

# Низкоэнергетическая трансмутация атомных ядер химических элементов. Распределение по элементам в продуктах трансмутации. Нуклеосинтез

Г.В. Мышинский<sup>1</sup>, В.Д. Кузнецов<sup>2</sup>, Ф.М. Пеньков<sup>3</sup>

**Аннотация**—Дается краткий обзор экспериментальных результатов по трансмутации атомных ядер химических элементов при низких энергиях. Коэффициент трансмутации в ряде опытов достигает десятков процентов. Предложена феноменологическая многоядерная модель процесса трансмутации. Сделан расчет возможных конечных продуктов, получающихся в этом процессе, с учетом энергетических балансов ядерных превращений. Из экспериментальных данных и феноменологической модели следует, что многократные процессы трансмутации приводят к появлению в её продуктах стабильных атомных ядер всех химических элементов. Делается предположение, что распределение по элементам в продуктах гиперкратной трансмутации стремится стать “универсальным” и независимым от элементного состава вещества, в котором начались процессы трансмутации. “Универсальное” распределение имеет максимумы, связанные с ядерными “магическими” числами. Распространенность элементов в земной коре коррелирует с распределением элементов в случае трансмутации циркония при его электронной плавке. На основании указанных обстоятельств, высказывается гипотеза, что процессы нуклеосинтеза и энергетика во Вселенной могут осуществляться, в том числе, благодаря низкоэнергетическим реакциям.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Эта статья посвящена явлению, которое в 21 веке будет определять развитие фундаментальных представлений человечества о строении физического мира и станет основой новых технологий.

В последние 30 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

<sup>1</sup>Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова, 141980 Дубна, Московская область, [mysh@jinr.ru](mailto:mysh@jinr.ru).

<sup>2</sup>Центр прикладных физических исследований, 141980 Дубна, Московская область, [spf@yandex.ru](mailto:spf@yandex.ru).

<sup>3</sup>РГП Институт ядерной физики, 0500032, Казахстан, Алматы, [fmpr56@mail.ru](mailto:fmpr56@mail.ru).

в слабозбужденных, 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], [2], [3], [4], [5], при электронной плавке слитков циркония в вакуумной печи [6], при электронных взрывах металлических мишеней [7], [8] и электровзрывах металлических фольг в жидкой диэлектрической среде [9], [10], при воздействии импульсным током на свинец [11], при осуществлении электрического разряда в водно-минеральной среде [12], при ультразвуковой обработке водных солевых растворов [13], в растущих биологических структурах [14], [15], [16] 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 от [1] до [7], [9]. Как правило, в большинстве экспериментов продуктами трансмутации являются *стабильные изотопы* элементов. Более того, имеются сообщения о превращении радиоактивных изотопов в стабильные [7], [13], [14], [15], [16]. В некоторых экспериментах [3], [4], [5], [7], [11], [13] удалось зарегистрировать рентгеновское и гамма-излучение, излучение заряженных частиц, а также радиоактивные изотопы. При этом, по оценкам авторов публикаций [3], [4], [5] 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], [6], [9], [13]. 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], [7], [13], [17], [18].

## II. КРАТКИЙ ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Мы предлагаем этот обзор в виду малодоступности представленного материала для научной общности. Он содержит наиболее яркие, с нашей точки зрения, многократно проверенные и статистически обеспеченные экспериментальные работы 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. Мы также не включили в этот обзор многочисленные работы, связанные с проблемой холодного ядерного синтеза (Cold Fusion) и использующие водород и дейтерий в качестве одного из участников реакций, считая их особым случаем низкоэнергетических ядерных реакций. Более широкое представление о работах, проводимых в мире по проблеме НТЭ, можно получить, например: в Proceedings of the 1-20th International Conferences On Cold Fusion и Материалах 1-24-й Российских конференций по холодной трансмутации ядер химических элементов.

### А. Эксперименты по трансмутации элементов в тлеющем разряде

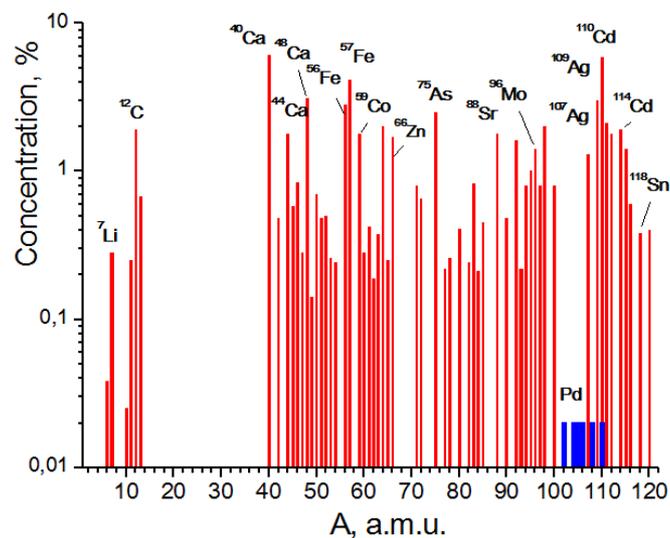


Рис. 1. Примеси “новых” нуклидов, нарабатанные в Pd-катоде в тлеющем разряде дейтерия. Для ориентации изотопы палладия выделены синими линиями, без их относительного содержания.

Установка для проведения экспериментов [1], [2], [3], [4], [5], 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/см<sup>2</sup> и напряжении горения 500-1400 В. Эксперименты длились до 120 часов. Материалом для катодов служили 100 мкм 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 рентгеновского микрозондового 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. Основными нуклидами (с содержанием более 1%) являются <sup>7</sup>Li, <sup>12</sup>C, <sup>15</sup>N, <sup>20</sup>Ne, <sup>29</sup>Si, <sup>44,48</sup>Ca, <sup>56,57</sup>Fe, <sup>59</sup>Co, <sup>64,66</sup>Zn, <sup>75</sup>As, <sup>107,109</sup>Ag, <sup>110-112,114</sup>Cd, <sup>115</sup>In. 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 10<sup>17</sup> при времени облучения до 2·10<sup>4</sup> 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: в зависимости от места на катоде отношение <sup>57</sup>Fe/<sup>56</sup>Fe меняется в диапазоне от 25 до 50, в то время, как естественное соотношение составляет величину <sup>57</sup>Fe/<sup>56</sup>Fe=0,024. При этом отсутствуют некоторые основные изотопы, например: <sup>58</sup>Ni, <sup>70,73,74</sup>Ge, <sup>113,116</sup>Cd. Кроме того, в Pd-катадах наблюдается изменение природного соотношения изотопов палладия.

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<sup>9</sup>-10<sup>13</sup> 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 с<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>. Авторы [17], [18] обращают внимание на регистрацию неизвестных частиц, которые оставляют свои “странные” следы-треки в рентгеновских и ядерных фотоэмульсиях. Размер этих треков варьируется от одного до десятков миллиметров. Необычна и разнообразна форма этих треков; это прерывистые прямолинейные, криволинейные и спиралеобразные линии, состоящие из отдельных пятен. Пятна, в свою очередь, могут иметь форму кругов, эллипсов, подков. Авторы

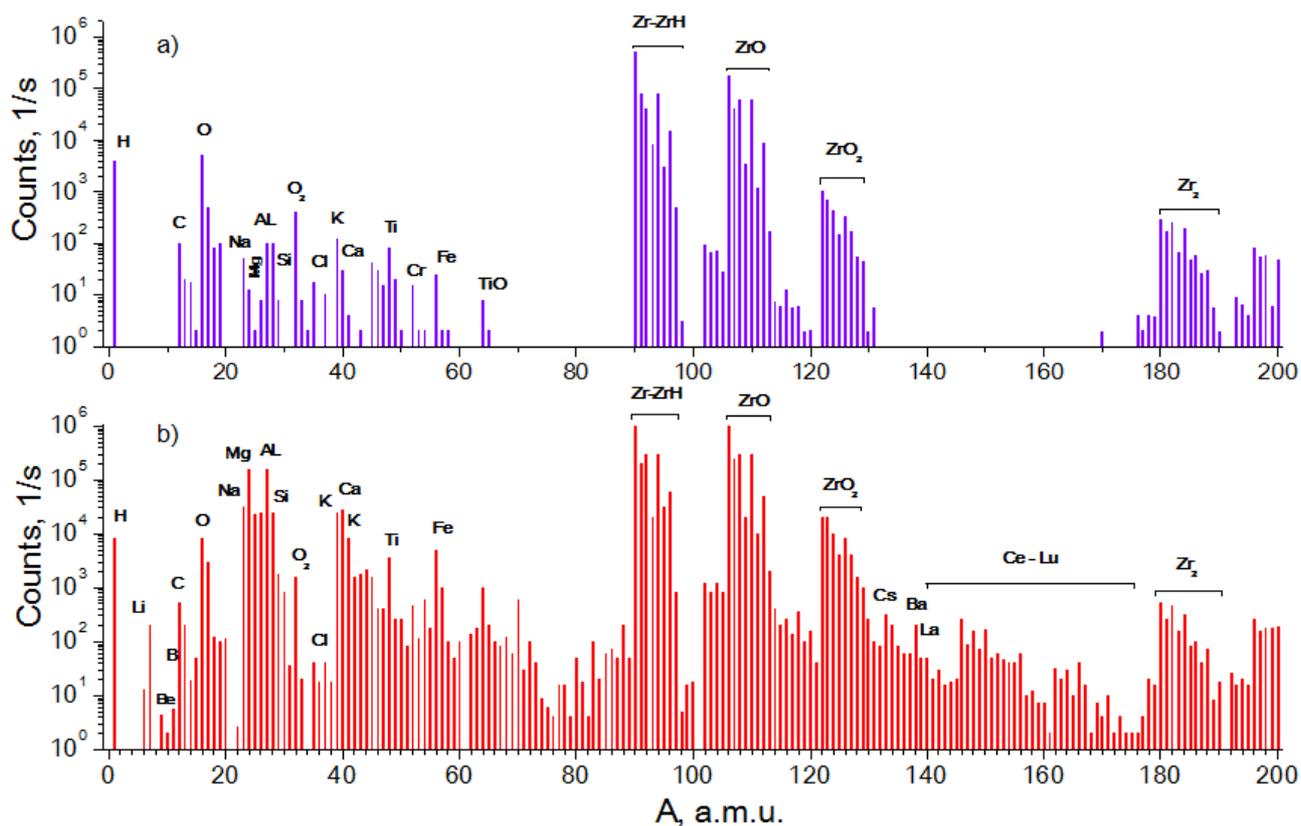


Рис. 2. а) массовый спектр слитка циркония до электронной плавки, б) массовый спектр продукта самородка

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 разных режима эмиссии рентгеновского излучения при изменении параметров тлеющего разряда: диффузное РИ, излучение в виде рентгеновских узконаправленных микропучков и сверхмощная генерация РИ. Диаметр микропучка на расстоянии 200 мм от катода оценивался 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 или  $\sim 50\%$ .

