массу ядра, но и массу l электронов. Более того, для чистоты расчетов ниже мы учитывали и энергию связи электронов в атомах.

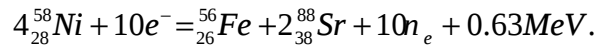
Для анализа возможных реакций использовался справочник [16]. Таблица включала стабильные и радиоактивные изотопы с периодом полураспада больше 10 лет или, в случае отсутствия стабильных изотопов, брался изотоп с максимально возможным временем жизни. Энергия связи атомных электронов учитывалась по формуле $E_A = 16 \cdot Z^{7/3}$ в рамках модели Томаса-Ферми [17]. По техническим возможностям мы учитывали не больше трех выходных нуклидов, т.е. рассматривались все реакции:

$$\sum_i c_i {}^N_{Z_i}A_i + l e^- = {}^N_{Z_1}B_1 + {}^N_{Z_2}B_2 + l n_e + Q, \quad \sum_i c_i {}^N_{Z_i}A_i = {}^N_{Z_1}B_1 + {}^N_{Z_2}B_2 + l e^- + l \tilde{n}_e + Q$$

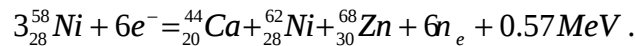
$$\sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} A_i + l e^- = {}^{N_1}_{Z_1} B_1 + {}^{N_2}_{Z_2} B_2 + {}^{N_3}_{Z_3} B_3 + l n_e + Q, \quad \sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} A_i = {}^{N_1}_{Z_1} B_1 + {}^{N_2}_{Z_2} B_2 + {}^{N_3}_{Z_3} B_3 + l e^- + l \tilde{n}_e + Q,$$

где $l e^-$, $l n_e$, $l \tilde{n}_e$ – l -количество электронов, нейтрино и антинейтрино, соответственно. Нейтрино и антинейтрино появляются в уравнениях реакции для сохранения лептонного заряда. При этом должны выполняться условия сохранения количества нуклонов $\sum_i c_i N_i = N_1 + N_2$ и $\sum_i c_i N_i = N_1 + N_2 + N_3$, сохранения полного заряда $\sum_i c_i Z_i \pm l = Z_1 + Z_2$ и $\sum_i c_i Z_i \pm l = Z_1 + Z_2 + Z_3$ и положительного баланса энергии $Q \geq 0$. Предварительное заключение о возможностях таких реакций вытекает из рассмотрения картины энергии связи на нуклон в ядрах исходного вещества Рис.7.

Для анализа электровзрыва были рассмотрены реакции с титаном (Ti) и никелем (Ni), и реакции этих элементов с элементами среды: кислородом и углеродом. Так основной изотоп ${}^{58}\text{Ni}$ (~68%), имеющий минимальную из изотопов никеля энергию связи на нуклон 8.732 МэВ, может породить в реакциях с тремя выходными нуклидами максимально тяжелый элемент стронций. Расчеты показывают, что такой синтез возможен в реакции с десятью слабыми взаимодействиями:

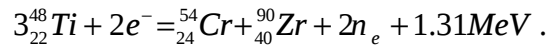


При этом самый легкий продукт реакций – кальций, получается в четырех реакциях, мы приводим одну из них:



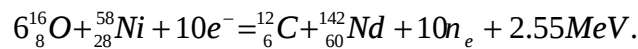
Реакций с сохранением числа протонов не существует. Максимальное количество элементов на выходе приходится на другие изотопы никеля и железа

У титана спектр выходных элементов шире. Так, основной изотоп ${}^{48}\text{Ti}$ (~74%), имеющий энергию связи на нуклон 8.723 МэВ, может дать максимально тяжелый элемент – цирконий во многих реакциях. Мы приведем одну реакцию, с двумя выходными фрагментами:



Наиболее легкий элемент, получаемый в реакциях ${}^{48}\text{Ti}$ между собой, это кремний.

