Журнал Формирующихся Направлений Науки номер 17-18(5), стр. 45-57, 2017 ©Авторы, 2017 статья получена: 03.10.2017 статья принята к публикации: 12.01.2018 http://www.unconv-science.org/n17/myshinskiy1/ ©Association of Unconventional Science, 2017

К вопросу о механизме синтеза химических элементов при облучении конденсированных газов тормозными гамма-квантами

Г.В. Мышинский¹, В.Д. Кузнецов², Ф.М. Пеньков³

Аннотация-Камера высокого давления дейтерия в присутствии палладия и камеры ксенона облучались тормозными гамма-квантами с максимальной энергией 10 МэВ в течение десятков часов. После облучения на внутренних поверхностях камер были обнаружены твердотельные микрообъекты, рентгеновский микрозондовый анализ которых показал наличие в них химических элементов, отсутствующих в реакционных камерах до облучения. Были зарегистрированы химические элементы в диапазоне от углерода до висмута. Сделанные расчеты демонстрируют, что возможным механизмом, приводящим к полученным результатам, является взаимодействие одновременно многих атомов и их ядер, т.е. осуществление низкоэнергетических ядерных реакций.

I. Введение

Первый эксперимент по синтезу химических элементов под действием гамма-квантов с максимальной энергией 9,3 МэВ был проведен Дидыком А.Ю. и Вишневским Р. с образцом палладия Pd в виде цилиндра при давлении дейтерия ~3 кбар (рис.1) [1], [2], [3], [4], [5]. Облучение проводилось в течение ~6 часов на ускорителе электронов, микротроне MT-25 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ [6] при среднем токе электронов ~7 мкА. В результате облучения в реакционной камере были обнаружены необычные твердотельные структуры, которые содержали "посторонние" химические элементы, отсутствующие в реакционной камере до начала эксперимента. В процессе облучения были синтезированы следующие химические элементы: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Nb, Ru, Ag, La, W, Pt, Pb. B дальнейших многочисленных экспериментах были проведены исследования элементного состава образовавшихся структур на поверхностях деталей реакционной камеры с образцами других

металлов и сплавов: Al, V, Cu, Sn, Re, YMn₂, находившихся в атмосфере газообразного молекулярного дейтерия при высоком давлении под действием тормозного излучения с $E_{max} = 10$ МэВ и $E_{max} = 23$ МэВ [7], [8], [9], [10], [11]. Аналогичные исследования были проведены в камерах с высоким давлением водорода с палладиевым [12], [13] и оловянным [14], [15], [16] цилиндрами внутри и с высоким давлением гелия с палладиевым цилиндром [17], [18] при облучении тормозными *γ*-квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Такие же исследования были выполнены в камерах с высоким давлением чистых газов: водорода [19], [20], [21], дейтерия, гелия [22], [23], [24], [25] и ксенона [26], [27], [28], [29], [30] без металлических образцов внутри при облучении тормозными *γ*-квантами с $E_{max}=10$ МэВ. При давлениях сотни и тысячи бар плотность атомов газов сравнима с плотностью атомов в твердом теле и жидкостях. Поэтому, далее употребляется термин - конденсированный газ. Обзоры по результатам экспериментов в конденсированных газах H_2 , D_2 , He и Хе представлены в [31], [32], [33]. В этой статье мы рассматриваем возможный механизм по синтезу "посторонних" химических элементов под действием тормозного излучения с *E_{max}*=10 МэВ как в конденсированном дейтерии давлением 1.2 кбар с палладиевым 46Pd стержнем внутри реакционной камеры [5], так и в трех экспериментах по синтезу химических элементов в конденсированном ксеноне ${}_{54}$ Xe.

II. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Облучения камеры высокого давления дейтерия D 1,2кбар с палладиевым образцом внутри $(D+Pd+\gamma)$ и камер с ксеноном (Xe+ γ) проводились тормозными гамма-квантами с максимальной энергией 10 МэВ на ускорителе электронов МТ-25 ЛЯР ОИЯИ. Ток электронов на вольфрамовом конвекторе-диске диаметром 40 мм и толщиной 3 мм (1 мм в экспериментах с ксеноном), преобразующим поток электронов в гамма-кванты, в эксперименте с дейтерием составил $(7-8) \cdot 10^{13}c^{-1}$; в экспериментах с ксеноном - (1, 1 - 1, 3).