#### *В. Эксперименты по плавке циркония электронным пучком*

В статье М.И. Солина [6] описываются результаты экспериментов по плавке слитков циркония электронным пучком. Опыты проводились в 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 кВт/см<sup>2</sup>. 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

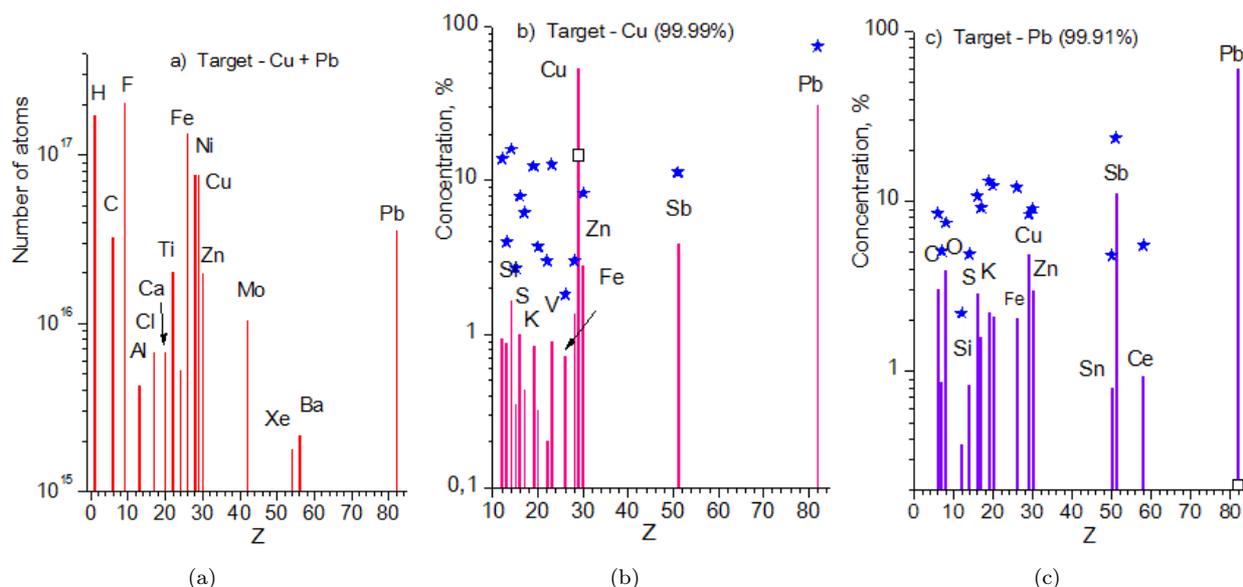


Рис. 3. а) Оценочный выход ионной компоненты плазменного сгустка эксперимент Cu+Pb; Усредненные концентрации элементов (линии) и их максимальные значения (звезды); б) для Cu по 15 пробам и с) для Pb по 6 пробам.

рис.2б - 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 весовых процентов. Методами рентгеновского 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. П.А).

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.

### С. Трансмутация элементов, инициируемая импульсом электронов

Эксперименты [7], [8] состояли в облучении твердотельной мишени импульсом электронов энергией до 1 кДж за время  $\sim 10^{-8}$  с. Опыты проводились в вакууме  $\sim 10^{-3}$  Па. В качестве мишеней и накопительных экранов, их окружающих, использовались чистые материалы: Cu, Ag, Ta, Pb. В результате облучения мишень взрывалась, материал мишени радиально разлетался и осаждался на накопительном экране. Осажденное вещество имеет форму нерегулярно рассеянных капель, шариков, пленок и т.п. В процессе взрыва регистрировалось оптическое излучение плазменного сгустка в зоне ударного сжатия мишени. В спектре плазменного сгустка присутствуют спектральные линии ионов Fe, Ni и других химических элементов, не входящих в исходный состав мишени, но по количеству излучаемых атомов конкурирующих с его основными компонентами (рис.3а). После взрыва остатки от мишени и материал, осажденный на накопительных экранах, проверялись различными аналитическими методами на предмет обнаружения в них примесей посторонних элементов. В качестве аналитических методов использовались: микрорентгено-спектральный, рентгенофлуоресцентный анализы, Оже-электронная спектроскопия, термо-ионизационная, лазерная, вторично-ионная масс-спектроскопии, обратное резерфордское рассеяние. Результаты проведенных анализов подтвердили наличие посторонних элементов в продуктах электронного взрыва. К этим элементам относятся: C, O, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Mo, In, Sn, Sb, La, Ce, Pr, Nd, Hf, Au, Pb. На рис.3б,с представлено усредненное содержание посторонних элементов и их максимальные значения по 15 пробам, взятым на разных участках поверхности

остатков медной мишени эксперимента №3082, и по 6 пробам остаткам свинцовой мишени, и выполненных микрорентгеноспектральным анализом. Для меди на рис.3б и свинца на рис.3с квадратом указано минимальное значение их присутствия по указанным пробам. Чистота меди - 99,99%, свинца - 99,91%. Оценка общего количества посторонних атомов, осажденных на накопительных экранах, составляет  $\sim 10^{18}$ - $10^{19}$  атомов.

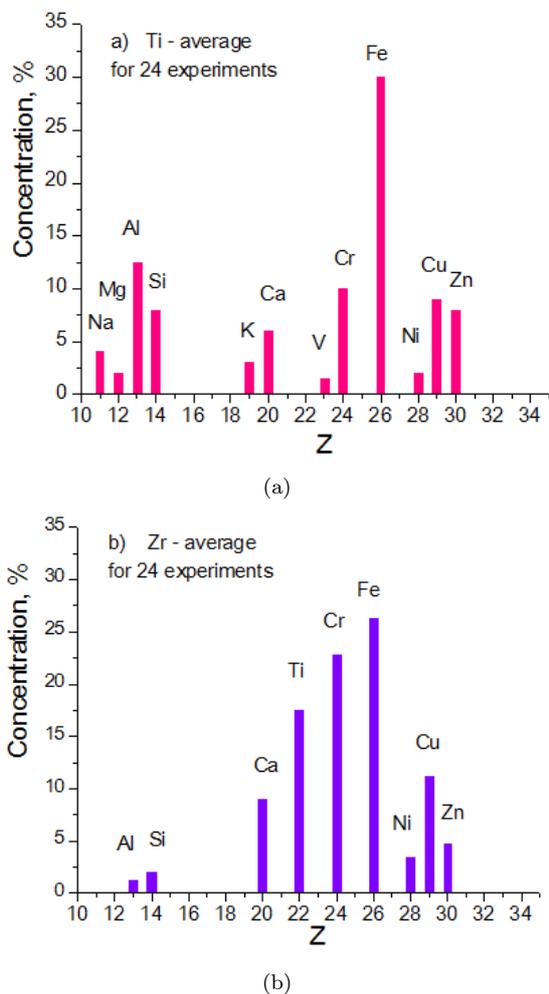


Рис. 4. Усредненный выход посторонних элементов от их общего количества для нагрузки из Ti и Zr.

Кроме того, вторично-ионные масс-спектрометрические анализы изотопного состава вещества, осажденного на накопительных экранах, показали, что большинство микропроб имеют существенно измененное соотношение изотопов элементов по сравнению с природным. В качестве примера, авторы статьи [7] приводят сравнительные диаграммы для элементов: Si, Ar, Ca, Fe, Ni, Cu, Zn, Hf.

В статье приведены результаты экспериментов с мишенями, в состав которых входил радиоактивный изотоп  $^{60}\text{Co}$ . В результате воздействия на мишень электронным импульсом интенсивность спектральных линий  $^{60}\text{Co}$  уменьшилась на величину, эквивалентную

трансмутации  $\sim 10^{18}$  ядер мишени. При этом линий других радиоактивных элементов зарегистрировано не было.

С помощью пластиковых детекторов CR-39 в экспериментах были зарегистрированы треки от  $\alpha$ -частиц с энергиями 4-6 МэВ, треки от протонов и дейтронов с энергией до 1,6 МэВ. Зарегистрировано рентгеновское излучение с максимумом в районе 30-40 кэВ.

В качестве неординарных результатов, полученных в экспериментах с мишенями, изготовленными из Pt, Pb и Bi, следует упомянуть следующие. При анализе элементного состава поверхности накопительных экранов в массовых спектрах обнаружены изотопы тяжелых химических элементов с атомными номерами на границе и за пределами известной части Периодической таблицы. Кроме того, обнаружены неидентифицируемые пики характеристического рентгеновского и Оже-излучения.

#### D. Эксперименты по электровзрыву металлических фольг в жидких средах

Эксперименты проводились в РЭКОМ РНЦ "Курчатовский институт" под руководством Л.И.Уруцкого [9]. Экспериментальная установка представляла собой взрывную камеру, выполненную в виде полиэтиленового тора с восемью отверстиями, высверленными равномерно по окружности. В отверстия вставлялись 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  $\sim 10$  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: B, 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

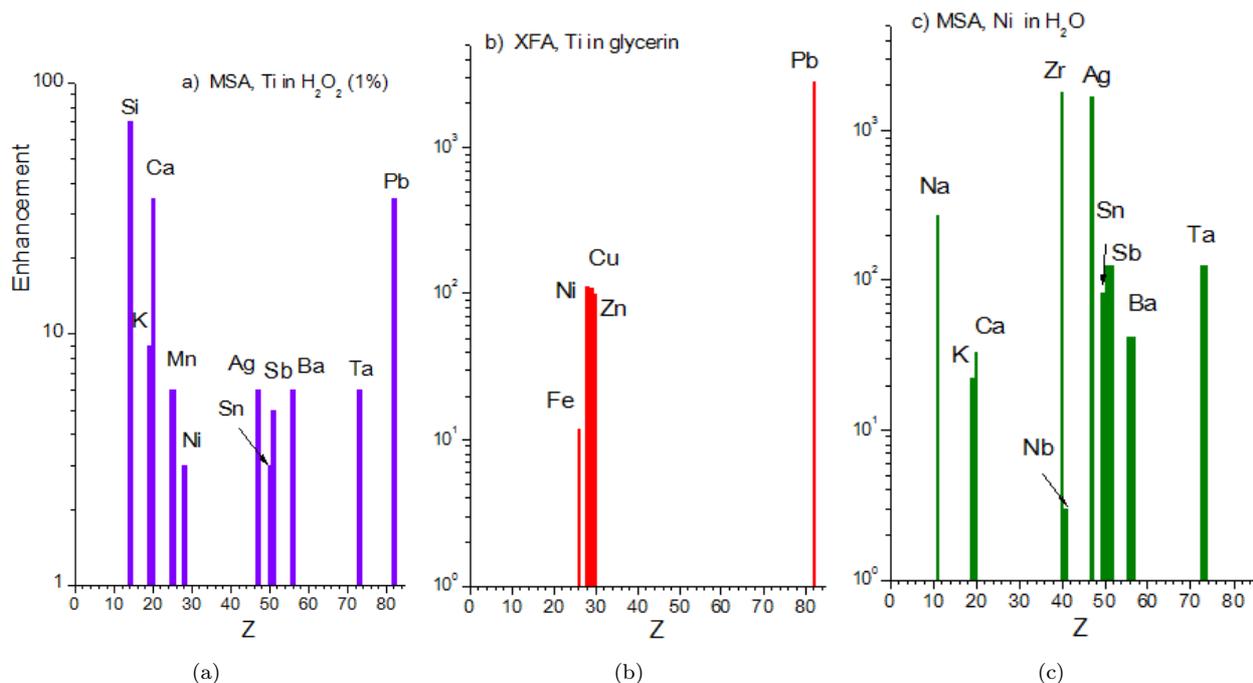


Рис. 5. Относительный рост элементов примесей и выход посторонних элементов в пробах после электровзрыва для наиболее ярких экспериментов. Метод анализа, материал нагрузки и диэлектрическая среда указаны на рисунках.

деталей взрывных камер исследовался различными методами до взрыва. В статье также отмечено изменение изотопного состава титана, в частности, уменьшение удельного количества  $^{48}\text{Ti}$ . В экспериментах наблюдается корреляция между процентным содержанием посторонних элементов и уменьшением доли  $^{48}\text{Ti}$ .

Кроме того, в 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. П.А). Отдельные исследования свойств этих частиц позволили авторам высказать гипотезу о наличии у них магнитного заряда.

Авторами настоящей статьи были проведены проверочные эксперименты по наблюдению трансмутации химических элементов при электровзрыве [10]. Предметом исследований 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), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), гамма- и нейтронно-активационный анализы. 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. Был проанализирован состав примесей, содержащихся в токоподводящем электроде, в фольгах, в воде и полиэтилене.

На рис.5а показан относительный рост элементов

примесей и отношение выхода 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 ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ), рентгенофлуоресцентный 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.

Исследования [10] в общих чертах подтвердили результаты экспериментов, полученные группой Л.И.Уруцкого [9]. 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  $10^{15} \div 10^{18}$ . 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.

