

СИНТЕЗ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА КВАНТАМИ ПАЛЛАДИЯ В СРЕДЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ГАЗОВ

¹Дидык А.Ю., ²Вишневецкий Р., ²Вилчинска-Китовска Т., ¹Мышинский Г.В., ¹Семина В.А.

¹Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, <http://www.jinr.ru/>

Дубна 141980, Московская область, Российская Федерация

²Национальный центр ядерных исследований, <https://www.ncbj.gov.pl/>

7, ул. Анджея Солтана, 05-400 Отвоцк-Сверк, Польша

Поступила 24.05.2019, принята 30.05 2019

Представлена действительным членом РАЕН А.А. Корниловой

Статья является обзором экспериментальных результатов, полученных авторами в течение последних 8 лет по синтезу химических элементов в газах давлением до 3 кбар при их длительном (десятки часов) гамма облучении в присутствии образцов металлического палладия цилиндрической формы. Камера облучалась тормозными гамма квантами с максимальной энергией 10 МэВ на ускорителе электронов Объединенного института ядерных исследований в г. Дубна (Московская область). В реакционной камере кроме палладия присутствовали другие детали конструкции, изготовленные из латуни или меди, бериллиевой бронзы и манганиновой фольги. Были проведены эксперименты с палладием в дейтерии, с палладием и оловом в водороде и с палладием в гелии. Во всех экспериментах после облучения на поверхностях деталей камеры, а также на поверхности палладия, были обнаружены многочисленные твердотельные микроструктуры разнообразной величины (до 1 мм) и формы. Рентгеновский микрозондовый анализ этих структур показал наличие в них широкого спектра химических элементов (от углерода до свинца), отсутствовавших в реакционной камере перед ее облучением. В статье приведены многочисленные количественные гистрограммы концентраций обнаруженных элементов. Предложены предварительные гипотезы синтеза химических элементов в условиях проведенных экспериментов.

Ключевые слова: конденсированный газ, камеры высокого давления, гамма излучение, поверхностные микроструктуры, рентгеноструктурный анализ, фотоядерные реакции, низкоэнергетические ядерные реакции, холодный ядерный синтез

PACS: 25.20.-X; 25.70.-Z; 25.70.JJ

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ (143)
 2. ПОЛУЧЕНИЕ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (145)
 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ (146)
 4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПАЛЛАДИЕМ В ДЕЙТЕРИИ (147)
 5. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПАЛЛАДИЕМ И С ОЛОВОМ В ВОДОРОДЕ (150)
 6. ЭКСПЕРИМЕНТ С ПАЛЛАДИЕМ В ГЕЛИИ (153)
 7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ (155)
 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (157)
- ЛИТЕРАТУРА (157)

1. ВВЕДЕНИЕ

Явление синтеза химических элементов и твердотельных структур в среде конденсированных газов под действием γ -квантов было открыто Дидыком А.Ю. и Вишневецким Р. Первый эксперимент был проведен в 2011 году с образцом палладия Pd в виде цилиндра, помещенном в камеру с давлением дейтерия 3 кбар [1-3]. При давлениях 0.5-3 кбар плотность атомов газов сравнима с плотностью атомов в твердом теле и в жидкостях. Поэтому, употребляется термин – конденсированный газ. Облучение тормозными γ -квантами проводилось

в течение 6 часов на микротроне МТ-25 [4] с энергией электронов 9.3 МэВ при среднем токе электронов 7 мкА ($\sim 4.4 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}$).

Мотивацией в постановке такого эксперимента послужили две конкурирующие идеи в способе производства энергии: реакции термоядерного синтеза и реакции холодного ядерного синтеза (ХЯС).

Для осуществления реакций термоядерного синтеза в планируемом эксперименте предлагался подход, основанный на фоторасщеплении дейтронов в конденсированном дейтерии под действием γ -квантов с энергией до 10 МэВ. В каждом акте фотоделения дейтрона образуются нейтрон и протон с энергиями, определяемыми кинематикой реакции. Энергия связи дейтрона равна 2.224 МэВ. При упругом взаимодействии фото-нейтронов и фото-протонов с дейтронами газа последние приобретают энергию $> 40 \text{ кэВ}$, достаточную для запуска термоядерных реакций по каналам: $d + d \rightarrow {}^3\text{He} + n + 3.26 \text{ МэВ}$ и $d + d \rightarrow t + p + 4.03 \text{ МэВ}$. Получающиеся продукты термоядерных реакций, в свою очередь, отдают часть своей энергии дейтронам, и те снова вступают в реакцию термоядерного синтеза. Ожидалось, что под действием γ -квантов в дейтерии будет производиться термоядерная энергия, достаточная для нагрева реакционной камеры до высокой температуры.

Эффект нагрева реакционной камеры ожидался и в случае реализации реакций холодного ядерного синтеза [5]. Поэтому в реакционную камеру был помещен палладий. Из литературы известно [6], что интенсивность реакций ХЯС увеличивается с ростом количества атомов дейтерия на один атом палладия. Предлагалось увеличить концентрацию дейтерия в палладии с помощью высокого давления газа и его облучением тормозными γ -квантами. Тем более, что автором данной статьи Вишневым Р. был зарегистрирован неожиданный, сильный взрыв камеры высокого давления при насыщении палладиевого порошка газообразным дейтерием при давлении около 22 кбар (устное сообщение).

Использование интенсивных потоков γ -квантов оказывается наиболее подходящим способом для фоторасщепления и ионизации дейтерия, в силу их высокой проникающей способности через толстые стенки реакционной камеры высокого давления. Другие радиационные излучения такой

проникающей способностью не обладают.

В процессе первого и последующих облучений не наблюдалось критического повышения температуры или давления в реакционной камере, но после облучения в ней были обнаружены необычные твердотельные структуры и “посторонние” химические элементы, отсутствующие в реакционной камере до начала эксперимента. Были зарегистрированы такие элементы, как: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Nb, Ru, Ag, La, W, Pt, Pb. Позже был проведен эксперимент при давлении дейтерия 1.2 кбар [7-10].

Подобные исследования были выполнены с образцами других металлов и сплавов: Al, V, Cu, Sn, Re, Ym_{n_2} , в виде цилиндров и проволок. Образцы находились в атмосфере газообразного дейтерия при давлении сотни и тысячи бар, и облучались тормозным γ -излучением с $E_{\text{max}} = 10 \text{ МэВ}$ и $E_{\text{max}} = 23 \text{ МэВ}$ [11-15]. Положительные результаты по синтезу новых структур и “посторонних” элементов в атмосфере дейтерия привели к проведению аналогичных исследований с конденсированным водородом с палладиевым [16-18] и с оловянным [19-21] цилиндрами и с конденсированным гелием с палладиевым цилиндром [22, 23]. Такие же исследования были выполнены в камерах с конденсированными чистыми газами: водородом [24-26], дейтерием [27], гелием [28-31] и ксеноном [32-36] при облучении их тормозными γ -квантами с энергией до $E_{\text{max}} = 10 \text{ МэВ}$. Обзоры экспериментов в газах H_2 , D_2 , He и Xe представлены в [37-39].

В этой статье мы приводим переработанные, представленные в наглядном графическом виде основные результаты экспериментов по синтезу “посторонних” элементов при облучении образцов палладия тормозными γ -квантами с $E_{\text{max}} = 10 \text{ МэВ}$ в среде конденсированного дейтерия с давлением 1.2 и 3 кбар, в водороде с давлением 0.5 и 2.5 кбар и в гелии с давлением 2.4 кбар. Здесь же, для сравнения, приведены результаты экспериментов по облучению чистых газов без металлических образцов внутри реакционных камер.

Обсуждаемые в этой работе эксперименты проводились, а их результаты были получены под идейным, организационным руководством и самым активным участием Дидыка А.Ю., которому и посвящается данная статья.

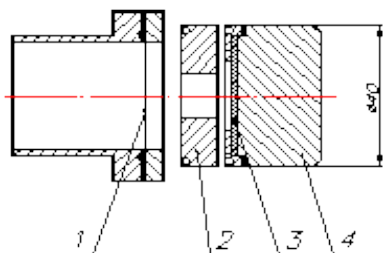


Рис. 1. Вывод пучка электронов из электропровода и конвертирование его в пучок γ -квантов.

2. ПОЛУЧЕНИЕ ТОРМОЗНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

В качестве источника тормозного γ -излучения использовался ускоритель электронов микротрон МГ-25 Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ. Ускорение электронов происходит в импульсном режиме с длительностью импульса 2.5 мкс и частотой повторения 400 Гц. Конструкция микротрона позволяет получать пучки электронов с энергиями от 5 до 24 МэВ. Максимальный ток пучка электронов на мишени 25 мкА ($1.56 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$). После ускорения пучок электронов $\varnothing 6\text{-}7 \text{ мм}$ выводится в атмосферу через 70 мкм титановую фольгу, за которой и происходит облучение. В экспериментах могут использоваться как электронный пучок, так и излучения, получаемые с помощью конверторов: тормозное γ -излучение интенсивностью 10^{14} c^{-1} , быстрые нейтроны с интенсивностью 10^{12} c^{-1} , тепловые нейтроны с плотностью потока $10^9 \text{ c}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, резонансные нейтроны с плотностью потока $8 \cdot 10^7 \text{ c}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

Для получения тормозного γ -излучения электроны бомбардируют вольфрамовый конвертор – диск толщиной от 1 до 3.8 мм и $\varnothing 40 \text{ мм}$ (3, рис. 1). Пучок электронов попадает на конвертор, проходя сквозь

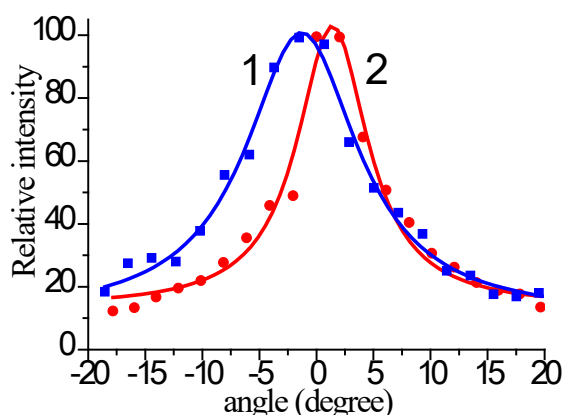


Рис. 2. Расходимость пучка γ -квантов.