Гораздо больший интерес представляют реакции элементов нагрузки с элементами среды. Для примера нами были рассмотрены реакции ${}^{58}\text{Ni}$ и ${}^{48}\text{Ti}$ с L элементами ${}^{16}\text{O}$ и с L элементами ${}^{12}\text{C}$. Самым тяжелым элементом, получаемым в реакциях ${}^{58}\text{Ni}$ с L элементами ${}^{16}\text{O}$, является неодим, который требует шесть атомов кислорода:



Реакции кислорода с титаном ${}^{48}\text{Ti}$ порождают элементы от водорода до ${}^{148}_{62}\text{Sm}$. Самый тяжелый элемент, получающийся из чистого изотопа кислорода ${}^{16}\text{O}$ с энергией связи на

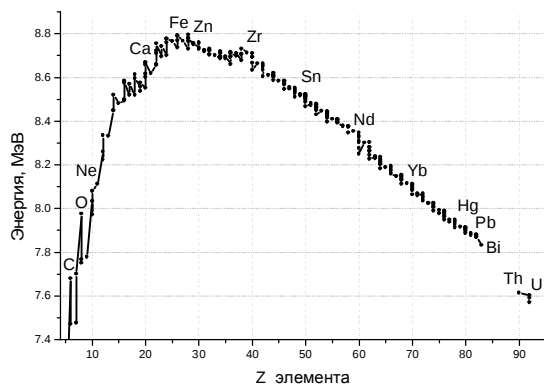
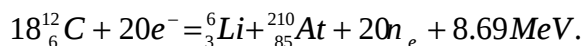


Рис. 7 Энергия связи на нуклон у стабильных атомных ядер

нуклон 7.976 МэВ, является ^{180}W с энергией связи на нуклон 8.026 МэВ при $L=12$. В реакциях с чистым углеродом можно получить все элементы вплоть до астата:



На демонстрационном Рис.7 мы приводим для сравнения экспериментальное распределение элементов и два расчетных распределения по количеству комбинаций выходных элементов в реакциях между титаном-48 и титана с кислородом. Разумеется, сравнивать можно только границы распределений.

Исходя из предположения, что вероятность производства новых элементов уменьшается с количеством ядер во входном и выходном каналах, можно сделать вывод, что группа элементов - Na, Al, Si, K, Ca, Cl, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn - порождается элементами нагрузки и нагрузка+среда. Другая группа элементов - Mo, Ag, In, Sn, Sb - порождается в комбинации элементов нагрузки и среды. Более тяжелые элементы - Pb, Ta - могут производиться только элементами среды. При этом среда должна содержать либо углерод, либо группу (ОН). Напомним, что эти расчеты были сделаны при ограничении на количество выходных нуклидов: не больше трех.

Обсуждаемый в первой части статьи (п.1.2) опыт по изменению элементного состава чистого циркония потребовал дополнительного анализа, поскольку плавка циркония происходила в вакууме. То есть, природный изотопный состав циркония является единственным исходным элементом для производства всех представленных на Рис.2b элементов вплоть до Lu, энергия связи на один нуклон которого значительно меньше, чем у всех изотопов циркония. Сделанные нами расчеты для этого случая так же продемонстрировали возможность получения всех элементов при выполнении закона сохранения энергии [9]. Таким образом, проведенные расчеты показывают, что процесс появления посторонних элементов в реакции низкоэнергетической трансмутации не противоречит закону сохранения энергии и их можно получить из исходных ядер при положительном энергетическом выходе. Более того, некоторые реакции имеют столь значительный выход энергии, что могли бы быть основой для энергетических установок. Разумеется, при гораздо большей доле трансформируемых ядер и при понимании физических причин, приводящих к явлению низкоэнергетической трансмутации.

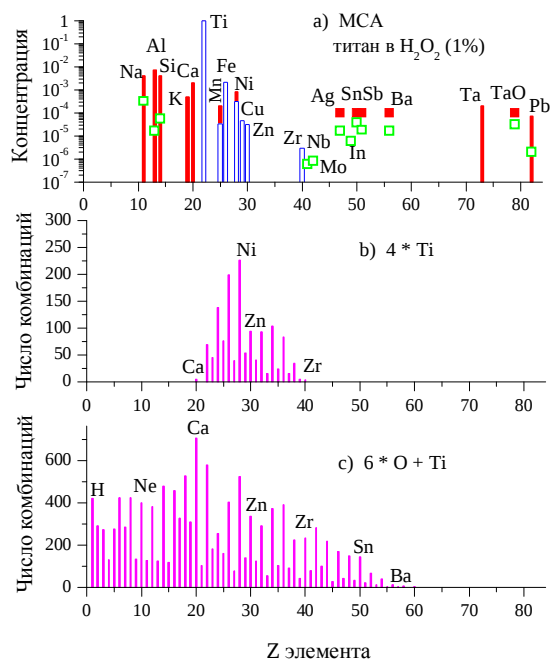


Рис. 8 а) Элементного состава образца после электровзрыва Ti в H_2O_2 . Заполненные гистограммы – после электровзрыва (эффект), незаполненные гистограммы – до электровзрыва (фон). Заполненные квадраты - элементы, присутствие которых достоверно, но абсолютное значение примеси имеет характер ограничения сверху. Незаполненные квадраты – уровень чувствительности, б) количество комбинаций выходных элементов в реакции четырех атомов Ti-48 и в) Ti с шестью атомами кислорода.