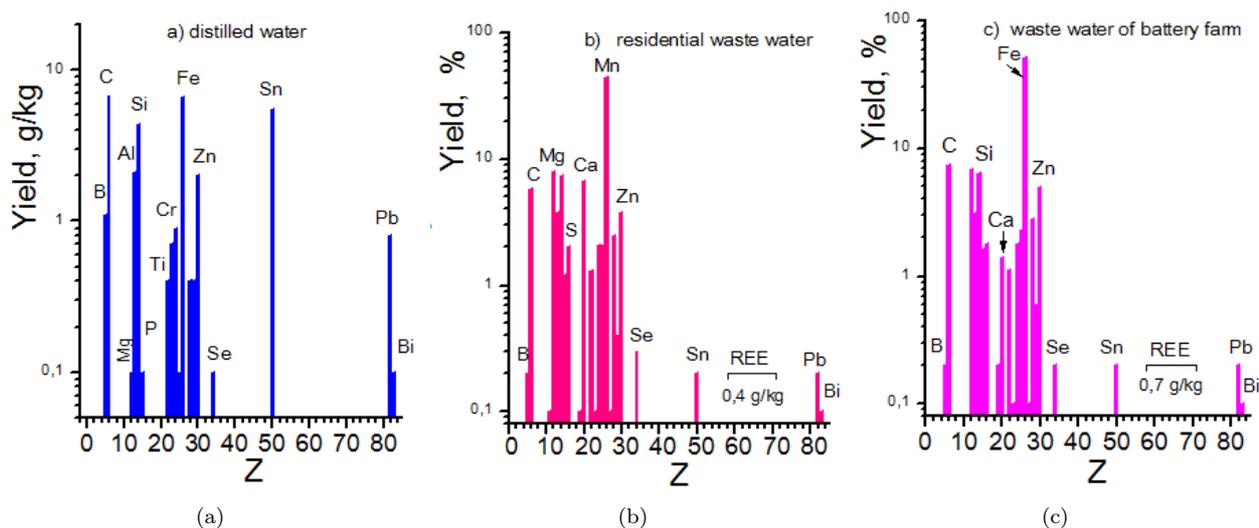


Рис. 6. Выход элементов при обработке в электроразряде а) дистиллированной воды и б) бытовых стоков и с) стоков птицефабрики. REE – редкоземельные элементы.

### Е. Трансмутация элементов под действием импульсного тока

Эксперименты, выполненные Кривицким В.А. [11], состояли в следующем: навеска из свинца, меди и  $\text{Na}_2\text{O}$ , в соотношении 10:1:1, общей массой 270 г, помещалась в алундовый тигель ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и нагревалась газовой горелкой в течение 30 минут до температуры  $1100^\circ\text{C}$  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 с.

В процессе экспериментов было установлено, что при воздействии на расплав в течение 60 с, 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 рентгено-спектрального 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 (15-58%) и сурьма (11-35%), содержание которых составляет десятки процентов. Кроме этих элементов в пробах обнаружены: молибден, палладий, олово, серебро (0.1-5%).

В целях проверки возможных изотопических сдвигов у образующихся элементов 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, что, во-первых, изотопное соотношение исходных свинца и меди не претерпело никаких изменений и, во-вторых, вновь образовавшиеся в процессе трансмутации химические элементы сурьма, олово, и серебро имеют природное соотношение изотопов.

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 превышение над фоном потока гамма-излучения. При этом отклонения от фона потока нейтронов не наблюдалось.

### Ф. Трансмутация элементов в электроразряде в жидких средах

Работы по трансмутации элементов в электроразряде в жидких средах были выполнены А.В.Вачаевым и Н.И.Ивановым [12]. Установка состояла 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 двигалась жидкость, создавался специфический электрический разряд, возникала плазма. Электроды

находились внутри катушки, создающей магнитное поле. Плазма поджигалась импульсным разрядом дополнительных электродов, расположенных поперёк струи жидкости, между трубчатыми электродами. Плазма между трубчатыми электродами представляла собой электропроводящую плазменную пленку, образующую многомерную фигуру типа гиперboloида вращения с пережимом диаметром 0.1-0.2 мм. Разряд протекал практически бесшумно с минимальным выделением теплоты и газовой фазы. Величина тока через трубчатые электроды менялась в пределах 0.1-100 А, но в большинстве случаев ток был – 20-40 А.

В результате работы установки в ней возникал устойчивый процесс преобразования исходного материала среды в новые элементы и их соединения в газообразном, жидком (растворенном в среде) и твердом состоянии. Эффективность процесса значительно повышалась при последовательном соединении двух и более установок. При исследовании процесса трансмутации выяснилось, что максимальный выход твердых продуктов достигался 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), бытовых стоков (рис.6б) и стоков птицефабрики (рис.6с).

#### *Г. Ультразвуковая трансмутация элементов*

В работах А. Ф. Кладова [13] отмечается деструкция (трансмутация) атомных ядер химических соединений, в том числе радиоактивных изотопов, после ультразвуковой обработки их водных растворов. Экспериментальная установка представляла собой гидродинамический генератор ультразвуковых колебаний роторного типа. Активатор сделан из нержавеющей стали. Основные параметры установки следующие: интенсивность звука  $> 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, частота (основной тон) -  $5.9 \cdot 10^3$  Гц, рабочее давление в активаторе –  $10^6$  Па, рабочий объем –  $6.3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, объем активной зоны –  $0.25 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>.

Автор работал со стабильными и радиоактивными изотопами. В случае работы со стабильными элементами, обработка исходных растворов осуществлялась в течение 360 часов для CsCl и 2, 8, 24 часов для LiCl. Спектры элементов, полученные при различном времени обработки растворов стабильных элементов, приведенные на рис.7. На нем представлен элементный состав растворов через определенное время работы установки. Из гистограмм видно, что с течением времени в растворе нарастает количество посторонних

элементов – от бора до свинца (рис.7b-d). 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 = 1; по-видимому, это связано с методическими ограничениями масс-спектрометрических измерений.

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

В статье также описываются работы с радиоактивными изотопами <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>197</sup>Hg, <sup>188</sup>Pt, <sup>126</sup>Sn, <sup>40</sup>K. Автор утверждает, что его установка изменяет количество радиоактивных ядер, т.е. происходит превращение радиоактивных изотопов в стабильные. Во время работы установки уменьшается объем раствора при гарантированной герметичности активатора. Средняя скорость уменьшения раствора составляет 28 мл/час. Это обстоятельство свидетельствует, что молекулы воды участвуют в реакциях трансмутации.

В процессе работы установки автор регистрировал какое-то излучение, интенсивность которого менялась с изменением режима работы активатора. В качестве детекторов этого излучения использовались: черенковский детектор, радиометр-дозиметр типа МКС-01Р, детекторы-калориметры.

Также автор обнаружил значительное, в два раза, снижение активности плутоний-бериллиевого источника нейтронов после работы активатора. Источник находился на расстоянии 2,4 м от активатора. Правильность измерений была подтверждена многократной проверкой.

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

#### *Н. Трансмутация изотопов в растущих биологических культурах*

В работах [14], [15], [16], [19], [20] проведены успешные исследования по обнаружению явления низкоэнергетической трансмутации элементов в микробиологических культурах. Эксперименты [14], [15], [16] 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:  $^{57}\text{Fe}$  и  $^{54}\text{Fe}$ . Их содержание в природе составляет 2,2% и 5,8%, соответственно. Основной изотоп  $^{56}\text{Fe}$  – 91,7%. Содержание изотопа железа  $^{57}\text{Fe}$  в образцах определялось с помощью эффекта Мессбауэра, а содержание  $^{54}\text{Fe}$  определялось методом время-пролетной масс-спектропии. Эти методы позволяют, с высокой чувствительностью, контролировать

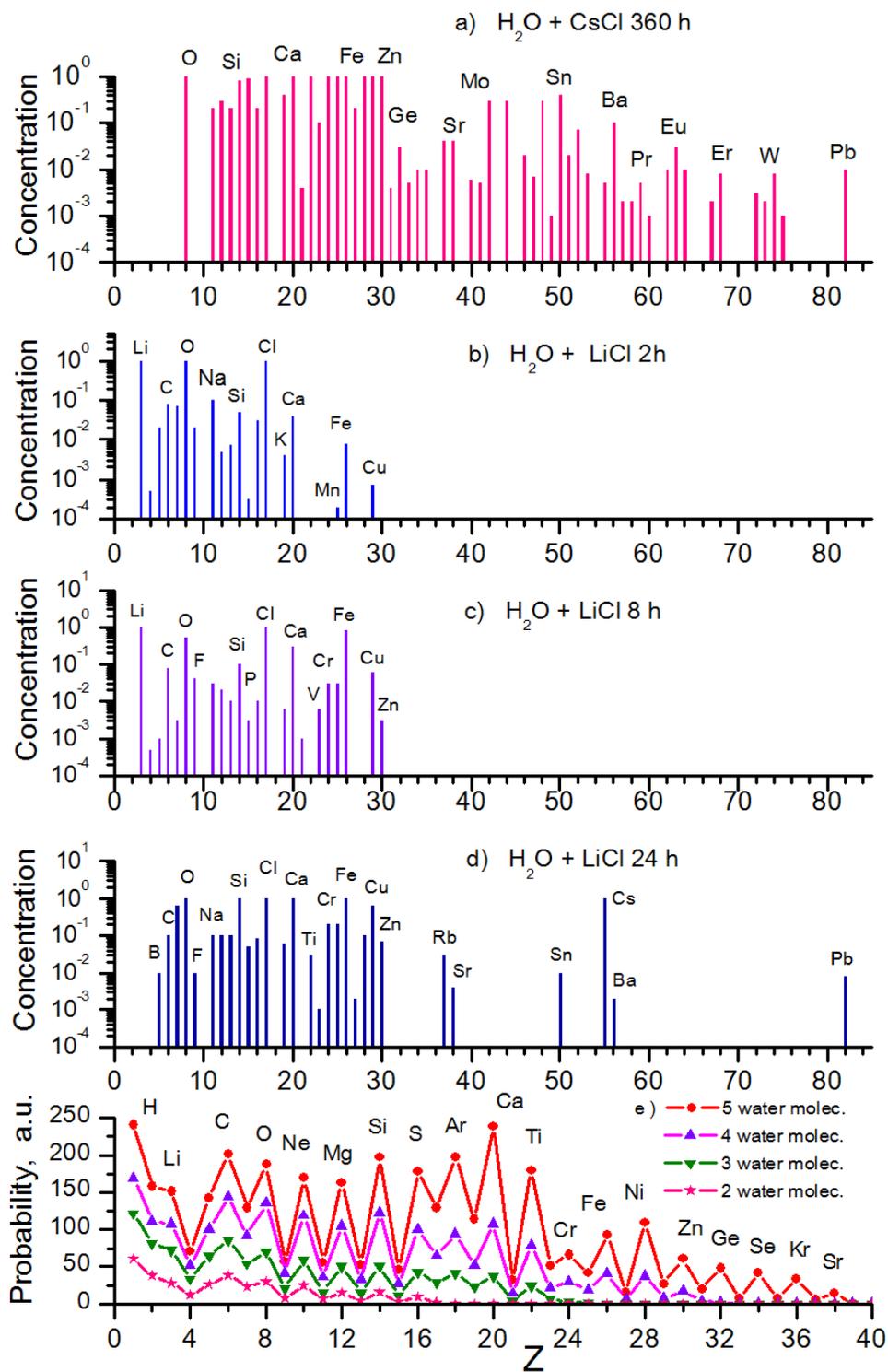


Рис. 7. а) Элементный состав раствора CsCl после 360-часовой ультразвуковой активации; Элементный состав раствора LiCl после б) 2-часовой, в) 8-часовой ультразвуковой активации и д) после 24-часовой ультразвуковой активации; е) расчет выхода элементов, при участии в процессе трансмутации от 2-х до 5-ти молекул воды.