диафрагму с отверстием $\varnothing 12 \text{ мм}$ (2, рис. 1) и толщиной 18 мм. Конвертор закреплен в держателе с помощью алюминиевого цилиндра толщиной 8-25 мм, который служит также для поглощения низкоэнергетических электронов (4, рис. 1). Диафрагма и держатель конвертора с алюминиевым поглотителем охлаждаются проточной дистиллированной водой. В процессе облучения контролируется ток электронов на Al-поглотителе и на диафрагме. Во всех экспериментах использовался вольфрамовый конвертор толщиной 2.8 мм и поглотитель электронов – 25 мм.

Расходимость пучка γ -квантов на полувысоте интенсивности составляет по горизонтали $10^\circ \pm 1^\circ$ (рис. 2, кривая 1) и $8^\circ \pm 1^\circ$ по вертикали (рис. 2, кривая 2). Разница полуширин в горизонтальной и вертикальной плоскости объясняется различной угловой расходимостью пучка электронов в этих плоскостях. Экспериментально расходимость определялась методом активации мишеней - урана с порогом 6 МэВ и никеля с порогом 12.2 МэВ, полностью перекрывающих пучок тормозного излучения. В обоих случаях угловое распределение с хорошей точностью аппроксимируется распределением Лоренца. Полученные в эксперименте значения хорошо согласуются с расчетом углового распределения тормозного излучения, проведенного с помощью пакета Giant, предсказывающим угловую расходимость пучка 9.9 градусов и авторами работы [40].

На рис. 3 представлен рассчитанный энергетический спектр тормозного

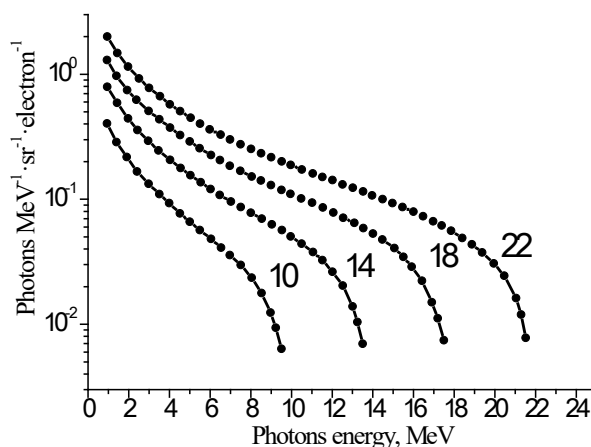


Рис. 3. Спектр γ -квантов для энергий электронов 10, 14, 18 и 22 МэВ.

Таблица 1

Параметры облучений.

Камера	D1	D2	H1	H2	He
Энергия электронов, МэВ	9.3	10	10.3	9.7	10
Время облучения, час	6	18	7	14	96
Средний ток, мкА	7	12	2.5	20.5	20.5
Поток электронов, $10^{13}c^{-1}$	4.4	7.5	1.6	12.8	12.8
Интегральный заряд, Кл	0.15	0.78	0.14	1.03	7.1
Давление, кбар	3	1.2	2.5	0.5	2.4
Атомная плотность, $10^{22}ат/см^3$	5.2	2.95	9.12	1.82	2.23
Весовая плотность, г/см ³	0.155	0.088	0.154	0.0307	0.15
Rd-цилиндр, Øмм	3.8×5	3.8×5.5	3.8×5	3.8×5	3.9×5
Материал втулки и сборника	Zn+Cu	Zn+Cu	Zn+Cu	Zn+Cu	Cu
Литература	1-3	7-10	16	17-18	22-23

излучения, вылетающего в конусе 10° для энергии электронов 10, 14, 18 и 22 МэВ на вольфрамовом конвекторе толщиной 3 мм [41]. Интенсивности γ -квантов от 1 МэВ до E_{max} для этих энергий электронов, нормированные на интенсивность при $E = 10$ МэВ, соотносятся 1:4.52:13.24:32.13. Для диапазона γ -квантов от 1 до 10 МэВ интенсивности соотносятся 1:4.50:13.04:31.03.

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Облучение образцов палладия в среде конденсированных газов осуществлялось тормозными γ -квантами с $E_{max} = 10$ МэВ. Диапазон энергий γ -квантов (< 10 МэВ) лежит ниже характерных энергий возбуждения в атомных ядрах гигантского дипольного резонанса. Это позволяет избежать активации конструкционных материалов реакционных камер. Распад гигантского дипольного резонанса происходит в основном с испусканием протона или нейтрона, часто с образованием радиоактивных изотопов.

В экспериментах использовалась камера, изображенная на рис. 4. В каждом эксперименте использовалась своя камера. Внутренний диаметр камер был 4 мм, длина 21 мм, объем 0.264 см³. Образцы палладия Pd (9, Рис. 4) диаметром 3.8-3.9 мм и длиной 4-5.5 мм (объем 0.045-0.065 см³) имели чистоту ~99.995%. Атомная масса Pd – 106.42; плотность Pd – 12.02 г/см³. Максимальные концентрации примесей (в ppm – 10^{-6} масс) в палладии следующие: Ca, Zn, Ag < 3; Mg, Mn, Ni, Pb, Bi < 5; Si, As, Sn, Sb, Ru, Rh, Ir, Pt < 10; Cu(12), Al(15), Fe(19), Au(48). В экспериментах в качестве втулок (8, Рис. 4) и сборников (12, Рис. 4) использовались латунь (Zn+Cu) или медь (Cu) чистотой 99.99%. Измеренный методом рентгеновского микрозондового анализа (РМЗА) состав латунных втулки и сборника включал Cu – 59.61 и Zn – 40.39 (ат. %). Давление в камерах менялось от 0.5 до 3 кбар.

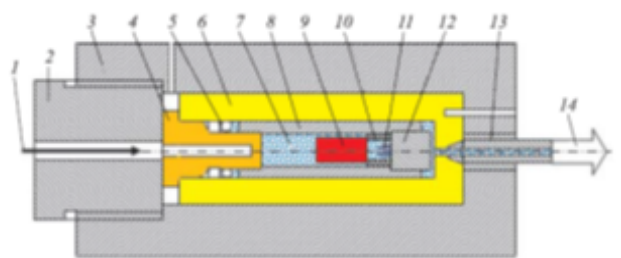


Рис. 4. Камера высокого давления газа с образцом палладия.

В Таблице 1 представлены параметры облучений.

После облучения газ выпускался в атмосферу и камера вскрывалась. Во всех экспериментах после окончания облучений в реакционных камерах были обнаружены новые объекты - микрочастицы размером от 0.5 μ до 1 mm, а на стенках реакционных камер и на поверхности палладиевого цилиндра обнаружены аномальные твердотельные структуры.

Твердотельные структуры представляли собой кристаллические, аморфные и шарообразные структуры; кольцеобразные, нитевидные и трубчатые образования; рыхлые и твердые вкрапления и напльвы на поверхностях деталей реакционной камеры. С помощью методов растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновского микрозондового анализа (РМЗА) исследовался элементный состав деталей камеры: внутренних поверхностей входного окна, изготовленного из бериллиевой бронзы $Cu_{0.92}Be_{0.08}$ (4, Рис. 4), втулок и сборников, манганиновой фольги $Cu_{84}Mn_{14}Ni_2$ (10, Рис. 4), а также аномальных структур и микрочастиц, образовавшихся в результате облучений на поверхности палладиевого цилиндра и на внутренних поверхностях камеры.

В большинстве объектов, при их исследовании с помощью методов РЭМ и РМЗА, были зарегистрированы “посторонние” химические элементы, отсутствующие в реакционных камерах до начала облучений. Для каждого выбранного для исследования объекта - микрочастицы или твердотельной структуры, было проведено несколько измерений РМЗА в разных областях их поверхности. Каждому такому измерению соответствовал свой набор химических элементов со своей концентрацией. Общее количество

измерений РМЗА для конкретного эксперимента составляло несколько десятков. При обработке данных мы вначале получили усредненные концентрации химических элементов отдельно для каждой детали реакционной камеры, контактирующей с конденсированным газом. Принимая во внимание всю совокупность данных, полученных методом РМЗА, можно утверждать, что не наблюдается существенного различия в распределениях химических элементов для входного окна, вкладыша, сборника, манганиновой фольги и частиц. В данной статье мы также приводим в виде гистограмм концентрации химических элементов, усредненные по всем измерениям, выполненным для данного эксперимента.

Исследования РЭМ и РМЗА проводились в трех независимых сертифицированных лабораториях: в аналитическом центре НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ; в НИИ перспективных материалов и технологий и в Научном центре волоконной оптики РАН. Энергия электронного пучка, возбуждающего рентгеновское излучение, варьировалась от 10 до 20 кэВ. Глубина проникновения электронного пучка составляла 1-2 мкм. Измерения проводились в двух режимах: в “точке” и по “площади”. Для режима в “точке” площадь измерения составляла ~1-4 мкм². Для режима по “площади” область измерения составляла более 20×20 мкм².

Отметим несколько важных моментов в наших РЭМ и РМЗА исследованиях:

- программа обработки спектров, полученных с помощью РМЗА, отбирает линии только тех элементов, которые превышают не менее, чем в три раза ошибку измерения;
- программа рассчитывает оценочные концентрации элементов в весовых и в атомных процентах при наличии в спектре главных характеристических рентгеновских линий данного элемента;
- приведенные в статье концентрации “посторонних” элементов в объектах имеют не количественный, а качественный характер. Выбор объектов для измерений носил исключительно субъективный характер. Как правило, обмерялись наиболее привлекательные, яркие, светлые объекты с наличием элементов с большими атомными номерами;
- в качестве объектов для измерений

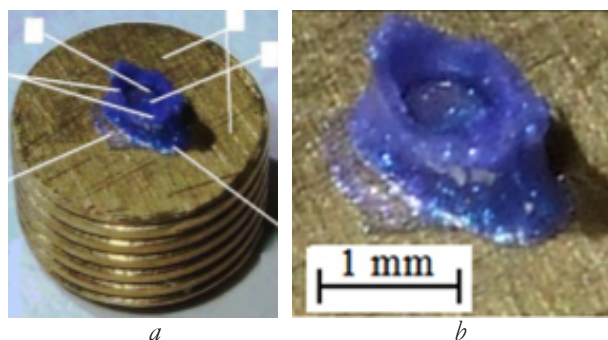


Рис. 5. Фото синтезированного образца: а – на латунном сборнике; б – увеличенное изображение.

выбирались микрочастицы и структуры, расположенные на поверхности сборников, вкладышей и втулок. Так же проводился анализ элементного состава поверхности палладиевого цилиндра;

- для достоверной обработки спектров требуется набор значительной статистики, который в наших измерениях не всегда производился;
- размеры изучаемых структур были значительно больше, чем область возбуждения и эмиссии характеристического рентгеновского излучения. Поэтому сделанные измерения могут не соответствовать концентрации элементов во всем объеме обмеряемых объектов;
- при измерении объектов в “точке” локальная концентрация вновь образовавшихся элементов могла составлять несколько десятков процентов. Кроме того, такие измерения имеют ограничения, связанные с пространственным разрешением применяемого оборудования.