2.2 Обсуждение теоретических запретов низкоэнергетической трансмутации

Как мы уже упоминали выше, в рамках современных физических представлений процессы трансмутации при низких энергиях не могут быть объяснены. Точнее, доля изменяющихся ядер должна быть столь ничтожна, что не может быть обнаружена. Мы видим три теоретических запрета на явление трансмутации: невозможность пройти кулоновский барьер, предельно малые вероятности слабых процессов и малые вероятности многоатомных столкновений, даже при отсутствии кулоновского барьера. Для того, чтобы опираться на численные значения этих малых вероятностей, ниже мы приведем оценочные их значения.

Учет кулоновского барьера можно провести из оценки сечения ядерной реакции при низких энергиях:

$$s_r = \tilde{s} |\Psi_c(0)|^2,$$

где $|\Psi_c(r)|^2$ – квадрат кулоновской волновой функции относительного движения ядер, определяющий вероятность прохождения кулоновского барьера, $\tilde{s}$ – сечение ядерной реакции при "выключенном" кулоновском барьере. Ниже мы будем использовать его геометрический масштаб в один барн (10^{-24} см^2). Тогда вероятность ядерной реакции в единицу времени, отнесенная к одному атому, будет определяться простой формулой:

$$W_n \approx n v s_r,$$

где n – атомная плотность вещества, а v – скорость столкновения ядер при некоторой энергии E . С учетом выражения для значения кулоновской волновой функции в нуле при малых энергиях $|\Psi_c(0)|^2 = e^{-2p/ka} 2p/ka$ (см., например, [17]), где k – волновое число, отвечающее энергии столкновения ядер, а a – боровский радиус для кулоновских параметров сталкивающихся ядер, можно получить оценку для вероятности реакций ядер титана за одну секунду:

$$W_n \approx 3.7 \cdot 10^{10} e^{-106567/\sqrt{E}}.$$

Здесь энергия E должна подставляться в единицах эВ. То есть при характерной энергии в один электронвольт вероятность одной ядерной реакции в год определяется величиной $\sim 10^{-46000}$. Таким образом, за время жизни Вселенной при этих энергиях в ней не произойдет ни одной ядерной реакции с титаном. Чтобы избежать гипотез о кумулятивных процессах,

заметим, что даже если бы ядра имели энергию приложенного к электродам напряжения в 4 кэВ, то и тогда вероятность определялась бы величиной $\sim 10^{-720}$ и, по-прежнему, была невероятна во Вселенной. Можно сказать, что кулоновский барьер запрещает наблюдаемые в опыте реакции практически абсолютно.

Обсудим теперь величину скоростей слабых переходов. Что бы избежать сложности модельных представлений будем исходить из размерных соображений и опытных значений времен жизни радиоактивных ядер, захватывающих электрон. Такие ядра могут жить годы. Однако существуют и радиоактивные ядра, время жизни которых определяется минутами. Например, ядро вольфрама $^{173}_{74}\text{W}$ захватывает электрон за 16.5 минуты. Для оценки мы возьмем завышенную скорость захвата электрона ядром – один переход в секунду. Размерные соображения позволяют написать выражение для скоростей слабых переходов в виде:

$$W_w \sim \frac{\Delta E}{\hbar} a ,$$

где ΔE – энергия, выделяемая при слабом взаимодействии, а величина a является безразмерной константой. Двойные и тройные бета переходы будут определяться просто степенью, то есть a^2 и a^3 , соответственно. Оценим эту величину. Для $W_w = 1/\text{сек}$ и $\Delta E = 1\text{МэВ}$, получим $a \sim 10^{-21}$. Характерное время длительности протекания тока при электровзрыве 10 мкс. То есть даже при таких завышенных скоростях слабых переходов мы получили бы не больше тысячной доли процента трансмутируемых ядер. Если же учесть, что в приведенных формулах ядерных реакций происходит, как правило, два слабых перехода на ядро, то скорость их переходов будет составлять $\sim 10^{-21}/\text{сек}$, величину, определяющую один двойной переход за время опыта в ста молях вещества.