содержание изотопов  $^{57}\text{Fe}$  и  $^{54}\text{Fe}$  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 выращивание культур, в питательных средах которых отсутствовал либо дей-

терий (тяжелая вода), либо марганец, либо фосфор. После окончания каждой серии опытов, в выращенных культурах сравнивалось содержание изотопов железа и определялось их количество. В экспериментах было зарегистрировано превращение одних элементов в другие, при скорости образования ядра  $^{57}\text{Fe}$ , равной

$(1,9 \pm 0,52) \cdot 10^{-8}$  на одно ядро  $^{55}\text{Mn}$  в секунду и скорости образования ядра  $^{54}\text{Fe}$ , равной  $(3-6) \cdot 10^{-10}$  на одно ядро  $^{31}\text{P}$  в секунду или  $(1-2) \cdot 10^{-10}$  на одно ядро  $^{23}\text{Na}$  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. Всех их объединяет близость полученных результатов. Кроме того, приведенные выше экспериментальные данные по процессам трансмутации элементов имеют общие для разных экспериментов закономерности.

### III. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТРАНСМУТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ

#### A. Феноменологическая модель и расчет

Указанные в предыдущей главе превращения элементов не могут быть объяснены традиционными 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 реакциях трансмутации при электронном и электровзрыве многих химических элементов, в том числе, тяжелых элементов: вольфрама, тантала, свинца, которые невозможно получить в парных реакциях в относительно легкой по элементам среде [7], [9], [10], [12], [13], приводит нас к выводу, что при трансмутации осуществляется взаимодействие одновременно многих атомов:

$$\sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} A_i + e^- \rightarrow \sum_i c_i Z_i + \sum_j c_j {}^{N_j}_{Z_j} B_j + e^- \sum_J c_J Z_J + l\nu(\tilde{\nu}) + Q \quad (1)$$

где  ${}^N_Z A$ ,  ${}^N_Z B$  – нуклиды с зарядом  $Z$  и количеством нуклонов  $N$ ; нуклиды  ${}^N_Z B$ , как правило, стабильны;  $e^-$  – атомные электроны;  $c_i, c_j$  – количество нуклидов  ${}^{N_i}_{Z_i} A$ ,  ${}^{N_j}_{Z_j} B_j$  во входном и выходном каналах, соответственно;  $l\nu(\tilde{\nu})$   $l$  – количество нейтрино или антинейтрино. Нейтрино и антинейтрино появляются в уравнениях реакции для сохранения лептонного заряда.

Кроме того, ядерные реакции, приводящие к появлению посторонних элементов, являются экзотермическими  $Q \geq 0$ . Выделение энергии в этих реакциях идет за счет разницы в суммах масс атомных ядер (точнее атомов (1)) во входном и выходном канале реакции. Такие процессы известны, это деление ядер на два осколка, например, спонтанное деление ядра  $^{238}\text{U}$ , и термоядерный синтез, когда, наоборот, идет реакция слияния двух легких ядер. В этих двух процессах, выделение энергии идет за счет разницы в суммах масс начальных и конечных атомных ядер. То же самое

происходит в процессе трансмутации, только в этом случае в реакции может участвовать и одно, и два ядра, и целый конгломерат атомных ядер. Причем в многоатомных реакциях НТЭ осуществляются оба процесса: слияние многих атомных ядер (атомов) в одно общее образование и последующее разделение этого образования на многие атомы. Следует подчеркнуть, что приведенное выше уравнение реакций (1), по всей видимости, представляют только известную – атомно-ядерную часть этого сложного процесса, но не отражают появление в реакции НТЭ неизвестного излучения.

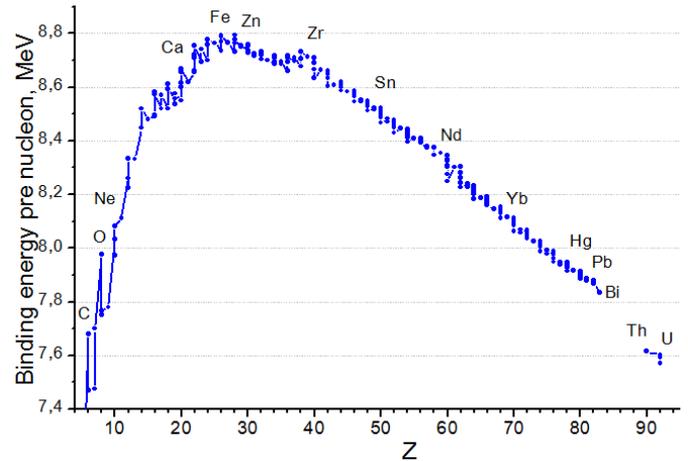


Рис. 8. Энергия связи на нуклон у стабильных атомных ядер.

В расчетах, разумеется, в энергетическом балансе нужно учитывать не только массу ядра, но и массу  $l$  электронов. В расчетах мы учитывали и энергию связи электронов в атомах. Для анализа возможных реакций использовался справочник [21]. 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 [22]. По техническим возможностям мы учитывали не больше трех выходных нуклидов, т.е. рассматривались все реакции:

$$\sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} A_i + l e^- = {}^{N_1}_{Z_1} B_1 + {}^{N_2}_{Z_2} B_2 + l \nu_e + Q;$$

$$\sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} A_i + l e^- = {}^{N_1}_{Z_1} B_1 + {}^{N_2}_{Z_2} B_2 + {}^{N_3}_{Z_3} B_3 + l \nu_e + Q;$$

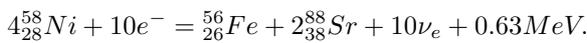
$$\sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} A_i = {}^{N_1}_{Z_1} B_1 + {}^{N_2}_{Z_2} B_2 + l e^- + l \tilde{\nu}_e + Q;$$

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

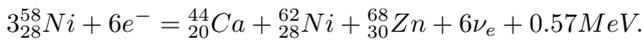
где  $l e^-$ ,  $l \nu_e$ ,  $l \tilde{\nu}_e$  –  $l$ -количество электронов, нейтрино и антинейтрино, соответственно. При этом должны выполняться условия сохранения количества нуклонов

$\sum_i c_i N_i = N_1 + N_2$  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.8).

Для анализа электровзрыва [9], [10] 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:

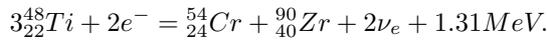


При этом самый легкий продукт реакций – кальций, получается в четырех реакциях, например:



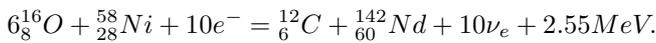
Реакций с сохранением числа протонов не существует. Максимальное количество элементов на выходе приходится на другие изотопы никеля и железа.

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, например:

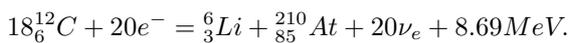


Наиболее легкий элемент, получаемый в реакциях  $^{48}\text{Ti}$  между собой – это кремний.

Гораздо больший интерес представляют реакции элементов нагрузки с элементами среды. Для примера нами были рассмотрены реакции  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{48}\text{Ti}$  с несколькими (L) элементами  $^{16}\text{O}$  и с несколькими 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 нуклон 7.976 МэВ, является  $^{180}\text{W}$  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.9 приведены для сравнения экспериментальное распределение элементов и два расчетных распределения по количеству комбинаций выходных элементов в реакциях  $^{48}\text{Ti}$  между собой и  $^{48}\text{Ti}$  с кислородом. Разумеется, сравнивать можно только границы распределений.

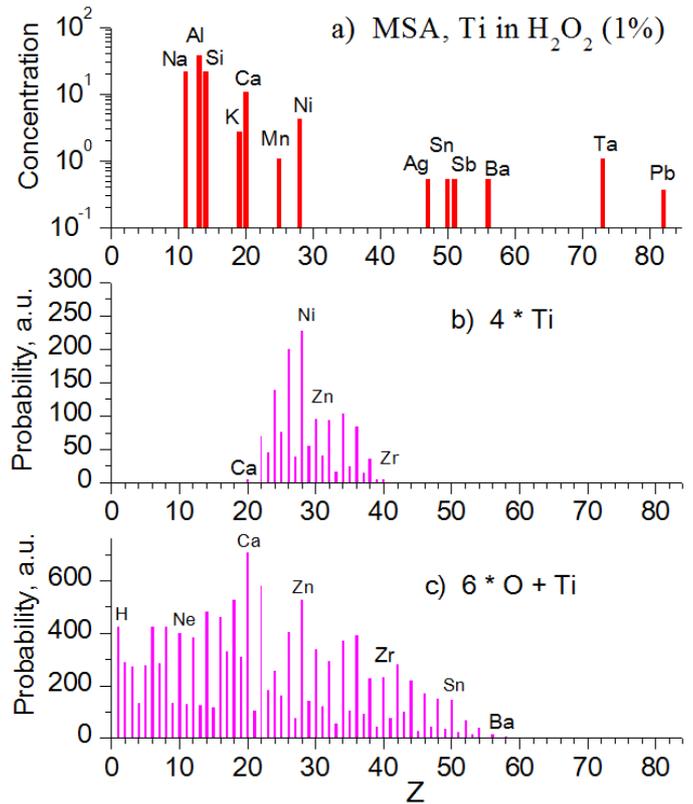


Рис. 9. а) Элементного состава образца после электровзрыва Ti в H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; б) количество комбинаций выходных элементов в реакции четырех атомов Ti-48 и в) Ti-48 с шестью атомами кислорода.

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 (OH). Напомним, что эти расчеты были сделаны при ограничении на количество выходных нуклидов: не больше трех.

Обсуждаемый в обзоре (п. II.B) опыт по изменению элементного состава чистого циркония [6] потребовал дополнительного анализа, поскольку плавка циркония происходила в вакууме. 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 [10] (рис.10b,c) для этого случая так же продемонстрировали возможность получения всех элементов при выполнении закона сохранения энергии.

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что процесс появления посторонних элементов в реак-

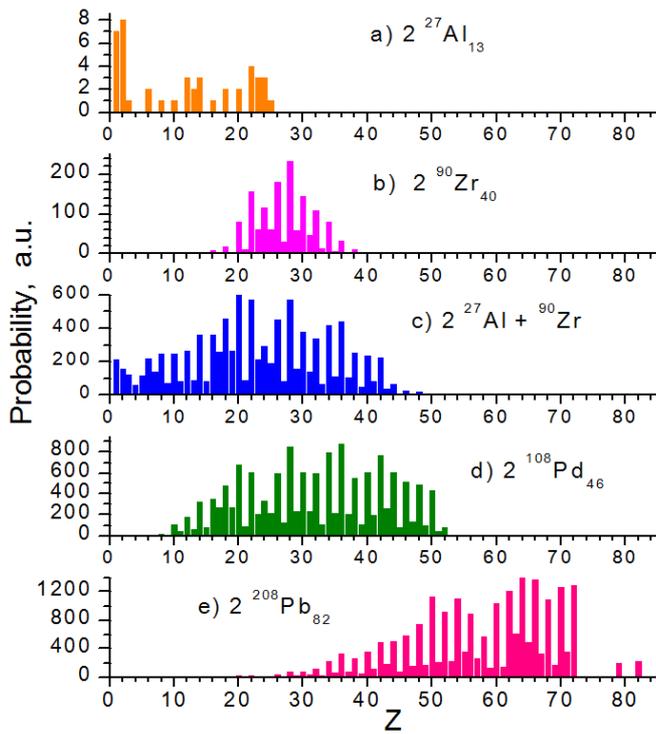


Рис. 10. Расчеты возможных конечных продуктов реакций трансмутации для различных элементов во входном канале.

ции низкоэнергетической трансмутации не противоречит закону сохранения энергии и их можно получить из исходных ядер при положительном энерговыходе. Однако, для объяснения появления всех наблюдаемых элементов нужно привлекать во входной канал три и более атома. 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. Заметим, что справедливость рассмотренного баланса при сохранении лептонного числа может быть проверена путем регистрации вспышки нейтрино (антинейтрино).