4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПАЛЛАДИЕМ В ДЕЙТЕРИИ

В самом первом эксперименте после облучения образца палладия при давлении дейтерия 3 кбар,

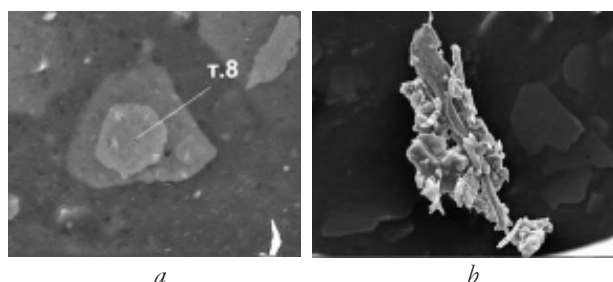


Рис. 6. РЭМ-изображения структур, обнаруженных на дне “кратера”, а – в виде пластин (ширина фото 60 мкм) и б – кристаллических образований (ширина 150 мкм).

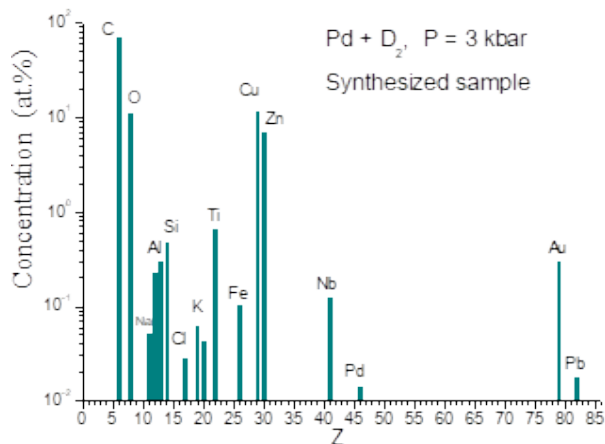


Рис. 7. Концентрации химических элементов в синтезированном образце (12 измерений).

при вскрытии камеры D1 (Таб. 1), на латунном сборнике диаметром 5 мм (рис. 5а) был обнаружен синтезированный объект голубого цвета (рис. 5б). Объект имел форму “вулкана с кратером” с гладкими стенками. На вершине “кратера” наблюдались потеки в виде застывших капель, а на его дне различные структуры в виде пластин (рис. 6а; здесь и далее в скобках даны ширины фотографий) и кристаллических образований (рис. 6б). Синтезированный объект обладал диэлектрическими свойствами. Это потребовало при РЭМ и РМЗА исследованиях напыления слоя золота Au ~0.1 мкм. Проведенный рентгеновский микрозондовый анализ обнаружил в объекте “посторонние” химические элементы, отсутствующие в реакционной камере до начала эксперимента. На рис. 7 представлены концентрации химических элементов в синтезированном образце, усредненные по 12 измерениям, проведенным как на его поверхности, так и в обнаруженных внутри “кратера” различных структурах. Обращает на себя внимание, что синтезированный объект в основном состоит из углерода, кислорода и титана. Последующий рентгеноструктурный анализ показал, что титан

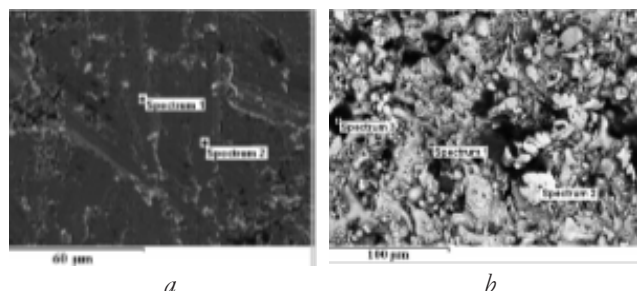


Рис. 8. РЭМ-изображения поверхностей Pd-цилиндра: а – до облучения и б – после.

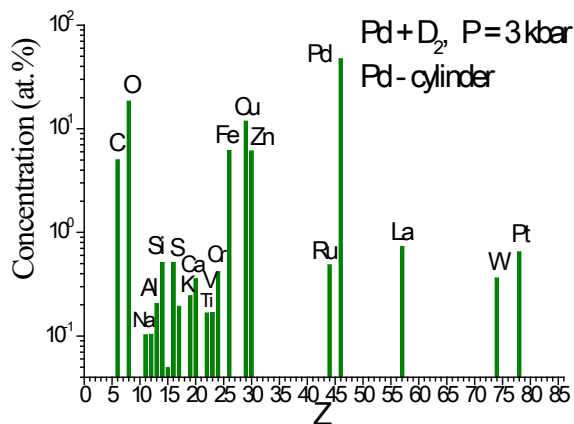


Рис. 9. Концентрации химических элементов на Pd-цилиндре (12 измерений).

присутствует в синтезированном объекте в форме диоксида (TiO₂).

Значительные изменения претерпел облученный Pd-цилиндр. РЭМ-изображения исходной и облученной поверхностей Pd-цилиндра представлены на рис. 8а,б. Поверхность Pd-цилиндра, особенно вблизи синтезированного объекта, из гладкой превратилась в неоднородную, состоящую из отдельных кластеров, с множеством трещин поверхности, и к тому же, с измененным составом химических элементов. На рис. 9 представлены в атомных процентах концентрации химических элементов, усредненные по 12-ти РМЗА измерениям поверхности палладиевого цилиндра.

Изменения коснулись структуры поверхности и содержания химических элементов, как у входного окна (4, рис. 4), изготовленного из бериллиевой бронзы, так и у латунной втулки (8, рис. 4). На рис. 10 приведены концентрации химических элементов у входного окна, усредненные по 5 измерениям, и у латунной

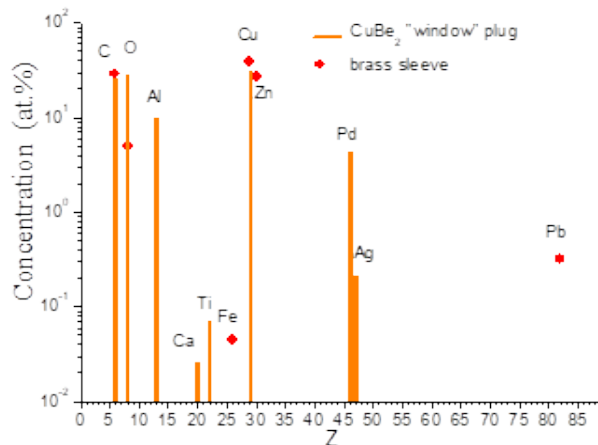


Рис. 10. Концентрации химических элементов на входном “окне” и втулке.

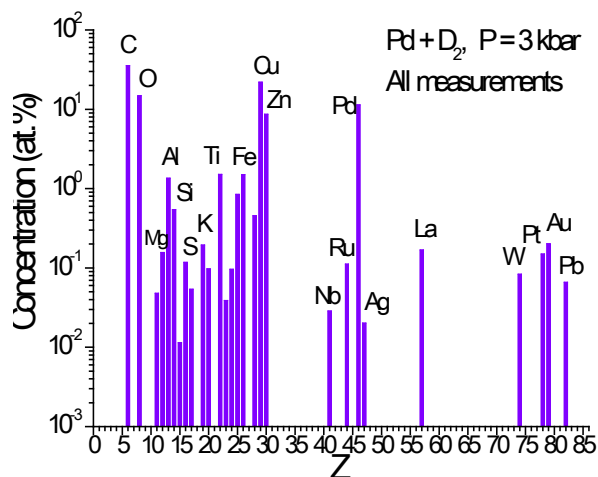


Рис. 11. Концентрации химических элементов (39 измерений).

втулки, усредненные по 10 измерениям.

На рис. 11 представлены концентрации химических элементов, усредненные по всем 39 измерениям. Таким образом, в реакционной камере зарегистрированы следующие, ранее отсутствовавшие в ней химические элементы: C, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Nb, Ru, Ag, La, W, Pt, Pb.

Для сравнения на рис. 12 приведены усредненные концентрации химических элементов, полученные в эксперименте по облучению камеры с дейтерием при давлении 2.2 кбар без Pd-цилиндра внутри неё [27]. Усреднение было проведено по 42 измерениям, выполненным для структур входного окна, втулки, сборника и синтезированных микрочастиц. Внутренние размеры камеры, заполненной дейтерием, составляли: длина – 15 мм, диаметр – 8 мм, объем – 0.75 см³. Втулка и сборник были изготовлены из чистой меди – 99.99%. Облучение проводилось в течение 49

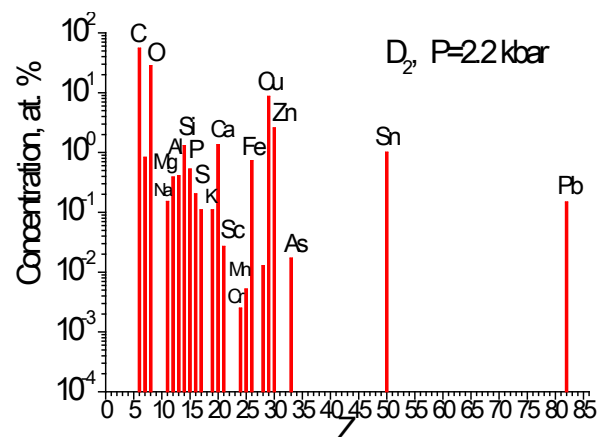


Рис. 12. Усредненные концентрации химических элементов по 42 измерениям.

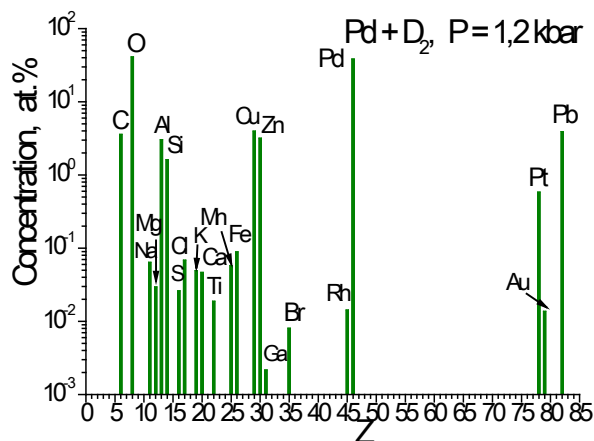


Рис. 13. Концентрации химических элементов на Pd-цилиндре (44 измерения).