Последний вероятностный запрет – кинематический, определяется малым размером ядер даже для трехчастичных соударений. В самом деле, вероятность попадания пары частиц в объем V , занимаемый третьей частицей, составляет V^2/V_{Tot}^2 , где V_{Tot} – полный объем, занимаемый N частицами. Количество двойных комбинаций из N частиц будет равно $N^2/2$. Таким образом, в объеме V всегда находится $V^2 n^2/2$ троек частиц ($n = N/V_{\text{Tot}}$). Для оценки скорости вероятности образования трехчастичных соударений нужно последнюю величину разделить на характерное время нахождения в этом объеме:

$$W_K \sim V^2 n^2 / 2t .$$

Поскольку у нас два параметра длины: размер R , определяющий объем V , и среднее расстояние между частицами $n^{-1/3}$, то характерное время t определяется интервалом от $n^{-1/3}/v$ до R/v . Возьмем завышенную скорость образования трехчастичных соударений по самому короткому времени $t = R/v$. Оценивая размер ядра R в 10^{-12}см , энергию движения ядер титана в 1 эВ и беря плотность металлического титана, получаем $W_K \sim 10^{-14}/\text{сек}$. Поэтому вероятность трехчастичных столкновений, отнесенная к одному атому, за время эксперимента будет иметь масштаб $\sim 10^{-19}$, тогда как наблюдаемое значение ~ 0.01 . То есть трехчастичных (и более) соударений явно недостаточно для производства наблюдаемого количества элементов.

Рассмотренные вероятностные запреты на протекание ядерных трансмутаций при масштабе энергии в 1 эВ невозможно обойти в рамках традиционных физических представлений. Особенно это касается кинетического запрета, который нельзя обойти даже введением гипотетических частиц – посредников сближения ядер. Однако экспериментальные данные показывают существование процесса трансмутации. Поскольку кинетический запрет опирается на размеры ядер, давайте оценим, каким должен быть размер области взаимодействия R , чтобы получить один процент трансмутированных ядер за 10 мкс. Несложные выкладки дают удивительную величину

$\sim 10^{-9}$ см. Если же мы возьмем максимальное время $t = n^{-1/3} / v$, то получим $R \sim 10^{-8}$ см. То есть обе оценки дают размер, близкий к размеру атома. Заметим, что если число частиц, участвующих в реакции растёт, то быстро достигаемый предел $R \sim n^{-1/3}$ не зависит от выбранных скоростей реакции или характерных времен столкновений. Заметим, что при таком размере области взаимодействия не только снимаются запреты, порождаемые кулоновским барьером – он просто исчезает, но и существенно ускоряется слабое взаимодействие. Это происходит из-за того, что величина a содержит множитель, равный отношению объёмов ядра и атома. Подставляя в выражение для двойного бета-процесса вместо α величину $a \cdot R^3 / 10^{-36}$ и задавая время в 10 мкс и вероятность в 0.01, можно определить величину R . Она оказывается тоже равной атомному размеру $R \sim 10^{-8}$ см. Таким образом, все перечисленные запреты можно преодолеть для ядер, размер которых равен атомному. Мы не можем указать механизмы, приводящие в условиях эксперимента к такому большому размеру атомных ядер. Мы лишь фиксируем единственную, на наш взгляд, возможность трансмутации. Как гипотезу мы можем высказать мнение об изменении фундаментальных физических констант в условиях физического эксперимента по трансмутации элементов.

Заключение.

Подводя итог по проблеме НТЭ, следует, еще раз, подчеркнуть удивительный факт. Разные экспериментальные группы, в разных физических процессах, независимо друг от друга обнаруживают эффект НТЭ. И, несмотря на недостатки в изложении экспериментальных методик, в степени завершенности проведенных исследований и в форме интерпретации, их всех объединяет близость полученных результатов. Приведенные выше экспериментальные данные по процессам трансмутации химических элементов имеют общие для разных экспериментов закономерности.

Более того, посторонние элементы являются продуктами экзотермических реакций и простой расчет, с учетом энергетического баланса этих реакций, показывает возможных их участников. В частности, для объяснения всех наблюдаемых элементов нужно привлекать во входной канал три и более атома. Это с необходимостью требует расширения области реакции до атомных и более размеров. Природа возникновения таких условий нам неизвестна. Заметим, что справедливость рассмотренного баланса при сохранении лептонного числа может быть проверена путем регистрации вспышки нейтрино (антинейтрино).