### В. Обсуждение теоретических запретов НТЭ

Как мы уже упоминали выше, в рамках традиционных 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:

- 1) невозможность пройти кулоновский барьер;
- 2) предельно малые вероятности слабых процессов и
- 3) 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:

$$\sigma_r = \tilde{\sigma} |\Psi_C(0)|^2,$$

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

$$W_n \approx nv\sigma_r,$$

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  $|\Psi_C(0)|^2 = e^{-2\pi/ka} 2\pi/ka$  (см., например, [22]), 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  $10^{-46000}$ . 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  $10^{-720}$  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. Чтобы 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  $^{173}_{74}W$  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:

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

где  $\Delta E$  – энергия, выделяемая при слабом взаимодействии, а величина  $\alpha$  является безразмерной константой. Двойные и тройные бета переходы будут определяться просто степенью, то есть  $\alpha^2$  и  $\alpha^3$ , соответственно. Оценим эту величину. Для  $W_w=1/\text{сек}$  и  $\Delta E = 1$

Мэв, получим  $\alpha \sim 10^{-21}$ . 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  $\sim 10^{-21}/\text{с}$ , 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 ( $n = N/V_{Tot}$ ). Для оценки скорости вероятности образования трехчастичных соударений нужно последнюю величину разделить на характерное время нахождения в этом объеме:

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

Поскольку у нас два параметра длины: размер  $R$ , определяющий объем  $V$ , и среднее расстояние между частицами  $n^{-1/3}$ , то характерное время определяется интервалом от  $n^{-1/3}/v$  до  $R/v$ . Возьмем завышенную скорость образования трехчастичных соударений по самому короткому времени  $\tau = R/v$ . Оценивая размер ядра  $R$  в  $10^{-12}$  см, энергию движения ядер титана в 1 эВ и беря плотность металлического титана, получаем  $W_K \sim 10^{14}/\text{с}$ . 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 кинематического запрета, который нельзя обойти даже введением гипотетических частиц – посредников сближения ядер. Однако экспериментальные данные показывают существование процесса трансмутации. Как гипотезу мы можем высказать мнение, что в процессе трансмутации в среде возникают некоторые замкнутые области – “капсулы”, которые могут содержать внутри себя большое количество атомов. Внутри этих “капсул” условия протекания физических процессов изменены.

#### IV. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ХИМИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТАМ В ПРОДУКТАХ ТРАНСМУТАЦИИ

##### A. Классификация процессов трансмутации

Как уже указывалось, конечным состоянием трансмутационного процесса является набор стабильных

нуклидов (в настоящее время насчитывается 272 стабильных нуклида). Конечные наборы нуклидов оказываются разными для процессов трансмутации, происходящими или за короткое время (электронный и электровзрыв рис.3-5), или, когда в процессе НТЭ среда постоянно возобновляется (электрический разряд в водно-минеральной среде рис.6), в сравнении с протяженными во времени процессами, в которых, к тому же, среда не замещается на новую (плавка циркония рис.2b, ультразвуковая обработка (УЗО) солевых растворов рис.7a-d) [23]. Из представленных рисунков видно, что в случае электровзрыва и электроразряда появление посторонних элементов носит нерегулярный характер, а в случае Zr-плавки и УЗО продукты трансмутации представляют собой широкий спектр химических элементов. Как указывалось в [10], возможная причина данного различия заключается в продолжительности протекания процессов НТЭ в этих опытах. Действительно, процесс электровзрыва происходит в течение десятков микросекунд, в двух других случаях он осуществляется в течение десятков минут – плавка циркония и даже дней - ультразвуковая обработка. И хотя не известно, ни сколько времени протекает реакция трансмутации, ни сколько времени в среде существуют условия для её возникновения, однако правдоподобно допустить, что во время Zr-плавки и УЗО плотность реакций трансмутации на единицу среды много больше, чем в случае электровзрыва. В силу сказанного, можно предположить, что реакции трансмутации при электровзрывах в значительной степени идут только с участием элементов исходного материала, а в случаях Zr-плавки и УЗО в реакции могут вовлекаться вторичные элементы - продукты предыдущих трансмутаций. Очевидно, что последнее обстоятельство приводит к расширению спектра элементов, получающихся в продуктах трансмутации.

К настоящему времени экспериментов по низкоэнергетической трансмутации накопилось достаточно много, что позволяет сделать их классификацию. Это классификация необходима для понимания вопросов, связанных с распределением химических элементов в продуктах трансмутации.

- 1) Прежде всего, эксперименты по НТЭ можно классифицировать по применяемой методике, например: электроразряд, плавка, кавитация и т.д.
- 2) Следующей важной характеристикой процесса является *кратность* участия химических элементов в реакциях трансмутации. В реакциях НТЭ могут протекать *однократные* процессы, когда в них участвуют только исходные, первичные химические элементы. К таким процессам относятся эксперименты по электронному взрыву [7], [8] и электровзрыву металлических фольг в жидких средах [9], [10], и опыты по осуществлению электрического разряда в водно-минеральной среде [12]. К экспериментам, в которых проходят *мно-*

*гократные* процессы НТЭ с участием как первичных, так и вторичных химических элементов, относится, например, работа по ультразвуковой обработке водных солевых растворов [13]. Возможны также продолжительные многократные процессы. Назовем их *гиперкратные* процессы. В конце этих процессов в реакциях трансмутации, в основном, участвуют вторичные химические элементы. К таким экспериментам следует отнести опыты по электронной плавке слитков циркония в вакуумной печи [6].

- 3) Другой характеристикой процесса является его *энергонасыщенность* или, другими словами, плотность энергии возбужденной среды. По всей видимости, от этой характеристики процесса зависит количество атомов во входном канале реакции НТЭ и, как следствие, элементный состав продуктов трансмутаций.
- 4) Очевидно, что на элементный состав продуктов НТЭ, влияет *исходный состав среды* по химическим элементам.

#### *В. Количество атомов во входном канале реакций трансмутации*

В работе [10] при обсуждении спектра продуктов трансмутации для случая плавки циркония указывалось, что широкий спектр элементов можно получить двумя способами; либо при последовательной наработке сначала легких элементов с относительно низкой энергией связи, а потом на их основе - тяжелых элементов, либо сразу, легких и тяжелых элементов из большого количества исходных ядер во входном канале – параллельная наработка. Таким образом, возникает вопрос: сколько атомов участвует во входном канале реакций трансмутации?

В экспериментах по ультразвуковой обработке водных растворов солей, по-видимому, осуществляется, последовательный механизм в получении широкого спектра химических элементов в продуктах трансмутации [13]. Как видно из рис.7с, после 8-ми часовой обработки раствора хлорида лития (LiCl) в нем появились такие химические элементы, как Sc, V, Cr, Zn. Эти элементы отсутствовали в растворе после его обработки в течение двух часов рис.7b. Также существенно возросло количество F, Mg, P, Ca, Mn, Fe. В то же время (8 часов), в растворе отсутствуют более тяжелые химические элементы, появившиеся в нем после его 24-х часовой обработки (рис.7d). Для последнего времени измерения такой элемент, как рубидий (Rb), имеет концентрацию, сравнимую с концентрацией цинка, и поэтому должен был присутствовать в растворе после его 8-ми часовой активации, если допустить не последовательный, а параллельный механизм наработки элементов (большое количество исходных ядер во входном канале). То же самое можно сказать о цезии (Cs), концентрация которого превышает концентрацию цинка больше, чем на порядок. Из этого обстоятельства можно сделать

вывод, что в данном эксперименте в водном растворе сначала нарабатываются легкие элементы от  $^{19}\text{F}$  до  $^{70}\text{Zn}$ , которые являются материалом для получения более тяжелых химических элементов.

Если предположить, что на начальной стадии процесса трансмутации, когда концентрация солей в растворе невелика, в реакциях участвуют в основном молекулы воды, то можно оценить количество молекул, участвующих в процессе трансмутации и область пространства, которую они при этом занимают. Для получения элементов от  $^{19}\text{F}$  до  $^{70}\text{Zn}$  достаточно 1 (+водород) – 4-х молекул воды (рис.7с), а занимаемая ими область равна  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  см.

Однако, следует помнить, что в экспериментах с электровзрывом [9], [10] и при электроразряде в дистиллированной воде [12] в продуктах трансмутации были обнаружены тяжелые элементы – Ta, Pb, Bi (рис.4-6), которые по расчетам [10] могут производиться только элементами легкой среды ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  и др.). Из этого следует, что количество атомов, участвующих в реакции трансмутации, может быть значительно больше, 25-30 атомов и более. По-видимому, изменения в количестве атомов во входном канале для сопоставляемых экспериментов: УЗО и электровзрыв-электроразряд, связаны с разными значениями плотности энергии возбужденной водной среды в этих экспериментах.

*Чем больше плотность энергии возбужденной среды, тем большее количество атомов могут быть вовлечены во входной канал реакции трансмутации.*

Естественно, речь идет о расширении диапазона количества атомов во входном канале. В свою очередь, изменение количества атомов во входном канале трансмутационного процесса, приводит к изменению элементного спектра продуктов на выходе реакции. Подтверждением данного заключения могут также служить эксперименты по электровзрыву титановой фольги в глицерине- $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  ([10], Таб.6, рис.12а). В эксперименте №660, по сравнению с тремя другими, была увеличена мощность электровзрыва, что привело к появлению в спектре свинца и исчезновению марганца.

Возвращаясь к экспериментам по ультразвуковой обработке раствора LiCl, отметим, что такие элементы, как титан (Z=22) и никель (Z=28), после 24-часовой обработки раствора присутствуют в спектре с такой же концентрацией, как у цинка, и отсутствуют в 8-часовом спектре (рис.7с,d). Таким образом, по какой-то причине, наработка этих элементов также идет последовательно.

Очевидно, что, если бы процесс трансмутации продолжился дальше, то в растворе появились бы другие химические элементы. Это хорошо видно на примере ультразвуковой обработки раствора CsCl в течение 360-ти часов (рис.7а).

#### *С. О наработке элементов в процессе трансмутации*

Проведенные расчеты показывают, что, если в процессах трансмутации участвуют вторичные элементы,

то в её продуктах получают атомные ядра практически всех химических элементов, независимо от того с какого химического элемента или соединения эти процессы начались. На рис.10 представлены в виде гистограмм расчеты возможных конечных продуктов (выходной канал) реакций трансмутации для различных элементов во входном канале. По оси абсцисс отложен заряд химического элемента, а по оси ординат – сколько раз данный элемент появлялся при расчете в различных выходных каналах. Во входном канале участвуют или два атома алюминия  $^{27}_{13}\text{Al}$  (рис.10а) или два атома циркония  $^{90}_{40}\text{Zr}$  (рис.10б), или два атома алюминия  $^{27}_{13}\text{Al}$  и один атом циркония  $^{90}_{40}\text{Zr}$  (рис.10с), или два атома палладия  $^{108}_{46}\text{Pd}$  или два атома свинца  $^{208}_{82}\text{Pb}$  (рис.10е).

Уместно отметить, что расчетный спектр для  $^{108}_{46}\text{Pd}$  (рис.10д) достаточно хорошо отражает спектр элементов, получающийся в работах с тлеющим разрядом с палладиевым катодом (рис.1). Здесь, в качестве примеров, в четырех случаях во входном канале взято по два одинаковых ядра. Ясно, что вовлечение в реакцию трансмутации других элементов из распределений, представленных на рис.10, приводит к расширению спектра химических элементов. К такому же последствию приводит увеличение количества атомов во входном канале, поскольку возрастает число возможных комбинаций в выходном канале (рис.10с). Очевидно что, чем больше различных элементов составляют среду в начале процесса трансмутации, тем богаче спектр химических элементов в её продуктах.

Следует отметить, что в самом начале протяженных процессов трансмутации максимум спектра элементов, получающихся в выходном канале, будет расположен недалеко от исходного элемента (рис.10).

Также, обращают на себя внимание значительные четно-нечетные колебания по элементам в выходе возможных конечных продуктов.