¹Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова, 141980 Дубна, Московская область, *mysh@jinr.ru*.

²Центр прикладных физических исследований, 141980 Дубна, Московская область, *cpfi@yandex.ru*.

 $^{^{3}{\}rm P}\Gamma\Pi$ Институт ядерной физики, 0500032, Казахстан, Алматы, fmp56@mail.ru.

 10^{14} с⁻¹. Диаметр пучка электронов был 6-7 мм. Расходимость пучка γ -квантов на полувысоте интенсивности составляла по горизонтали $10\pm1^{\circ}$ и $8\pm1^{\circ}$ по вертикали. За конвектором вплотную располагался изготовленный из дюраля алюминия Д16Т поглотитель электронов толщиной 25 мм в эксперименте с дейтерием и 12 мм в опытах с ксеноном. Облучения проводились в дневное время по 7-8 часов в день. Время облучения в эксперименте с дейтерием составило 18 часов. В опытах с ксеноном время облучение было от 43 до 72 часов.

A. $D + Pd + \gamma$

В эксперименте D+Pd+ γ использовалась камера, изображенная на рис. 1. Внутренний диаметр камеры был 0,4 см, длина 2,1 см, объем 0,264 см³. Образец палладия (9) диаметром 3,8 мм и длиной 4 мм имел чистоту ~99,995 %. Измеренный методом рентгеновского микро-зондового анализа (РМЗА) состав латунных втулки (8) и сборника (12) включал: Си – 59,61 и Zn – 40,39 (атом. %). После облучения с помощью методов растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновского микро-зондового анализа исследовался элементный состав внутренних поверхностей входного окна из бериллиевой бронзы (4), втулки, сборника, поверхности 46Pd-стержня, а также образовавшихся в результате облучений на внутренних поверхностях камеры аномальных структур и микрочастиц. На указанных поверхностях и в микрочастицах зарегистрированы следующие ранее отсутствовавшие в реакционной камере химические элементы: ₆C, ₈O, ₁₁Na, ₁₂Mg, ₁₃Al, 14Si, 16S, 17Cl, 19K, 20Ca, 22Ti, 24Cr, 26Fe, 27Co, 31Ga, ₃₅Br, ₄₅Rn, ₄₇Ag, ₇₈Pt, ₇₉Au и ₈₂Pb.



Рис. 1. Камера высокого давления дейтерия с образцом палладия.

Таблица I Усредненные концентрации химических элементов для микрочастиц и на поверхности латунного сборника

Элемент	С	0	Cu	Zn	$^{\rm Pb}$	%
Микрочастицы,	9,88	15,78	9,91	$7,\!88$	56,27	вес.
15 изм.	34,92	41,81	$6,\!63$	5,12	11,52	атом.
Поверхность	14,6	6,76	43,12	27,0	8,53	вес.
сборника, 8 изм.	43,91	15,24	$24,\!48$	14,9	$1,\!47$	атом.

Наиболее впечатляющим результатом данного эксперимента было обнаружение слоя свинца ₈₂Pb, покрывающего все внутренние поверхности реакционной



Рис. 2. Концентрации химических элементов, усредненные по 44 измерениям.





Рис. 3. РЭМ-изображения: a) эллиптическое образование; b) микрочастицы свинца.

камеры, и микрочастиц размером до 50 мкм, состоящих в основном из свинца. На рис. 2 представлены в атомных процентах усредненные концентрации химических элементов по 44-м РМЗА измерениям поверхности палладиевого стержня. Без учета палладия весовая концентрация свинца составляет ~36%, кислорода ~29%.

На рис.3 представлены РЭМ-изображения одного из обнаруженных на поверхности латунного сборника характерного эллиптического образования размером 17х22 мкм (рис.3а) и составляющих его отдельных микрочастиц (рис.3b). Концентрация свинца на площади ~5,3х6,3 мкм, отмеченной как "спектр 1" (рис.3а), со-



Рис. 4. Камера высокого давления ксенона. 1 - поток тормозных γ-квантов; 2 - корпус камеры; 3 - трубка водяного охлаждения; 4 - внешний пенал; 5 - передний и задний сборники; 6 - передняя и задняя втулки.