Наш анализ физических запретов процессов трансмутации позволяет сделать утверждение о невозможности объяснения НТЭ в рамках настоящего физического мировоззрения. Авторы считают, что изучение процессов низкоэнергетической трансмутации выходит за рамки прикладных задач и является возможным элементом построения новых физических гипотез.

Авторы благодарны Пенькову Ф.М. за проведенные расчеты и помощь при написании статьи, Уруцкоеву Л.И. за предоставление возможности постановки проверочных экспериментов, Дубовику В.М. за иницирующие дискуссии, Гарееву Ф.А., Миллеру М.Б. и Павленко В.В. за информационную поддержку, Арбузову В.И., Жеменику В.И. и всем вышеперечисленным за полезные обсуждения.

Литература

1. А.В.Карabut, Ya.R.Kuchеров, I.B.Savvatimova, Phys.Letters A, 170 (1992), pp.265-272
2. И.Б.Савватимова, А.В.Карабут, М. АН, Поверхность, 1, 1996, с.63-75
3. И.Б.Савватимова, А.В.Карабут, М. АН, Поверхность, 1, 1996, с.76-81
4. А.В.Карабут, Материалы 7-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов (РКХТЯ), М.2000, с.27-35
5. А.В.Карабут, Материалы 9-й РКХТЯ, М.2002, с.86-98
6. М.И.Солин, Физическая мысль России, 2001, №1, с 43-58
7. А.Кладов. "Кавитационная деструкция материи", <http://roslo.narod.ru/rao/rao1.htm>
8. Л.И.Уруцкоев, В.И.Ликсонов, В.Г.Циноев. Прикладная физика, 2000, № 4, с 83-100
L.I.Urutskov, V.I.Liksonov, V.G.Tsinoev, Annales de la Fondation Louis de Broglie, Vol. 27, N° 4, 2002, pp. 701-726
9. V.D.Kuznetsov, G.V.Mishinsky, F.M.Penkov, V.I.Arbutov, V.I.Zhemenik, Annales de la Fondation Louis de Broglie, Vol. 28, N° 2, 2003, pp.173-214
10. В.Ф.Балакирев, В.В.Крымский, Б.В.Болотов, Н.В.Васильева, А.В.Вачаев, Н.И.Иванов, В.И.Казбанов, Г.В.Павлова, М.И.Солин, В.И.Трофимов, Л.И.Уруцкоев, "Взаимопревращение химических элементов", под ред. В.Ф.Балакирева, Екатеринбург: УрО РАН, 2003, с.28-48
11. В.А.Кривицкий. Геоинформатика, 2003, №4, с. 50-53; Геоинформатика, 2003, №1, с. 42-50; "Трансмутация химических элементов в эволюции Земли", М. МПГУ, 2003
12. V.I.Vysotskii, A.A.Kornilova, I.I.Samoilenko, G.A.Zykov, Материалы 8-й Российской конф. по холодной трансмутации ядер химических элементов, М.2001, с.163-169
13. В.И.Высоцкий, А.А.Корнилова, "Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах", М., Мир, 2003

14. I.Savvatimova, Proc. 7th Int. Conf. On Cold Fusion, Canada, 1998, pp.342-350; Proc. 8th Int. Conf. On Cold Fusion, Italy, 2000, pp.277-283
15. А.В.Нестерович, Б.У.Родионов, И.Б.Савватимова, Материалы 8-й Российской конф. по холодной трансмутации ядер химических элементов, М.2001, с.211-215
16. О.Ф.Немец, Ю.В.Гофман. "Справочник по ядерной физике". Киев, Наукова думка, 1975 г.
17. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. "Квантовая механика. Нерелятивистская теория". Москва, Наука, 1974 г.

Low Energy Transmutation of Atomic Nuclei of Chemical Elements

V.D.Kuznetsov, G.V.Mishinsky

Moscow region, Dubna, Russia

Annotation

A short review of experimental results on transformation (transmutation) of some atomic nuclei into other atomic nuclei at low energies is given. The coefficient of transmutation in a number of experiments reaches tens percent. The phenomenological model of transmutation is offered. A calculation of possible end products that are yielded in this process under consideration of energy balances of nuclear reactions are shown. Three mechanisms of prohibition of transmutation phenomenon within modern physical conceptions are indicated. The conclusion is drawn that a sole possibility to match these prohibitions with the observed transmutation processes consists in increasing the reaction domain up to atomic dimensions.