В рамках феноменологической модели процесс трансмутации не начнется, если первичными элементами будут изотопы железа и никеля с максимальной известной энергией связи на нуклон ( $^{56}\text{Fe}$  - 8,790МэВ,  $^{58}\text{Fe}$  - 8,792МэВ и  $^{62}\text{Ni}$  - 8,794МэВ), другими словами находящиеся в минимальном энергетическом состоянии. Однако, как показали расчеты, процесс трансмутации может протекать за счет других изотопов Fe и Ni, имеющих сравнительно меньшую энергию связи.

Таким образом, из модели следует, что *Многokратные и гиперкратные процессы трансмутации с неизбежностью приводят к появлению в их продуктах атомных ядер практически всех химических элементов, независимо от того с какого химического элемента или соединения эти процессы начались.*

Кроме того, спектр элементов в продуктах НТЭ может зависеть от плотности энергии возбужденной среды, посредством количества атомов во входном канале.

Очевидно, что феноменологическая модель позволяет синтезировать в результате процессов НТЭ

сверхтяжелые элементы ( $Z > 100$ ) [7].

#### Д. “Универсальное” распределение

Очевидно, что, если в среде имеется набор превращающихся друг в друга элементов, то количественные отношения между ними должны отображаться определенным распределением.

Рассмотрим на примере электровзрыва и плавки циркония процессы трансмутации более подробно. Для наглядности на рис.11а,б представлены предполагаемые энергетические схемы этих процессов трансмутации: электровзрыв (рис.11а) и плавка циркония (рис.11б). По оси ординат должна была быть отложена в энергетических единицах сумма масс нуклидов, участвующих в процессе трансмутации. Но, поскольку количество атомов, участвующих во входном канале реакции трансмутации, может меняться, удобно перейти к шкале, связанной с энергией на нуклон  $E/n$ . Тогда целая группа начальных состояний может отобразиться в этом масштабе (с точностью до изотопов), как “одно” состояние. Левый столбец представляет собой начальные состояния, правый - конечные состояния. Конечными состояниями, как говорилось выше, являются наборы из стабильных элементов. Таких наборов может быть бесконечное множество. Однако законы сохранения - энергии, углового момента, количества нуклонов и т.п., в каждом конкретном акте трансмутации, уменьшают этот набор до счетного количества.

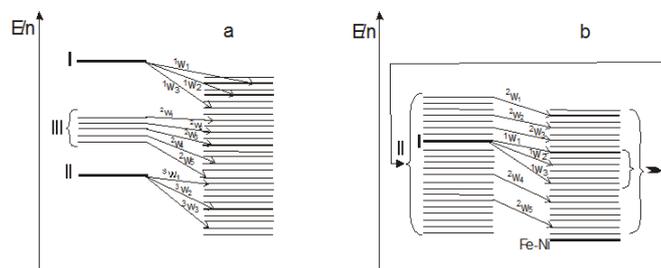


Рис. 11. Предполагаемые схемы энергетических процессов трансмутации для случаев: а) электровзрыв (однократные переходы); б) плавка циркония (гиперкратные процессы).

В случае электровзрыва металлических фольг в диэлектрической среде имеется три группы начальных состояний - рис.11а. Первая группа (I) представлена состояниями, когда участниками реакций являются только атомы диэлектрической среды, вторая группа (II) соответствует состояниям, когда в реакции трансмутации участвуют только атомы металлической фольги, и в третью группу (III) вошли смешанные состояния, когда в реакцию одновременно вступают и атомы фольги, и атомы диэлектрической среды. Последние состояния представляют “группу” даже в масштабе  $E/n$ , так как соотношение атомов среды и атомов металлической фольги во входном канале реакции может быть разным. Поскольку мы предположили, что трансмутация при электровзрыве протекает с участием элементов только

исходного материала, то переходы из начальных состояний в конечные являются однократными. Каждый такой переход идет со своей вероятностью ( $w$ ). Естественно допустить, что какие-то переходы являются преобладающими. По этой причине для электровзрыва спектр конечных элементов достаточно бедный. Вероятности переходов, по всей видимости, зависят от многих величин: от энергии, выделяющейся при переходе; от угловых моментов состояний; от количества нуклонов во входном канале и количества нуклидов в выходном, от количества слабых переходов, и, скорее всего, от ядерных характеристик собственно нуклидов. Последнее утверждение следует из экспериментальных данных по электровзрыву и водному электроразряду. Для этих случаев в конечных продуктах практически всегда присутствуют такие элементы, как сурьма, олово и свинец. Кроме того, как отмечалось выше, во всех четырех экспериментах в продуктах трансмутации преобладают легкие элементы от натрия до цинка.

В отличие от электровзрыва при электронной плавке в вакуумной печи циркония его природный изотопный состав является единственным исходным элементом (группа I, рис.11b) для производства всех представленных на рис.2b элементов, вплоть до лютеция (Lu). Как указывалось выше, появление такого широкого спектра элементов, по-видимому, связано с участием в последовательных реакциях трансмутации продуктов предыдущих трансмутаций (группа II, рис.11b).

Предположим, что в среде всегда существуют условия для протекания процессов трансмутации. На начальной стадии развития процессов трансмутации, когда количество атомов циркония преобладает над количеством атомов вторичных элементов, нуклидное распределение продуктов трансмутаций будет носить, по всей видимости, нерегулярный характер, такой же, как и для случая электровзрыва (однократные переходы). Под нуклидным распределением здесь следует понимать распределение по стабильным нуклидам. Распределение по нуклидам начнет существенно меняться только тогда, когда количество атомов циркония уменьшится настолько, что атомы вторичных элементов начнут вступать в реакции трансмутации между собой с большей вероятностью, чем с атомами исходного вещества. Одновременно, как говорилось выше, в продуктах трансмутации появятся атомные ядра практически всех химических элементов. В конце концов, гиперкратные процессы трансмутации приведут к ситуации, когда количество атомов циркония станет сравнимо или меньше количества атомов вторичных элементов. К этому времени, взаимопревращение химических элементов друг в друга приведет к определенному, *квазиравновесному* распределению.

Распределение было бы равновесным, если бы реакции трансмутации протекали без потери энергии. А из статистической физики и термодинамики известно, что в замкнутой системе необратимые процессы неизбежно заканчиваются её переходом в равновесное состояние [24]. Мы позволили себе применить к процессам транс-

мутации законы статистической физики и термодинамики на том основании, что трансмутацию можно представить не как обмен энергией между частицами, а как обмен между нуклидами порциями нуклонов ( $E=mc^2$ ), пусть и в многочастичном взаимодействии, а в качестве статистического ансамбля можно использовать всевозможные наборы из ограниченного количества стабильных нуклидов. В нашем случае процессы трансмутации действительно необратимы, но они осуществляются в открытой системе, с потерей массы (энергии) для самой реакции трансмутации. Потерянная масса преобразуется в кинетическую энергию нуклидов, уносится нейтрино и неизвестным излучением. Правда, отчасти, эти потери будут компенсироваться участием в реакциях атомов исходного вещества, до того момента, когда количество последних уменьшится до уровня вторичных нуклидов. Ясно, что рассчитанные потери в массе 0.1-10 МэВ на одну реакцию [10], существенно меньше, чем масса вступающих в реакцию нуклидов ( $>>1ГэВ$ ). Таким образом, гиперкратные процессы трансмутации осуществляются в квазипостоянной среде, медленно уменьшающейся по энергии. По этой причине получающееся распределение будет квазиравновесным и соответствовать оно должно максимуму энтропии по нуклидному распределению.

Следует отметить, что группа элементов от натрия до цинка всегда появляется во всех экспериментах по трансмутации, независимо от того в какой среде этот процесс идет. По-видимому, какие-то элементы из этой группы находятся в максимуме квазиравновесного распределения. В случае электронной плавки циркония такими элементами являются магний и алюминий (рис.2b), в отдельных зонах продуктов трансмутации в максимуме находится кремний и железо (10 - 45 масс.%) [6]. О значительной концентрации Al, Si, Mn, Fe, Zn и Pb в продуктах трансмутации раствора  $^{137}\text{Cs}$  сообщается в работе [13]. Для последнего случая необходимо учитывать, что в силу присутствия в растворе большого количества молекул воды и постоянного их участия в процессе трансмутации, полученное распределение по элементам для продуктов реакции находится далеко от квазиравновесного.

Как было уже сказано, если бы процесс трансмутации происходил без потери энергии, то окончательное нуклидное распределение было бы равновесным. Кроме того, если бы энергия связи на нуклон была для всех элементов одинаковой, то квазиравновесное распределение было бы одно и то же, т.е. оно не зависело бы от исходного элементного состава вещества, в котором начались процессы трансмутации. Такое распределение характеризовало бы процесс трансмутации как бы в "чистом" виде. Наиболее близким к такому гипотетическому "универсальному" распределению является распределение, которое получается в случае, когда процесс трансмутации начинается в среде водорода.

Очевидно, что с реализацией квазиравновесного распределения процесс трансмутации не прекратится. Он приведёт, в конце концов, в силу экзотермичности,

к преобладанию в распределении железа и никеля, как нуклидов с максимальной энергией связи. Процесс трансмутации окончится, когда изотопы  $^{56,58}\text{Fe}$ ,  $^{62}\text{Ni}$  с максимальной энергией связи на нуклон станет существенно больше, чем других элементов. Таким образом, нуклидное распределение будет стремиться к распределению, имеющему наименьшую энергию, а энтропия, по этому распределению, соответственно, к нулю.

Понятно, что для случаев, когда процесс трансмутации начнется в среде элементов, скажем, от хрома до цинка – элементов с примерно одинаковой и близкой к максимальной энергии связи, то, исходя из феноменологической модели, квазиравновесное нуклидное распределение будет иметь максимум в районе  $^{56,58}\text{Fe}$  и  $^{62}\text{Ni}$ . Однако, как говорилось выше, в процессе трансмутации в ее продуктах появятся атомные ядра всех химических элементов (стабильных нуклидов). При этом, предположительно, распределение по этим элементам будет стремиться стать “универсальным” распределением.

Если это так, то в любой среде, независимо от ее химического состава, в которой происходят гиперкратные процессы трансмутации, будет реализовываться “универсальное” распределение, связанное исключительно с особенностями трансмутации. Кроме того, на “универсальное” распределение, в той или иной степени интенсивности, будет накладываться максимум в районе железа-никеля, связанный с максимальной энергией связи у изотопов этих элементов. Интенсивность Fe-Ni максимума как раз и будет зависеть от химического состава среды, в которой начался процесс трансмутации.

В процессе обработки и анализа данных по электро-взрывам металлических фольг в диэлектрической среде [10] мы обратили внимание на повышенный выход некоторых групп элементов в продуктах трансмутации. К таким группам относятся: Na-Si, K-Ca, Mn-Ni, Cu-Zn, Zr-Mo, Ag-Sb, Ta-W, Pb. Интересно, что подобные группы элементов обнаруживаются в спектрах продуктов трансмутации, обусловленных процессами ультразвуковой кавитации и циркониевой плавкой. Более того, похожую картину мы получили при расчете выхода элементов, при участии в процессе трансмутации N молекул воды (рис.7e и рис.12) и других элементов (рис.10c,d). На рис.12, 7e, для наглядности, чтобы избежать резких четно-нечетных колебаний, представлены выходы четных по заряду элементов. Уменьшение выхода элементов в области углерода-кремния с увеличением количества молекул воды, участвующих в реакции, связано с тем, что в выходном канале реакции расчет допускает не более трех нуклидов.

Достаточно очевидно, что увеличенная вероятность появления этих элементов в продуктах трансмутации связана с их близостью к максимумам в зависимости энергии связи нуклонов в ядрах от атомного числа и количеством изотопов у этих элементов. Эти максимумы, как известно, обусловлены “магическими” оболочками с количеством протонов и нейтронов равным: 2, 8, 20,

28, 50, 82, 126. На повышенный выход этих элементов указывалось в работе по ультразвуковой кавитации [13]. Действительно, при равных начальных условиях во входном канале, присутствие в конечном спектре “магических” нуклидов увеличивает число комбинаций других нуклидов в выходном канале. Большое количество изотопов у конкретного элемента увеличивает вероятность его появления чисто статистически. Следовательно, “универсальное” распределение кроме Fe-Ni максимума будет содержать пики, обусловленные “магическими” оболочками.