часов. Энергия пучка электронов составляла 10 МэВ. Ток электронов был $(1.2-1.3) \cdot 10^{14} \text{c}^{-1}$.

Эксперимент, описанный выше, был повторен (D2, Таб. 1), но при давлении дейтерия 1.2 кбар и длительности облучения 18 часов. Наиболее впечатляющим результатом данного эксперимента было обнаружение слоя свинца ⁸²Pb, покрывающего все внутренние поверхности реакционной камеры, и микрочастиц размером до 50 мкм, состоящих в основном из свинца. На рис. 13 представлены в атомных процентах усредненные концентрации химических элементов по 44-м РМЗА измерениям поверхности палладиевого цилиндра. Без учета палладия весовая концентрация свинца составляет ~36%, кислорода ~29%.

На рис. 14 представлены РЭМ-изображения одного из обнаруженных на поверхности латунного сборника характерного образования эллиптической формы размером 17×22 мкм (рис. 14a) и составляющих его отдельных микрочастиц свинца (рис. 14b). Концентрация свинца на площади 5.3×6.3 мкм, отмеченной как “спектр 1” (рис. 14a), составляет 21.3 вес.%. Концентрации свинца, измеренные в точках т. 1 и т. 2 (рис. 14b),

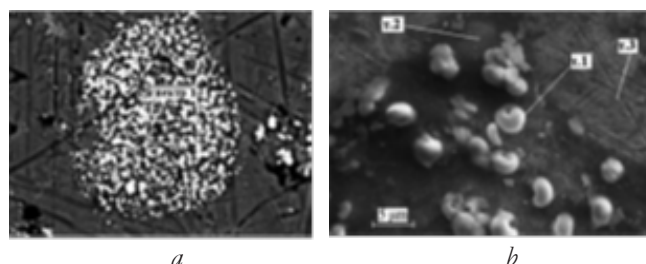


Рис. 14. РЭМ-изображения: а - эллиптическое образование, состоящее из микрочастиц свинца, б - микрочастицы свинца.

Таблица 2

Усредненные концентрации химических элементов для микрочастиц и на поверхности латунного сборника.

Элемент	C	O	Cu	Zn	Pb	%
Микрочастицы, 15 изм.	9.88	15.78	9.91	7.88	56.27	вес.
	34.92	41.81	6.63	5.12	11.52	атом.
Поверхность сборника, 8 изм.	14.6	6.76	43.12	27.0	8.53	вес.
	43.92	15.24	24.48	14.9	1.47	атом.

равны 65.1 и 10.9 вес.%, соответственно. В точке т. 3 свинец не обнаружен. В ней зарегистрированы медь 62.9 и цинк 37.1 вес.%. В **Таблице 2** представлены концентрации химических элементов, усредненные по 15 измерениям, сделанным для разных микрочастиц, и 8-ми измерениям, сделанным в точках или с площади рядом с микрочастицами. Концентрация свинца в микрочастицах менялась от 31.5 до 71.9 вес.%, а в областях рядом с микрочастицами от 0 до 10.9 вес.%. В пяти измерениях из 23 (15+8) были зарегистрированы ^{14}Si , ^{20}Ca , ^{26}Fe . Последующие исследования, проведенные методом вторичной масс-ионной спектроскопии, показали, что изотопный состав синтезированного свинца в пределах ошибок измерений не отличается от природного состава [40]. В этих же исследованиях, в массовом спектре были зарегистрированы линии, отвечающие массам протактиния ^{231}Pa и кюрия ^{246}Cm .

Исходный вес Pd-стержня был 0.7509 гр. После облучения его вес уменьшился на 0.03245 гр, что составляет 4.3%. Авторы статьи [9] полагают, что уменьшение веса образца Pd в основном обусловлено образованием свинца: $32450 \text{ мкг} \cdot 36\% = 11682 \text{ мкг}$ или $3.4 \cdot 10^{19}$ атомов

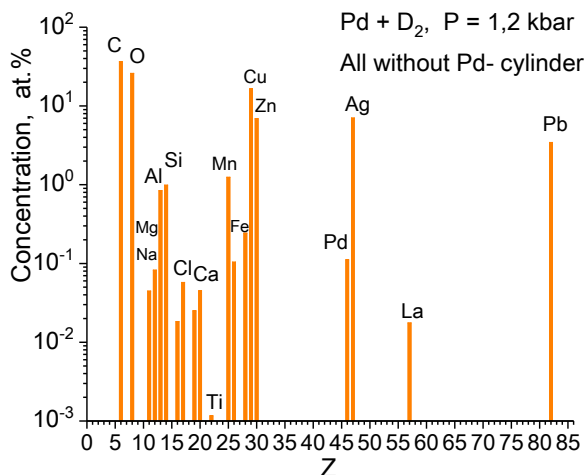


Рис. 15. Концентрации химических элементов (58 измерений).

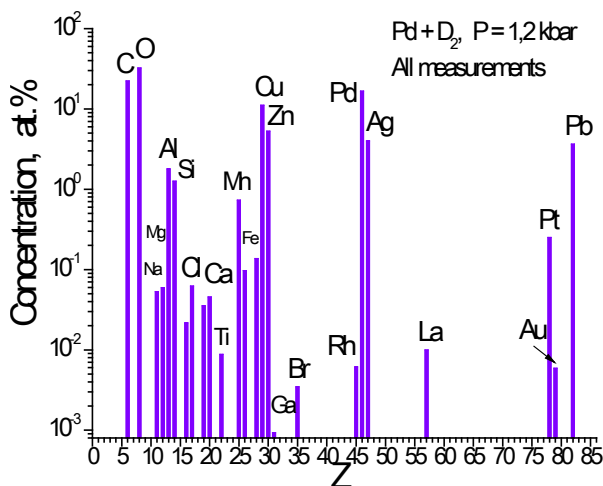


Рис. 16. Концентрации химических элементов (102 измерения).

Pb. Примесь Pb в образце палладия до облучения составляла < 5 ppm или < 3.7 мкг. Количество γ -квантов с энергией от 1 до 10 МэВ на входе во внутренний объем реакционной камеры за все время облучения оценивается $\sim 1.2 \cdot 10^{17}$, что $\ll 3.4 \cdot 10^{19}$ атомов Pb. Из этого можно сделать вывод, что γ -кванты стимулируют запуск других энергетических процессов, приводящих к синтезу “посторонних” химических элементов.

Проведенные исследования химического составасинтезированныхструктурнаповерхностях латунного сборника (25 измерений), входного окна (6 измерений), втулки (17 измерений) и манганиновой фольги (10 измерений) показали наличие в них “посторонних” химических элементов. Особенностью этих измерений явилось обнаружение в структурах и микрочастицах большого количество серебра Ag, вплоть до 98.4% их веса. На **рис. 15** приведены концентрации химических элементов, усредненные по этим 58 измерениям.

На **рис. 16** представлены концентрации химических элементов, усредненные по всем 102 измерениям. На поверхностях камеры, Pd-цилиндра и в микрочастицах зарегистрированы следующие ранее отсутствовавшие в реакционной камере химические элементы: ^6C , ^8O , ^{11}Na , ^{12}Mg , ^{13}Al , ^{14}Si , ^{16}S , ^{17}Cl , ^{19}K , ^{20}Ca , ^{22}Ti , ^{24}Cr , ^{26}Fe , ^{27}Co , ^{31}Ga , ^{35}Br , ^{45}Rh , ^{47}Ag , ^{78}Pt , ^{79}Au и ^{82}Pb .

5. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПАЛЛАДИЕМ И С ОЛОВИМ В ВОДОРОДЕ

В эксперименте с давлением 2.5 кбар (Н1, Таб. 1) камера Н1 располагалась на расстоянии 5 мм от поглотителя электронов - 25 мм. После облучения

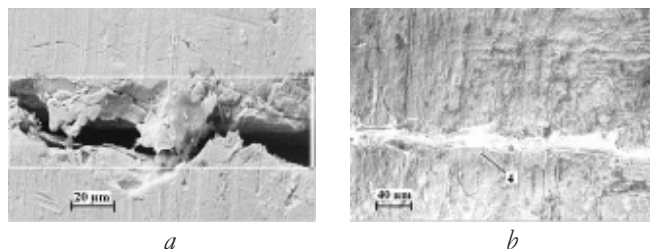


Рис. 17. *a* – трещина на боковой поверхности Pd-стержня, *b* – узкая трещина, “залитая” синтезированными элементами. γ -квантами камера в течение 12 минут облучалась электронами при токе $(1.55-2.1) \cdot 10^{13} \text{c}^{-1}$. После этого давление в камере уменьшилось на 80 бар.

В обоих экспериментах с давлением водорода 0.5 кбар (H_2 , Таб.1) и 2.5 кбар после окончания облучений в реакционных камерах были обнаружены вновь образованные структуры. Боковые и торцевые поверхности Pd-цилиндров значительно видоизменились: на них образовались трещины, кратеры и микрочастицы. На **рис. 17** показаны СЭМ-изображения двух трещин. Внутри и по краям этих образований, также как на поверхностях Pd-цилиндров, обнаружены новые химические элементы, образовавшиеся в результате облучения. На **рис. 18** представлены усредненные по 15 измерениям концентрации синтезированных химических элементов, обнаруженных на Pd-цилиндре при давлении $P = 2.5$ кбар, без учета палладия. Измерения сделаны по площадям от 16 до 5600 μm^2 . На **рис. 19** представлено сравнение усредненных концентраций элементов на Pd-цилиндрах, зарегистрированных в экспериментах с давлением водорода 0.5 и 2.5 кбар. Для эксперимента, выполненного при давлении $P = 0.5$ кбар, приведены концентрации элементов, усредненные по 6 измерениям разных объектов, сделанных в “точках” [17].

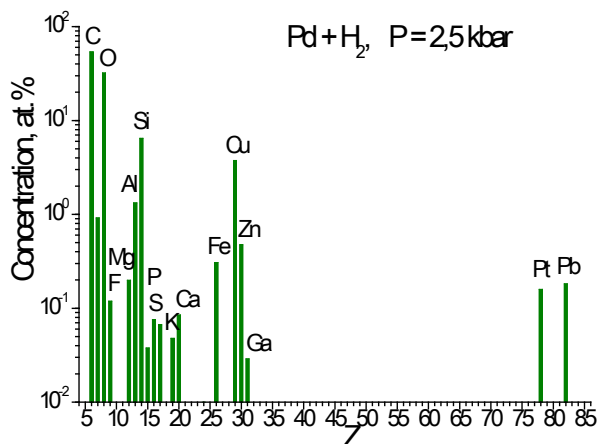


Рис. 18. Концентрации химических элементов на Pd-цилиндре (15 измерений).