Таким образом, в любой среде, независимо от ее химического состава, в которой происходят гиперкратные процессы трансмутации, в ее продуктах будет реализовываться “универсальное” распределение по нуклидам, с максимумами, связанными с особенностями зависимости энергии связи нуклидов от массового числа. Интенсивность Fe-Ni максимума зависит от химического состава среды, в которой начался процесс трансмутации.

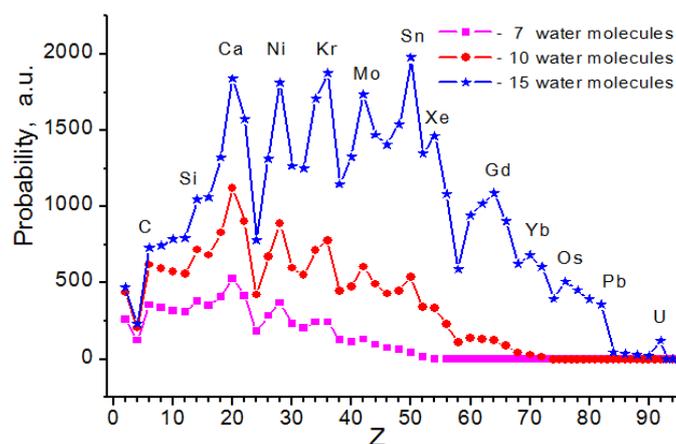


Рис. 12. Расчет выхода четных по заряду элементов, при участии в процессе трансмутации 7, 10 и 15 - молекул воды. В выходном канале сумма 2 и 3 фрагментов.

Строго говоря, поскольку спектр элементов в продуктах трансмутации зависит от плотности энергии возбужденной среды, то квазиравновесное распределение при постоянно подводимой к среде энергии также будет зависеть от этого параметра. И говорить об “универсальности” конечного распределения можно только для трансмутирующих систем, на которые не действуют, или действуют незначительно, внешние источники энергии. А энергия, необходимая для протекания в таких системах процессов трансмутации, поступает за счет самих реакций трансмутации. Как указывалось выше, развитие процесса НТЭ ограничено Fe-Ni максимумом.

Случай ультразвуковой обработки растворенной в воде соли [13] является многократным процессом и похож на Zr-плавку [6]. При ультразвуковой активации элементный состав соли, растворенной в воде, трансмутирует в независимое от этого состава нуклидное

распределение, которое не будет меняться в силу постоянного присутствия в реакциях молекул воды. Такое же распределение получится, если процесс трансмутации начнется в чистой воде (рис.6а). Как уже говорилось выше, с уменьшением количества молекул воды в процессе трансмутации нуклидное распределение будет стремиться к “универсальному” распределению по нуклидам.

Конечно, все сделанные рассуждения требуют строгого теоретического обоснования и экспериментальной проверки. Такие эксперименты можно осуществить, используя в случае электронной плавки разные металлы и их сплавы, а в случае ультразвуковой обработки и электрического разряда в водно-минеральной среде разные химические соединения.

#### *Е. Изотопные соотношения в продуктах трансмутации*

Если гиперкратные процессы трансмутации приводят к реализации в её продуктах “универсального” нуклидного распределения, то, следовательно, “универсальным” будет распределение, как по элементам, так и изотопам. Поэтому в среде, в которой нуклидное распределение еще не стало “универсальным”, у элементов должны быть изотопные соотношения, отличные от табличных. Особенно, это касается случаев электронного взрыва и электровзрыва, в которых происходят однократные трансмутационные переходы.

Как было описано в разделе II, существенные изотопные смещения в продуктах трансмутации наблюдались в экспериментах с тлеющим разрядом в палладиевом и других металлических катодах [5] и в экспериментах с электронным взрывом [7].

В другом случае, когда для циркониевой плавки [6] массовое распределение (рис.2b) было преобразовано в распределение по химическим элементам [10], [23], естественно, пришлось учитывать вклад каждого изотопа в конкретный элемент. Поэтому, сразу, для каждого элемента было найдено изотопное соотношение, получающееся в продуктах трансмутации в результате плавки циркония. Если эти соотношения сравнивать с природными изотопными соотношениями (см. Таблицу) то, с одной стороны, бросается в глаза их значительное различие, например: для калия, хрома, меди, цинка, германия и бария. В таблице эти элементы отмечены звездочками (\*). Это обстоятельство говорит в пользу существования явления трансмутации. С другой стороны, для оставшихся элементов наблюдается достаточно хорошее согласие их изотопных соотношений с природными, земными [25]. Отмеченное же выше различие в изотопных отношениях для указанных элементов (K, Cr, Cu, Zn, Ge, Ba) можно объяснить незаконченностью процессов трансмутации и, как следствие, зависимостью распределений, в том числе и изотопных, от исходного элемента, в данном случае, циркония.

Таблица I

СРАВНЕНИЕ ПРИРОДНОГО ИЗОТОПНОГО ОТНОШЕНИЯ (Ест,%) с ИЗОТОПНЫМ ОТНОШЕНИЕМ, НАБЛЮДАЕМЫМ В ПРОДУКТАХ ТРАНСМУТАЦИИ ЦИРКОНИЯ [6] (НТЭ, %).

Z	A	НТЭ	Ест.	Z	A	НТЭ	Ест.	
Li	6	6	7.5	Ga	69	66	60	
	7	94	92.5		71	34	40	
B	10	78	74	Ge*	70	73	20	
	11	22	26		72	12	27	
Mg	24	76	79		73	15	8	
	25	11	10		74	2	36	
	26	13	11	Se	77	15	7.6	
Si	28	89	92.2		78	16	23.5	
	29	7	4.7		80	54	44.6	
	30	4	3.1		82	6	9.4	
	39	76	93	Sr	86	24	10	
41	24	7			87	7	7	
Ti	46	8	8.2		88	69	83	
	47	8	7.4	Ba*	132	11	0.1	
48	74	73.8			134	29	2.4	
49	5	5.4			135	11	6.6	
50	5	5.2			136	9	7.8	
Cr*	52	70	83.8			137	9	11.2
	53	16	9.5			138	29	71.7
	54	14	2.4	Eu	151	56	48	
Cu*	63	48	69.2			153	44	52
	65	52	30.8					
Zn*	64	49	48.6					
	66	17	27.9					
	67	14	4.1					
	68	20	18.8					

#### *Г. Роль низкоэнергетической трансмутации в нуклеосинтезе*

Тот факт, что элементы, являющиеся продуктами трансмутации циркония, имеют, отчасти, естественное, земное изотопное соотношение, привел нас к идее - сравнить распределение по массовым числам, получающееся в результате плавки циркония, с распространенностью элементов по массам в земной коре [25]. Результат получился, надо сказать, достаточно ожидаемый - распределения, в общих чертах оказались похожими друг на друга (рис.13).

Более того, в распределениях наблюдается корреляция по группам элементов. Одни и те же элементы (Ti, Fe) и группы элементов (Na-Si, K-Ca, Ti, Fe, Cu-Zn, Cd-Sb) имеют максимумы в обоих распределениях (рис.14). На представленном рисунке, для удобства сравнения, отсутствуют линии в местах, которые соответствуют “фоновым” массам циркония (Zr, ZrH, ZrO, ZrO<sub>2</sub>, Zr<sub>2</sub>, Zr<sub>2</sub>O; см. рис.2а,б) и трудно учитываемой при сопоставлении газовой компоненте. Для газов, массы представлены точками.

Принимая во внимание то, что процессы низкоэнергетической трансмутации протекают в достаточно “мягких” физических условиях (электровзрыв, плавка, ультразвуковая активация) и стремятся воспроизвести “универсальное” распределение, из представленного материала естественно напрашивается сделать следующий вывод.

*Процесс низкоэнергетической трансмутации, наряду с ядерными реакциями в звездах, является ответственным за нуклеосинтез и является определяющим*

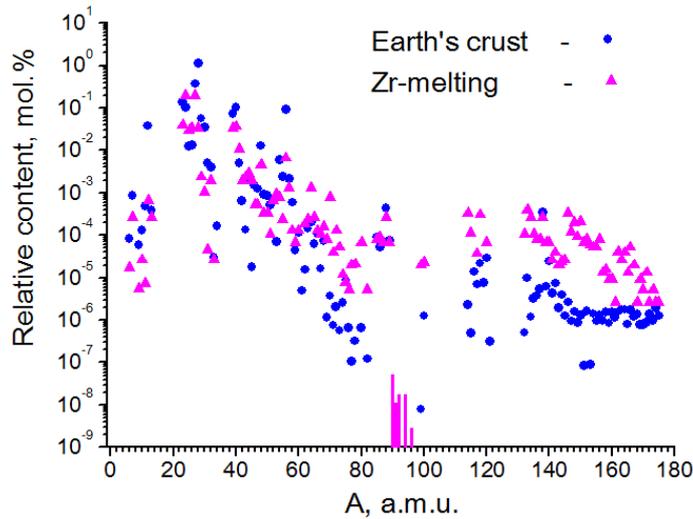
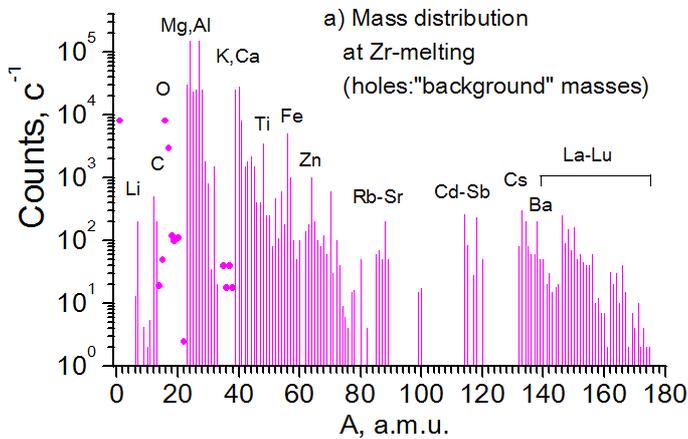
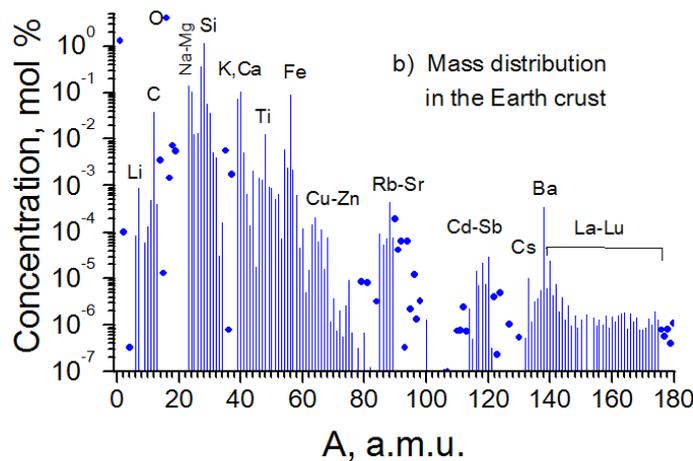


Рис. 13. Сравнение распределения элементов в случае трансмутации циркония с распространенностью элементов в Земной коре. Для ориентации изотопы циркония выделены линиями, с их относительным содержанием.



(a)



(b)

Рис. 14. Сравнение по группам элементов: а) случай трансмутации циркония при его плавке; б)- распространенность элементов в Земной коре.

при создании химических элементов на Земле. Кроме того, процесс нуклеосинтеза может осуществляться на планетах и формировать их элементный состав.

Некоторое различие в сравниваемых распределениях (рис.13), по-видимому, связано с незаконченностью процессов трансмутации для случая плавки циркония и зависимостью распределения от этого элемента. Действительно, реализация “универсального” распределения в случае трансмутации циркония осуществлялась со стороны тяжелых масс относительно предполагаемого максимума распределения в районе Mg-Si. Поэтому в распределении по нуклидам при плавке циркония ( $M_{Zr} - 90 \div 92, 94, 96$ ), в сравнении с Земным распределением, преобладают тяжелые массы; примерно, от  $M=60$  до  $M=175$ , поскольку они могут получаться непосредственно из исходного материала, и, одновременно, уменьшено содержание легких масс; примерно, от  $M=6$  до  $M=30$  (рис.13).

Процесс трансмутации на Земле происходил, по-видимому, тогда, когда Земля представляла собой сжимающийся, жидкий, расплавленный шар. Вполне возможно, что в глубинах Земли процессы трансмутации ещё не прекратились, и выделяемая при этом колоссальная энергия наблюдается нами, как извержение вулканов. Специалистам известно, что внутриплитная тектоническая активность и вулканизм не находят объяснения в рамках тектоники плит. Наиболее распространенная гипотеза, удовлетворительно объясняющая вулканизм и тектоническую активность внутри как океанической, так и материковой литосферы, связана с идеей горячих точек и мантийных плюмов [26]. Возможно, в этих горячих точках и мантийных плюмах как раз и происходят процессы трансмутации.

Как показывают исследования, в этих горячих точках и плюмах обнаружены изменения изотопных соотношений у таких элементов, как гелий, аргон, стронций, неодим, свинец. Так было установлено, что гелий, продуцируемый подкорковыми слоями Земли, имеет отношение концентраций изотопов  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = (3 \pm 1) \cdot 10^{-5}$  [27], [28], [29]. Это отношение аномально велико и превышает отношение в гелии, который генерируется породами земной коры, в сотни и тысячи раз. Авторы этого открытия выдвинули предположение, что подкорковый гелий является остаточным, первозданным, образованным в результате термоядерных реакций в звездах, для которых  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 3 \cdot 10^{-4}$ . Однако, достаточно странно, что гелий, будучи инертным, легко подвижным газом остался в недрах Земли во время её формирования. Тем более, что отношение  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  должно уменьшаться, за счет увеличения  ${}^4\text{He}$ , получающегося в результате альфа-распада тория, урана и их дочерних продуктов (протактиний-висмут). Поэтому, до этого открытия, ожидалось, что с увеличением глубины залегания пород отношение  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  в них будет уменьшаться, поскольку в атмосфере  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 1,4 \cdot 10^{-6}$ . Таким образом, повышенное отношение изотопов  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  может быть объяснено процессами трансмутации, происходящими в подкор-

ковых слоях Земли. Следует упомянуть, что авторами [12] в продуктах трансмутации зафиксировано появление изотопов гелия как в твердой, так и в жидкой фазе с аномально высоким отношением  $^3\text{He}/^4\text{He}=0,2-1$ .

Исходя из общих соображений, предположение о трансмутационной природе нуклеосинтеза справедливо и для других планет. Об этом же может говорить наличие у многих планет, в том числе и у Земли, ядер, состоящих в основном из железа, и сходство планетарных элементных составов.

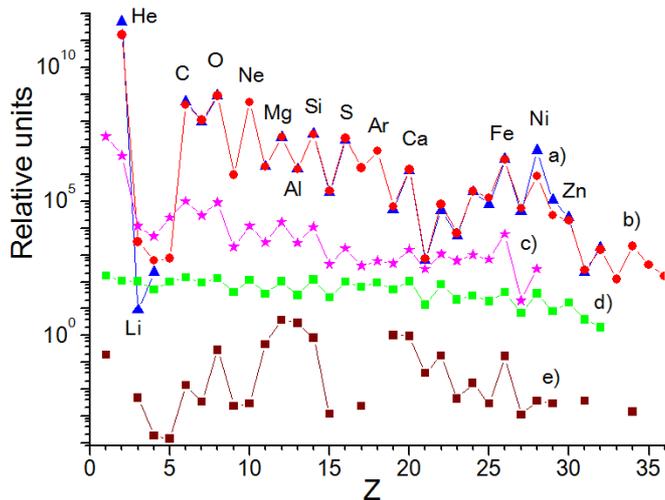


Рис. 15. Сравнение: а) содержание элементов в Солнечной атмосфере; б) космическая распространенность элементов; в) содержание элементов в космических лучах у Земли; д) расчет выхода элементов при участии в процессе трансмутации 4-х молекул воды и е) элементный состав продуктов трансмутации в случае Zr-плавки.

Следующее обобщение приводит нас к выводу, что процессы трансмутации должны происходить на звездах. Очевидно, что привлечение механизма трансмутации к нуклеосинтезу позволяет просто понять наличие тяжелых элементов даже в самых старых звездах, поскольку нуклеосинтез всех элементов и их изотопов вплоть до урана делается очевидным. Для сравнения на рис.15 в относительных единицах представлены: а) Содержание элементов в Солнечной атмосфере; б) Космическая распространенность элементов; в) Содержание элементов в космических лучах у Земли; д) Расчет выхода элементов при участии в процессе трансмутации 4-х молекул воды и е) Элементный составов продуктов трансмутации в случае Zr-плавки.

Таким образом, *процессы нуклеосинтеза и энерговыделения во Вселенной, наряду с ядерными реакциями, могут осуществляться благодаря реакциям низкоэнергетической трансмутации.*

В заключение этой главы следует отметить, что о причастности процессов трансмутации к нуклеосинтезу высказывались многие авторы: S.E.Jones [30], T.Matsumoto, М.И.Солин, С.В.Адаменко, В.А.Кривицкий, поскольку, как только обнаруживается превращение одних химических

элементов в другие, сразу возникает вопрос о нуклеосинтезе.

## V. 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. Приведенные выше экспериментальные данные по процессам трансмутации элементов имеют общие для разных экспериментов закономерности, и всех их объединяет близость полученных результатов.

Более того, посторонние элементы являются продуктами экзотермических реакций и простой расчет, с учетом энергетических балансов этих реакций, показывает возможных их участников. Для объяснения всех наблюдаемых элементов нужно привлекать во входной канал три и более атома.

Из феноменологической модели трансмутации следует, что многократные и гиперкратные процессы трансмутации с неизбежностью приводят к появлению в их продуктах атомных ядер практически всех химических элементов, независимо от того, с какого химического элемента или соединения эти процессы начались. При этом будет реализовываться “универсальное” распределение по нуклидам, с максимумами, связанными с особенностями зависимости энергией связи нуклидов от массового числа. Высказывается гипотеза, что процессы нуклеосинтеза и энерговыделения во Вселенной, наряду с ядерными реакциями, могут осуществляться благодаря реакциям низкоэнергетической трансмутации.

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

Здесь уместно подчеркнуть, что на основе феномена трансмутации могут быть разработаны новые технологии в следующих областях: генерация дешевой и экологически чистой электроэнергии и тепла, производство драгоценных и редких элементов и изотопов из более дешевых элементов, утилизация радиоактивных отходов – их превращение в стабильные изотопы, утилизация отравляющих газов и промышленных токсичных отходов и т.д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Karabut A.B., Kucherov Ya.R., Savvatimova I.B. *Phys. Letters A*, 170:265–272, 1992.
- [2] Савватимова И.Б., Карабут А.В. *Поверхность*, (1):63–75, 1996.
- [3] Савватимова И.Б., Карабут А.В. *Поверхность*, (1):76–81, 1996.
- [4] Карабут А.В. Материалы 7-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов (РКХТЯ), М.2000, с.27-35.

- [5] Карабут А.В. Материалы 9-й РКХТЯ, М.2002, с.86-98.
- [6] Солин М.И. *Физическая мысль России*, (1):43–58, 2001.
- [7] *Controlled Nucleosynthesis Breakthroughs in Experiment and Theory*, Editors Adamenko S.V., Selleri F., A. van der Merwe, Series: *Fundamental theories in Physics*, v.156. Springer, 2007. p.780  
<http://www.springer.com/physics/elementary/book/978-1-4020-5873-8>.
- [8] S.V.Adamenko et al. *Results in Physics*, 5:62–68, 2015. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379715000145>.
- [9] Уруцкоев Л.И., Ликсонов В.И., Циноев В.Г. *Прикладная физика*, (4):83–100, 2000. Urutskoev L.I., Liksonov V.I., Tsinoev V.G., *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 2002, v. 27, N 4, pp. 701-726.
- [10] Kuznetsov V.D., Mishinsky G.V., Penkov F.M., Arbutov V.I., Zhemenuk V.I. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 28(2):173–214, 2003.
- [11] Кривицкий В.А. *Геоинформатика*, (4):50–53, 2003. Геоинформатика, 2003, N1, с. 42-50; Трансмутация химических элементов в эволюции Земли, М. МПГУ, 2003.
- [12] Балакирев В.Ф., Крымский В.В., Болотов Б.В., Васильева Н.В., Вачаев А.В., Иванов Н.И., Казбанов В.И., Павлова Г.В., Солин М.И., Трофимов В.И., Уруцкоев Л.И. *Взаимопревращение химических элементов*, под ред. В.Ф.Балакирева. УрО РАН, Екатеринбург, 2003. с.28-48.
- [13] Кладов А.Ф. Кавитационная деструкция материи. <http://goslo.narod.ru/gao/gao1.htm>.
- [14] Высоцкий В.И., Корнилова А.А. *Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах*. Мир, М., 2003.
- [15] 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.
- [16] Корнилова А.А., Высоцкий В.И. Синтез и трансмутация стабильных и радиоактивных изотопов в биологических системах. *Журнал Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*, 9(1):52–64, 2017.
- [17] Savvatimova I.B. Proc. 7th Int. Conf. on Cold Fusion (ICCF), Canada, 1998, pp.342-350; Proc. 8th ICCF, Italy, 2000, pp.277-283.
- [18] Нестерович А.В., Родионов Б.У., Савватимова И.Б. Материалы 8-й РКХТЯ, М.2001, с.211-215.
- [19] Kurashov V.M., Sakhno T.V. Microbiological method of transmutation of chemical elements and conversion of isotopes of chemical elements. Patent RU 2563511 C2, May 15, 2014.
- [20] Kurashov V.M., Sakhno T.V., Maksimov R.G. Artificial obtaining of f-elements - actinides and other valuable radioactive elements and their isotopes, as well as stable isotopes of platinum and gold with the use of microorganisms. Materials of the Int. Conf. on European Science-Technology, Dec.29-30th, 2015, Germ, Munich, pp. 68-77.
- [21] Немец О.Ф., Гофман Ю.В. *Справочник по ядерной физике*. Наукова думка, Киев, 1975.
- [22] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Квантовая механика. Нерелятивистская теория*. Наука, Москва, 1974.
- [23] Mishinsky G.V., Kuznetsov V.D. Element distribution in the products of low energy transmutation. Nucleosynthesis. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 2008, v. 33, N 3-4: 331-356; Материалы 14-й Российской конф. по холодной трансмутации ядер химических элементов, 2008, М: 79-97.
- [24] Куни Ф.М. *Статистическая физика и термодинамика*. Наука, Москва, 1981.
- [25] Кикоин И.К. *Таблицы физических величин. Справочник*. Атомиздат, М., 1976.
- [26] Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии. *Физика Земли*, (12):3–32, 1996.
- [27] Мамырин Б.А., Толстихин И.Н., Ануфриев Г.С.и др. *ДАН*, 184(5):1197–1199, 1969.
- [28] Clarke W.B., Beg M.A., Craig H. et. al. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 6:213–220, 1969.
- [29] Мамырин Б.А., Толстихин И.Н. *Изотопы гелия в природе*. Энергоиздат, М., 1981. с.224.
- [30] S.E.Jones, J.E.Ellsworth, Proc. 10th ICCF, Cambridge, Massachusetts, USA, 2003, pp. 617-622.