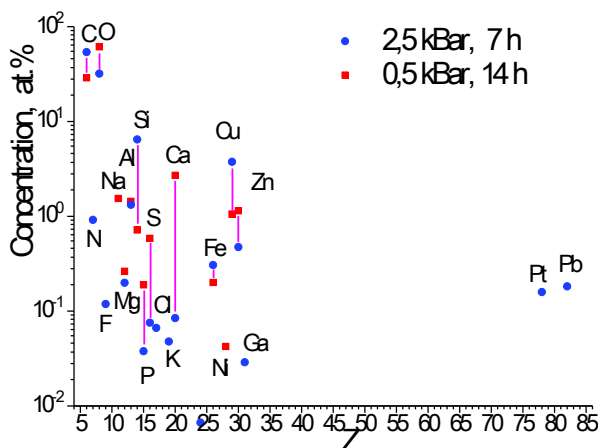


Рис. 19. Сравнение концентраций химических элементов на Pd-цилиндре.

На **рис. 20** представлено сравнение усредненных концентраций элементов, измеренных в обнаруженных микроструктурах на входных окнах, латунных сборниках и в микрочастицах, в экспериментах с давлением водорода 0.5 и 2.5 кбар. Для эксперимента при давлении $P = 2.5$ кбар усреднение выполнено по 4 измерениям. Для эксперимента, выполненного при давлении $P = 0.5$ кбар, приведены концентрации элементов, усредненные по 15 измерениям разных объектов. Наряду с легкими химическими элементами от углерода ^6C до цинка ^{30}Zn , в эксперименте $P = 0.5$ кбар обнаружены: мышьяк ^{33}As , олово ^{50}Sn , барий ^{56}Ba и свинец ^{82}Pb .

Одна из синтезированных структур размером $35 \times 28 \mu\text{m}^2$ была просканирована электронным пучком вдоль полосы $\sim 2 \mu\text{m}$, проходящей через ее центр от края и до края. На основе множества полученных рентгеновских спектров было определено распределение концентраций химических элементов вдоль полосы [18]. В

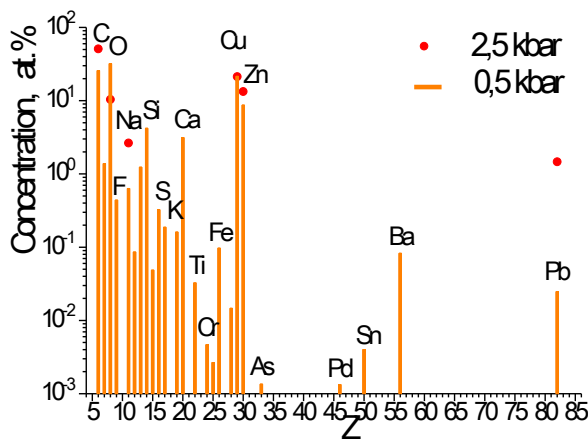


Рис. 20. Сравнение концентраций химических элементов для микрообразований.

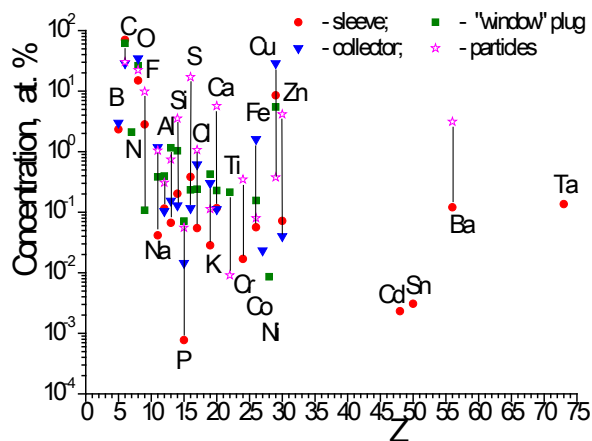


Рис. 25. Сравнение концентраций элементов, обнаруженных на втулке, входном окне, сборнике и частицах.

после окончания облучения составило 3.0 кбар. После вскрытия камеры из неё выпало 30 частиц черного цвета. Все поверхности деталей реакционной камеры, имевшие контакт с водородом, и значительная часть синтезированных частиц были исследованы методами РЭМ и РМЗА.

На рис. 24 приведены концентрации элементов, усредненные по 13 измерениям синтезированных структур, обнаруженных на поверхности оловянного цилиндра. На рис. 25 для сравнения представлены концентрации химических элементов, обнаруженных на втулке, входном окне, сборнике и частицах. Для втулки усреднение проведено по 13 измерениям, для входного окна – по 7 измерениям, для сборника – по 9 измерениям и для частиц – по 21 измерению. На рис. 26 представлены концентрации химических элементов, усредненные по всем 63 измерениям синтезированных твердотельных структур.

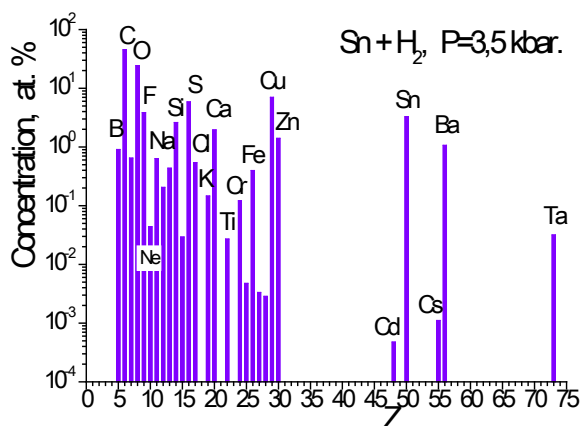


Рис. 26. Концентрации химических элементов (63 измерения).

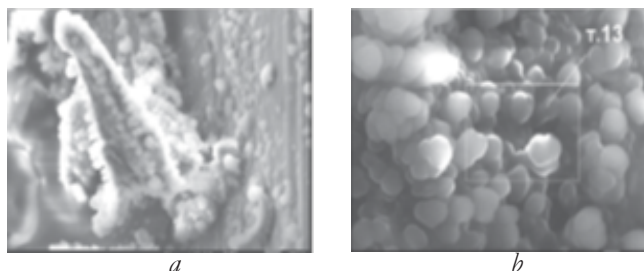


Рис. 27. Изображение структур в резбовых углублениях: а - 65 мкм, б - 14 мкм.

6. ЭКСПЕРИМЕНТ С ПАЛЛАДИЕМ В ГЕЛИИ

Последним экспериментом в серии был эксперимент с палладиевым цилиндром, помещенным в конденсированный гелий (He, Таб. 1) [22-23]. Камера была заполнена гелием до давления 2.4 кбар. Облучение проводилось с использованием вольфрамового конвектора толщиной 1 мм и Al-поглотителя толщиной 25 мм. Время облучения составило 96 часов. В процессе облучения давление в камере не упало, а даже несколькоросло. При вскрытии камеры после облучения из нее выпали 13 частиц темного цвета размером до 1 мм. Входное окно, изготовленное из бериллиевой бронзы, было покрыто толстым видимым слоем зелено-желтого цвета. Резьба входного окна была заполнена мелкими частицами – шариками размером порядка 2 мкм (рис. 27). На рис. 28 представлены концентрации элементов, содержащихся в этих шарах, усредненные по 4 измерениям. На всей боковой поверхности палладиевого цилиндра были обнаружены темные пятна. На рис. 29 приведены РЭМ-изображения этих пятен. На рис. 30 указаны концентрации элементов, содержащихся в этих пятнах, усредненные по

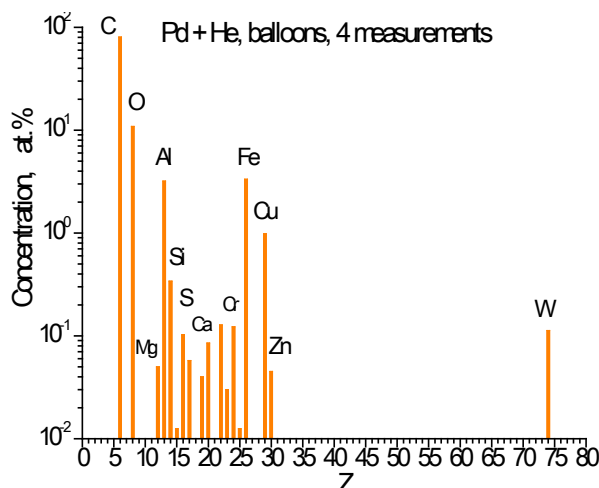


Рис. 28. Концентрации химических элементов в шарах.

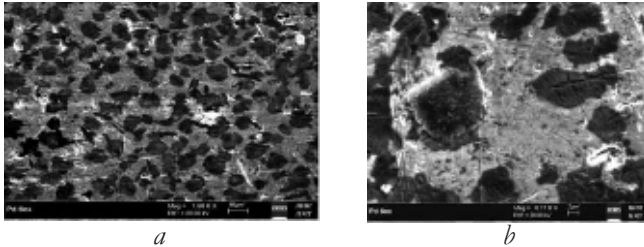


Рис. 29. РЭМ-изображение боковой поверхности Pd-цилиндра, покрытой черными пятнами: а - 150 мкм, б - 50 мкм.

5 измерением. В этих пятнах кроме углерода и кислорода обнаружено высокое содержание азота, железа и цинка. Суммарные, усредненные по 15 измерениям концентрации химических элементов на поверхности палладиевого цилиндра представлены на рис. 31.

Проведенные исследования химического состава синтезированных структур на поверхностях входного окна (21 измерение), медного сборника (3 измерения) и медной втулки (16 измерений), а также микрочастиц (13 измерений), показали наличие в них “посторонних” химических элементов. Для них на рис. 32 представлены суммарные, усредненные по 53 измерениям концентрации химических элементов. Особенностью этого эксперимента с гелием является регистрация на втулке и в частицах инертных газов неона и аргона.

На рис. 33 приведены усредненные по 68 измерениям, включая поверхность Pd-цилиндра, концентрации химических элементов, измеренные в эксперименте с гелием. На рис. 34 для сравнения показаны концентрации химических элементов, усредненные по 28 измерениям и полученные в двух экспериментах с чистым гелием He при давлении 1.1 и 3.05 кбар [39]. Облучения проводились в течение 28

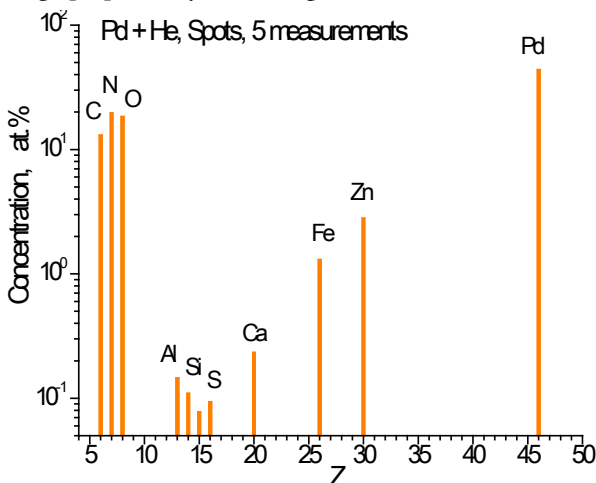


Рис. 30. Концентрации химических элементов в черных пятнах.

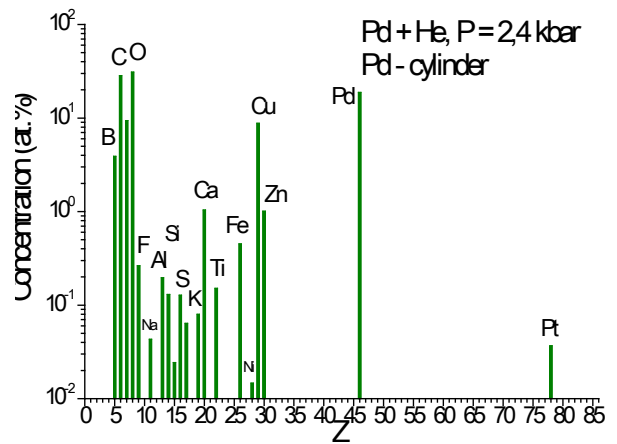


Рис. 31. Концентрации химических элементов (15 измерений), часов каждый, и токе электронов $(1.0-1.5) \cdot 10^{14} \text{c}^{-1}$. Энергия пучка электронов составляла 10 МэВ.

Для полноты картины на рис. 35 мы приводим общий результат по облучению тормозными γ -квантами в течение от 43 до 72 часов с максимальной энергией 10 МэВ конденсированного ксенона ^{54}Xe в трех экспериментах [32-37, 39]. На рисунке даны концентрации синтезированных химических элементов, усредненные в этих экспериментах при давлениях ксенона 250, 270 и 550 бар. Усреднение было произведено по 289 измерениям. Следует особо отметить, что в результате облучения ксенона были синтезированы такие радиоактивные элементы, как технеций ^{43}Tc и актиний ^{89}Ac (франций ^{87}Fr – дочерний продукт актиния), появление которых невозможно объяснить ни загрязнением, ни вторичными процессами. Следует также обратить внимание, что в результате длительного облучения тормозными γ -квантами конденсированного ксенона в нем синтезируются “практически все элементы” таблицы Менделеева.

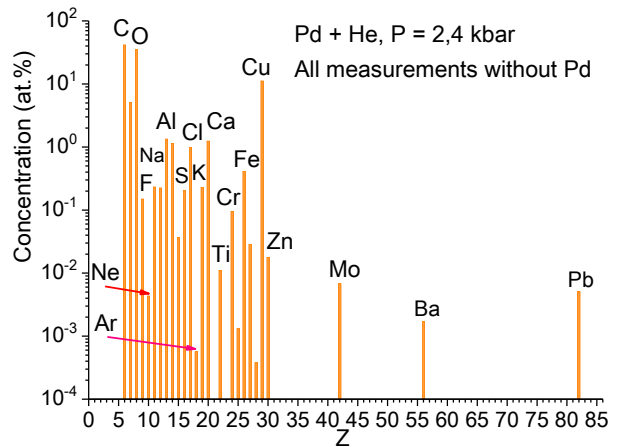


Рис. 32. Концентрации химических элементов (53 измерения).

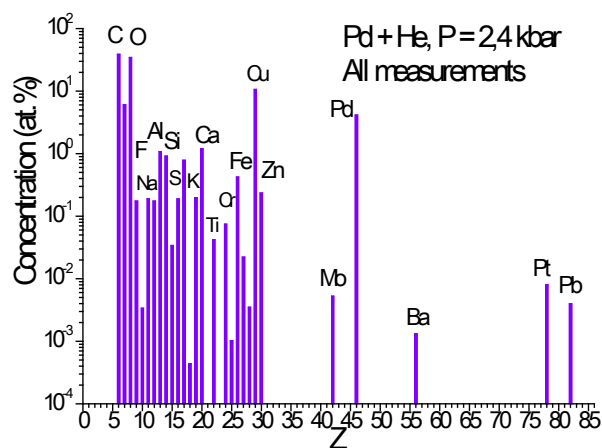


Рис. 33. Концентрации химических элементов (68 измерений).

7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Прежде всего следует подчеркнуть, что, несмотря на поразительные результаты, полученные в наших многочисленных экспериментах, и вызванный к ним интерес научной общественности, они не были воспроизведены в других научных центрах. Поэтому, мы вынуждены сравнивать результаты разных экспериментов, только исходя из наших экспериментальных данных.

1. Во всех экспериментах с конденсированными газами, без исключения, после окончания облучений в реакционных камерах были обнаружены вновь образованные объекты: микрочастицы размером от 0.5 μ до 1 mm, а на деталях реакционных камер и на поверхности палладия аномальные твердотельные структуры. Поскольку образованные структуры содержат в большом количестве “посторонние” химические элементы, то следует предположить, что структуры и химические элементы были синтезированы на поверхностях палладиевых

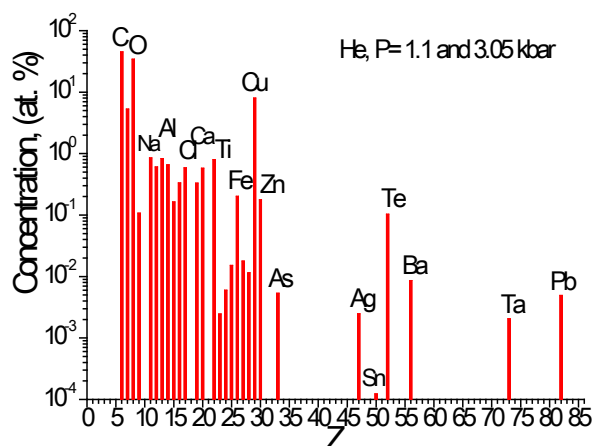


Рис. 34. Концентрации элементов двух экспериментов с He (28 измерений).

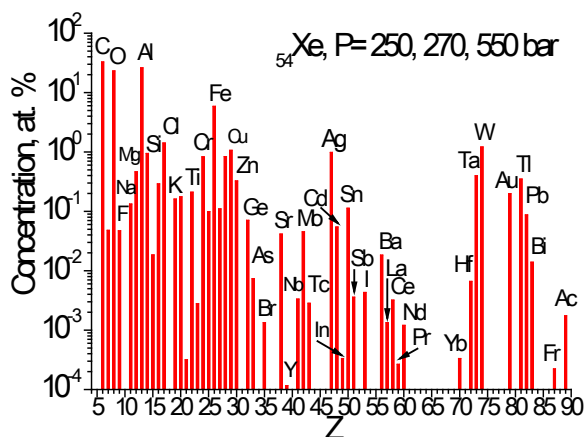


Рис. 35. Концентрации химических элементов трех экспериментов с Xe (289 измерений).

цилиндров и на поверхностях деталей реакционной камеры.

2. Исследования, выполненные методом растровой электронной микроскопии, обнаружили значительные изменения поверхностей облученных Pd-цилиндров. Гладкие поверхности Pd-цилиндров превратились в неоднородные поверхности, состоящие из отдельных кластеров, и с множеством трещин и пятен. Появившиеся на поверхности Pd-цилиндров неоднородности, трещины и разрывы мы трактуем как радиационные повреждения и микровзрывы приповерхностного слоя, производимые ядерными реакциями.

3. Измерения, проведенные с помощью рентгеновского микрозондового анализа, показали, что поверхности Pd-цилиндров, твердотельные структуры и микрочастицы содержат химические элементы, отсутствующие в заметных количествах в объемах реакционных камер до их облучения.

4. Диапазон синтезированных элементов простирается от углерода до свинца. Характерной особенностью для всех полученных концентраций химических элементов является постоянное присутствие группы, практически всех лёгких элементов с зарядом ядра $6 \leq Z \leq 30$, от углерода до цинка. Максимальный выход в реакциях имеют углерод и кислород. Легкие элементы до углерода (в некоторых случаях до бора) не регистрируются методом рентгеновского микрозондового анализа.

5. Кроме группы лёгких элементов в продуктах реакций всегда есть представители из группы

элементов с зарядом ядра Z от 30 до 70 и есть представители из группы тяжелых элементов с Z более 70. Практически всегда в наборе синтезированных элементов присутствует свинец.

6. Принимая во внимание всю совокупность данных, полученных методом РМЗА, можно утверждать, что в каждом отдельном эксперименте по облучению γ -квантами палладия в среде конденсированных газов не наблюдается существенного различия в распределениях химических элементов для деталей реакционной камеры: входного окна, втулки, сборника, манганиновой фольги и частиц.

7. Наиболее впечатляющими экспериментами являются опыты с облучением палладия в атмосфере конденсированного дейтерия. В этих экспериментах элементы: титан ${}_{22}^{46}\text{Ti}$, серебро ${}_{47}^{107}\text{Ag}$ и свинец ${}_{82}^{208}\text{Pb}$, синтезированы в макрокolicестве. Изотопный состав свинца в пределах ошибок измерений соответствует природному соотношению изотопов.

8. В эксперименте с конденсированным гелием на втулке и в частицах зарегистрированы инертные газы: неон и аргон. Эти элементы не образуют химических соединений, поэтому они могли быть синтезированы и сохранены только внутри и в приповерхностных слоях втулок и частиц.

9. В опытах с конденсированным водородом и дейтерием были зарегистрированы радиоактивные элементы – протактиний ${}_{91}^{231}\text{Pa}$ и, возможно, кюрий ${}_{96}^{247}\text{Cm}$ [42]. С большой степенью вероятности эти химические элементы были синтезированы непосредственно в результате ядерных реакций.

10. Распределения синтезированных химических элементов в экспериментах с палладием и с оловом в конденсированном водороде по характеру мало отличаются друг от друга (рис. 22 и 26).

11. Распределения синтезированных химических элементов в экспериментах по облучению камер высокого давления с конденсированными газами с присутствием палладия и без него имеют сходный характер [39].

Тривиальным объяснением появления всех зарегистрированных в экспериментах “посторонних” химических элементов является неконтролируемый их занос во внутренний

объем реакционных камер в процессе заполнения камер конденсированными газами. Однако, кроме того, что были приняты специальные меры, исключающие занос “посторонних” химических элементов, для проверки этого предположения были проведены специальные, “фоновые” эксперименты: А. После нескольких процедур заполнения дейтерием реакционной камеры и ее вакуумирования, она была вскрыта без облучения. В. В следующем опыте образец Pd выдерживался в камере в течение 10^5 с без облучения при давлении дейтерия 20 кбар. С. Было проведено отдельное облучение при энергии электронов 10 МэВ пустой камеры со всеми внутренними втулками и сборниками. Камера между облучениями постоянно откачивалась до давления 10^{-4} Па. Время облучения составило $2 \cdot 10^5$ с, при среднем токе электронного пучка $1.2 \cdot 10^{14}$ с $^{-1}$. D. В другом эксперименте камера, заполненная дейтерием с давлением 60 бар с палладиевым цилиндром размером $\varnothing 4.9 \times 8$ мм 3 , облучалась в течение $1.3 \cdot 10^5$ с, при среднем токе электронного пучка $1.1 \cdot 10^{14}$ с $^{-1}$. Палладий был чистотой 99.997%. Этот эксперимент был нацелен на синтез химических элементов при пониженном давлении дейтерия, по сравнению с другими экспериментами, в которых давление дейтерия составляло 1.2 и 3 кбар [1-3, 7-10]. Во всех случаях сделанные РЭМ и РМЗА исследования внутренних втулок, сборников и поверхности палладиевого цилиндра показали отсутствие в них каких-либо новых синтезированных структур и измененного элементного состава.

Следовательно, появление “посторонних” элементов во внутреннем объеме реакционных камер, с высокой степенью вероятности, определяется неядерным взаимодействием γ -излучения с конденсированными газами и с атомами металлов, окружающих газ [43]. Взаимодействие γ -квантов с энергией до 10 МэВ с веществом характеризуется фотоэффектом, эффектом Комптона и рождением электрон-позитронных пар. Все три эффекта приводят к образованию электронов и позитронов с энергиями < 10 МэВ, которые ионизируют атомы газа и атомы материалов, окружающих газ. Таким образом, в облучаемом объеме создается плотная плазма с высокой температурой электронов. Следовательно, производство “посторонних”

элементов в камере связано с созданием в её объёме неравновесной, плотной плазмы.

Имеется две нетривиальные возможности появления химических элементов. Одна из них связана с гипотезой о “плазменной диффузии” уже имеющихся, примесных элементов из глубины окружающих газ материалов к поверхности раздела двух сред: твердотельной и газовой. При этом плотность атомов в газе должна быть сравнима с плотность твердого тела. Вторая возможность связана с гипотезой о возникновении в плотной плазме условий для слияния нескольких атомных ядер в обобщенный компаунд с последующим его распадом на другие ядра-фрагменты [43], т.е. осуществление низкоэнергетических ядерных реакций.

Действительно, строго говоря, во всех сплавах металлов можно найти следовые количества практически всех элементов, в том числе и радиоактивных. Поэтому, если бы существовал механизм “плазменной диффузии” примесных химических элементов из глубины материалов на их поверхность при обязательном присутствии конденсированных газов, тогда им можно было бы как-то попытаться объяснить появление “посторонних” элементов, правда в нано- и микроколичествах. Но такой механизм неизвестен.

Во введении говорилось, что одной из мотиваций в постановке обсуждаемых здесь экспериментов была реализация реакций холодного ядерного синтеза для пары палладий-дейтерий. Примечательно, что наиболее впечатляющими экспериментами являются опыты как раз с облучением палладия в атмосфере конденсированного дейтерия. В этих экспериментах химические элементы титан, серебро и свинец синтезированы в макроколичествах. Из научной литературы известно, что реакции холодного ядерного синтеза сопровождаются реакциями трансмутации, превращением одних химических элементов в другие. Следовательно, в наших экспериментах с парой палладий-дейтерий стимулируемые γ -излучением реакции ХЯС производят энергию, необходимую для реакций трансмутации. В экспериментах с другими газами: водородом и гелием, и в экспериментах с чистыми газами реакции трансмутации происходят напрямую. Как уже говорилось, интенсивность реакций ХЯС увеличивается с ростом количества атомов дейтерия на один атом палладия. Это

увеличение можно достичь использованием металлических кластеров размером в несколько нанометров [6]. “Любопытно, что нанокластеры размером 6-7 нм образуются вблизи металлических поверхностей просто в результате нагрева образца до температуры 300-400°C! Такие нанокластеры левитируют над металлической поверхностью [44]! Если в объеме нанокластеров, образовавшихся любым способом, происходят реакции ХЯС, то в результате бомбардировки продуктами реакции поверхности металлов она локально разогревается, и на ней производятся как дополнительные локальные дефекты, так и новые нанокластеры. Появившиеся “горячие” дефекты и нанокластеры могут стать центрами образования твердых структур и синтеза “посторонних” химических элементов в низкоэнергетических ядерных реакциях трансмутации” [45, с. 128]. Похоже, именно такие процессы мы регистрируем в наших экспериментах.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая статья представляет обзор восьмилетних экспериментальных работ по синтезу химических элементов из газовой фазы дейтерия, водорода и гелия в присутствии металлического палладия при длительном γ -облучении газов под высоким давлением. Получены многочисленные данные по синтезу широкого спектра химических элементов от углерода до свинца. Предложены предварительные гипотезы синтеза химических элементов в условиях проведенных экспериментов.

Исходя из высказанных предположений, необходимо провести новые эксперименты, способные подтвердить или опровергнуть полученные результаты и указанные гипотезы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Didyk AYu, Wiśniewski R. Nuclear reactions, induced by gamma quanta, in palladium saturated with deuterium surrounded by dense deuterium gas. *Eur. Phys. Lett.*, 2012, 99:P.22001-P1-22001-P6.
2. Didyk AYu, Wiśniewski R. Chemical Composition and Structural Phase Changes of Novel Synthesized Structure and of Pd Sample under γ -Quanta Irradiation in Dense Deuterium Gas. *Phys. Part. Nucl. Lett.*, 2012, 9(8):615-631.
3. Дидык АЮ, Вишневикий Р. Синтез новых структур в плотном газообразном дейтерии и насыщенном дейтерием палладии при ядерных

- реакциях, инициированных γ -квантами. *Физика и химия обработки материалов*. 2012, 5:5-13; Препринт ОИЯИ P15-2012-50, Дубна, 2012, 16 с.
4. Белов АГ. Микротрон МТ-25. *Workshop on Application of Microtrons in Nuclear Physics*, Plovdiv, 22-24 сент. 1992, Д15-93-80, с.12-19, Дубна, ОИЯИ, 1993.
 5. Fleishmann M, Pons S, Hawkins M. Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium. *J. Electroanal. Chem.*, 1989, 261:301-308.
 6. Arata Y, Zhang Y-C. Characteristics of Compact and Practical "Solid Deuterium Nuclear Fusion Reactor. *Proc. 10th Intern.Conference on Cold Fusion*, 2003 Cambridge, Massachusetts, USA.
 7. Didyk AYu, Wiśniewski R, Wilczynska-Kitowska T, Shilov VM. Changes in the Chemical Composition of Nuclear Reaction Products Irradiated with 10 MeV γ -Quanta in Deuterium Saturated Palladium. (1.2kbar). *J. Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2014, 8(6):1100-1112.
 8. Didyk AYu, Wiśniewski R. Nuclear reactions in deuterium-saturated palladium under irradiation by 10 MeV γ -quanta in dense molecular deuterium at 1.2 kbar pressure. *Eur. Phys. Lett.*, 2013, 103:42002-P1-42002-P6.
 9. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р, ВИЛЧИНСКА-КИТОВСКА Т. Изменения структуры поверхности и элементного состава Pd-стержня и сборника продуктов ядерных реакций при облучении 10-МэВ γ -квантами в плотном дейтерии. *Письма ЭЧАЯ*, 2013, 10(7(184)):1304-1326; *Препринт ОИЯИ P15-2013-15*, Дубна, 2013, 32 с.
 10. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р, ВИЛЧИНСКА-КИТОВСКА Т. Изменения свойств поверхности и элементного состава компонентов камеры высокого давления с Pd-стержнем внутри, облученных 10-МэВ γ -квантами в плотном дейтерии. *Письма ЭЧАЯ*, 2013, 10(7(184)):1327-1345; *Препринт ОИЯИ P15-2013-20*, Дубна, 2013, 27с.
 11. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Ядерные реакции в насыщенном дейтерием палладии и рении в атмосфере плотного дейтерия при облучении γ -квантами непрерывного спектра с граничной энергией 23 МэВ. *Письма в ЭЧАЯ*, 2012, 5:5-13.
 12. Didyk AYu, Wiśniewski R. The Study of Changes in the Element Compositions of Pd and Re Specimens Irradiated in Dense Gaseous Deuterium by γ -Quanta with Boundary Energy up to 23 MeV. *Journal of Physical Science and Application*, 2013, 3(4):209-217.
 13. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Изменения поверхности, объемных свойств образцов ванадия и нержавеющей стали, облученных в плотном газообразном дейтерии γ -квантами с пороговой энергией 23 МэВ. *Препринт ОИЯИ P15-2012-75*, Дубна, 2012, 15 с.
 14. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Результаты по облучению алюминия и гомогенного сплава YMn_2 γ -квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар. *Письма в ЭЧАЯ*, 2014, 11(3(187)):284-298.
 15. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Результаты по облучению нержавеющей стали и меди γ -квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар. *Phys. Part. Nucl. Lett.*, 2014, 3:309-328.
 16. Didyk AYu, Wiśniewski R. Structure and Chemical Composition Changes of Pd Rod and Reaction Product Collector Irradiated by 10 MeV Braking Gamma Quanta inside High Pressure Chamber Filled with 2.5 kbar Molecular Hydrogen. *Phys. Part. Nucl. Lett.*, 2014, 11(4):513-527; *Препринт ОИЯИ P15-2013-80*, Дубна, 2013, 32 с.
 17. Didyk AYu, Wiśniewski R. Synthesis of New Structures on the Surface of Pd Rod and HNPC Elements and Their Chemical Composition in Nuclear Reactions Induced by Bremstrahlung γ Quanta with Threshold Energy of 10 MeV in Molecular Hydrogen at a Pressure of 0.5 kbar. *Phys. Part. Nucl. Lett.*, 2015, 12(4):603-617; *Препринт ОИЯИ P15-2014-6*, Дубна, 2014, 34 с.
 18. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Химический состав и структура синтезированных частиц на поверхности HNPC при ядерных реакциях при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0.5 кбар. *Препринт ОИЯИ P15-2014-7*, Дубна, 2014, 24 с.
 19. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Ядерные реакции с синтезом микрочастиц в водороде при давлении 3.5 кбар в присутствии олова при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ P15-2014-89*, Дубна, 2014, 26 с.
 20. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р. Ядерные реакции с синтезом микрочастиц в HNPC при давлении 3.5 кбар водорода с цилиндром из олова под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ P15-2014-88*, Дубна, 2014, 43 с.
 21. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р, ВИЛЧИНСКА-КИТОВСКА Т, ИСХАКОВА АД. Синтез микрочастиц в плотном водороде при давлении 3.5 кбар с оловянным стержнем под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ P15-2014-104*, Дубна, 2014, 23 с.
 22. ДИДЫК АЮ, ВИШНЕВСКИЙ Р, СЕМИН ВА. Синтез микрочастиц в гелии при давлении 2.4 кбар с палладием при облучении тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ (часть 1).

- Препринт ОИЯИ Р15-2015-33*, Дубна, 2015, 40 с.
23. Дидык АЮ, Вишневецкий Р, Семин ВА. Исследование процессов образования новых структур и элементов в гелии при давлении 2.4 кбар с палладием при воздействии тормозных γ -квантов с максимальной энергией 10 МэВ (часть 2). *Препринт ОИЯИ Р15-2015-34*, Дубна, 2015, 40 с.
 24. Didyk AYU, Wiśniewski R. Synthesis of Microobjects in 1 kbar Hydrogen Induced by 10 MeV Bremsstrahlung γ Quanta on Inner Surfaces of Components of a High Pressure Chamber (Part 1). *Phys. Part. Nucl. Lett.*, 2015, 12(1):125-144.
 25. Didyk AYU, Wiśniewski R. Synthesis of Microparticles in 1kbar Hydrogen Induced by 10MeV Bremsstrahlung γ Quanta in a Reaction Chamber (Part 2). *Phys. Part. Nucl. Lett.*, 2015, 12(1):145-165.
 26. Дидык АЮ, Вишневецкий Р. Синтез новых структур, образованных в результате ядерных реакций в ННРС с давлением водорода 3.4 кбар при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2015-79*, Дубна, 2014, 27 с.
 27. Дидык АЮ, Вишневецкий Р, Мышинский ГВ, Семин ВА, Вилчинска-Китовска Т. Синтез твердотельных структур и химических элементов при облучении тормозными γ -квантами с $E_{\max}=10$ МэВ конденсированного дейтерия давлением 2.2 кбар. *Препринт ОИЯИ Р15-2018-3*, Дубна, 2018, 27с.
 28. Didyk AYU, Wiśniewski R, Wilczynska-Kitowska T. The carbon-based structures synthesized through nuclear reactions in helium at 1.1 kbar pressure under irradiation with braking γ -rays of 10 MeV threshold energy. *Eur. Phys. Lett.*, 2015, 109:P.22001-P.1-22001-P.6.
 29. Дидык АЮ, Вишневецкий Р. Свойства структур на основе углерода, синтезированных в ядерных реакциях в гелии при давлении 1.1 кбар под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2014-38*, Дубна, 2014, 40 с.
 30. Дидык АЮ, Вишневецкий Р. Ядерные реакции, синтез химических элементов и новых структур в плотном гелии при давлении 1.1 кбар под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2014-50*, Дубна, 2014, 40 с.
 31. Дидык АЮ, Вишневецкий Р. Синтез новых структур и образование химических элементов в плотном гелии при давлении 3.05 кбар при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2014-87*, Дубна, 2014, 23 с.
 32. Дидык АЮ, Гульбекян ГГ, Мышинский ГВ. РЭМ-и РМЗА-исследования синтезированных частиц и объектов при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2015-71*, Дубна, 2015, 40 с.
 33. Дидык АЮ, Гульбекян ГГ, Мышинский ГВ. Исследование изменений элементного состава и структуры поверхностей при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2015-72*, Дубна, 2015, 32 с.
 34. Дидык АЮ, Гульбекян ГГ, Мышинский ГВ. Аномалии на внутренних поверхностях камеры высокого давления ксенона XeHPC (250 бар) с образованием микрочастиц сложного состава при облучении тормозным излучением с пороговой энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2016-1*, Дубна, 2016, 38 с.
 35. Дидык АЮ, Гульбекян ГГ, Мышинский ГВ, Сабельников АВ. Синтез микрочастиц сложного состава в камере высокого давления ксенона (550 бар) при облучении тормозным излучением с максимальной энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2016-19*, Дубна, 2016, 49 с.
 36. Didyk AYU, Gulbekian GG, Mishynski GV, Wiśniewski R. A study of Changes of the Element Composition and Structure of Surfaces under Irradiation of Dense Xenon Gas (270 bar) by γ -Rays with Maximum Energy of 10 MeV. *JPSA*, 2016, 6(2):18-28.
 37. Дидык АЮ. Ядерные реакции синтеза и деления химических элементов и образование новых структур в плотных газах H_2 , D_2 и He при облучении 10 МэВ γ -квантами. *Физика и химия обработки материалов*, 2015, 2:5-19.
 38. Wiśniewski R, Didyk AYU. Synthesis of New Structures and Substances in Dense Gases H_2 , D_2 and He under Irradiation by Braking 10MeV γ -rays in $CuBe_2$ Pressure Chamber. *JPSA*, 2016, 6(4):13-21.
 39. Вишневецкий Р, Мышинский ГВ, Гульбекян ГГ, Вилчинска-Китовска Т, Семин ВА. Синтез химических элементов и твердотельных структур при облучении γ -квантами конденсированных газов. *Журнал Формирующихся Направлений Науки (ЖФНН)*, 2017, 17-18(5):6-15. <http://www.unconv-science.org/>.
 40. Berger MJ, Seltzer SM. Bremsstrahlung and Photoneutrons from Thick Tungsten and Tantalum Targets. *Phys. Rev. C*, 1970, 2(2):621-631.
 41. Kondev Ph, Tonchev A, Khristov Kh, Zhuchko V. The calculated bremsstrahlung spectrum. *Nucl. Instr. Meth*, B71, 1992, 126.
 42. Дидык АЮ, Конарски П, Сабельников АВ, Вишневецкий Р. Образование Pa и Cm при облучении палладиевого стержня в ДНРС, заполненной молекулярным дейтерием при давлении 1.2 кбар, тормозным излучением с максимальной энергией 10 МэВ. *Препринт ОИЯИ Р15-2015-78*, Дубна, 2015, 39 с.
 43. Мышинский ГВ, Кузнецов ВД, Пеньков ФМ. К вопросу о механизме синтеза химических элементов при облучении конденсированных газов тормозными гамма-квантами. *ЖФНН*, 2017,

- № 17-18(5):45-57. <http://www.unconv-science.org/>.
44. Несвижевский ВВ, Воронин АЮ, Ламбрехт А, Рейно С, Лычагин ЕВ., Музыка АЮ, Стрелков АВ. Наблюдение квантовой левитации наночастиц методом ультрахолодных нейтронов. *Кристаллография*, 2013, 58(5):730-736.
45. Мышинский ГВ. Теория реакций холодного ядерного синтеза. *РЭНСИТ*, 2019, 11(2):125-142.

Дидык Александр Юрьевич

д.ф.-м.н.

Объединенный институт ядерных исследований
Дубна 141980, Московская обл., Россия
info@jinr.ru

Вишневецкий Роланд

доктор наук, профессор

Национальный центр ядерных исследований

7, ул. Анджея Солтана, 05-400 Отвоцк-Сверк, Польша
roland.wisniewski@gmail.com

Вилчинска-Китовска Тереза

доктор наук

Национальный центр ядерных исследований
7, ул. Анджея Солтана, 05-400 Отвоцк-Сверк, Польша
teresa.wilczynska@gmail.com

Мышинский Геннадий Владимирович

научный сотрудник

Объединенный институт ядерных исследований
Дубна 141980, Московская обл., Россия
mysh@jinr.ru

Семи́н Василий Алексеевич

Зам. начальника Научно-технического отдела ускорителей ЛЯР

Объединенный институт ядерных исследований
Дубна 141980, Московская обл., Россия
seminva@jinr.ru

SYNTHESIS OF CHEMICAL ELEMENTS UNDER IRRADIATION BY BRAKING GAMMA-RAYS OF PALLADIUM IN CONDENSED GASES

Alexander Yu. Didyk, Gennady V. Mishinsky, Vasily A. Semin

Joint Institute for Nuclear Research, <http://www.jinr.ru/>

6, str. Joliot Curie, Dubna 141980, Moscow Region, Russian Federation

Roland Wiśniewski, Teresa Wilczyńska-Kitowska

National Centre for Nuclear Research, <https://www.ncbj.gov.pl/>

ul. Andrzeja Solтана 7, 05-400 Otwock, Świerk, Poland

roland.wisniewski@gmail.com, teresa.wilczynska@gmail.com, mysh@jinr.ru, seminva@jinr.ru

Abstract. The article is a review of the experimental results obtained by the authors over the past 8 years on the synthesis of chemical elements in gases compressed up to 3 kbar with its long (up to tens of hours) gamma irradiation in the presence of cylindrical samples of metallic palladium. The chambers were irradiated by braking gamma rays with a maximum energy of 10 MeV at the electron accelerator of the Joint Institute for Nuclear Research in Dubna (Moscow region). In addition to palladium, the reaction chamber contained other structural details made of brass or copper, beryllium bronze and manganin foil. Experiments were carried out with palladium in deuterium, with palladium and tin in hydrogen, with palladium in helium. In all experiments, after irradiation, numerous solid-state microstructures of various sizes (up to 1 mm) and shapes were found on the surfaces of the chamber's parts, as well as on the surface of the palladium. X-ray micro-probe analysis of these structures showed the presence of a wide range of chemical elements (from carbon to lead), which were absent in the reaction chamber prior to irradiating. The article presents numerous quantitative histograms of concentrations of the elements found. Preliminary hypotheses are proposed for the synthesis of chemical elements under the experimental conditions.

Keywords: condensed gas, high-pressure chambers, gamma radiation, surface microstructures, X-ray analysis, photonuclear reactions, low-energy nuclear reactions, cold nuclear fusion

PACS: 25.20.-x; 25.70.-z; 25.70.Jj

Bibliography - 45 references

RENSIT, 2019, 11(2):143-160

Received 24.05.2019, accepted 30.05.2019

DOI: 10.17725/rensit.2019.11.143