Таблица II Параметры облучений

	Nº	Давление,	Плотность,	Время	Интегральный
		бар.	a_{T}/c_{M}^{3}	облу-	поток
				чения,	электро-
				c.	HOB
	1	270	$7,30 \times 10^{21}$	$1,55 x 10^{5}$	$2,4x10^{19}$
2	2	250	$6,76 \times 10^{21}$	$2,17 x 10^5$	$4,4x10^{19}$
;	3	550	$1,49 \times 10^{22}$	$2,59 \times 10^5$	$4,74 \times 10^{19}$

ставляет 21,3 вес.%. Концентрации свинца, измеренные в точках т.1 и т.2 (рис.3b), равны 65,1 и 10,9 вес.%, соответственно. В точке т.3 свинец не обнаружен, в ней зарегистрированы только медь 62,9 и цинк 37,1 вес.%. В таб. 1 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.%. Концентрация свинца в областях рядом с микрочастицами менялась от 0 до 10,9 вес.%. В пяти измерениях из 23 (15+8) были зарегистрированы $_{14}$ Si, $_{20}$ Ca, $_{26}$ Fe.

Исходный вес Pd-стержня был 0,7509 гр. После облучения его вес уменьшился на 0,03245 гр, что составляет 4,3%. Авторы статьи [5] полагают, что уменьшение веса образца Pd в результате его облучения гамма-квантами в присутствии конденсированного дейтерия в основном обусловлено образованием свинца: 32450 мкг·36% = 11682 мкг или 3,4·10¹⁹ атомов Pb. Примесь Pb в образце палладия до облучения составляет < 5 ррт 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 ~1,2·10¹⁷, что $\ll 3, 4 \cdot 10^{19}$ ат. Pb. Механизм ядерных преобразований, приводящий к такому результату, неизвестен.

B. $Xe + \gamma$

В трех экспериментах по облучению гамма-квантами ксенона ${}_{54}Xe$ использовалась камера, изображенная на рис. 4. Внутренний диаметр камеры был 1 см, длина 5,8 см, объем 4,5 см³. В каждом эксперименте использовались свои реакционная камера и вкладыши

(рис. 4). Камеры и вкладыши были одинаковые. Внутренние втулки (6) и сборники (5) были изготовлены из алюминия. Камеры заполнялись ксеноном путем его ожижения при температуре $T_{\text{жид}}$ =-108 °C. Затем камеры отогревались до комнатной температуры. Отметим, что при полном заполнении всего внутреннего объема камеры жидким ксеноном, максимальное давление, которое можно получить, составляет P \approx 597 атм при атомной плотности $n_{Xe}^{\text{жид}} = 1.614 \cdot 10^{22}$ ат/см³. Давление ксенона после заполнения им камер контролировалось с помощью стандартного манометра перед началом облучения в течение нескольких суток. В табл.1 представлены параметры облучений.



Рис. 5. Усредненные концентрации химических элементов в эксперименте P=270 бар.



Рис. 6. Концентрации химических элементов, усредненные по трём экспериментам P=250, 270, 550 бар.

После окончания облучений часть газа из XeHPC перепускалась в откачанный до давления 10⁻⁴ Па газовый баллон с целью проведения последующего массового анализа для выяснения наличия или отсутствия вновь образовавшихся простых и молекулярных газов. В пределах чувствительности газового анализатора QMA-200 можно сделать вывод, что в процессе облучения новых газов в XeHPC не образуется. В пределах ошибки измерений на QMA-200 изотопный состав ксенона до и после облучения не отличался от табличных значений.

В результате облучений во всех трех экспериментах на внутренних поверхностях камер были обнаружены аномальных твердотельные структуры и микрочастицы.

В первом эксперименте P=270 бар из внутренней камеры высыпались примерно 20-30 визуально темных частиц до миллиметровых размеров. Во всех экспериментах наблюдалось, что внешние поверхности пеналов из Д16Т (4, рис.4), внутренние поверхности вкладышей и втулок из алюминия (5,6, рис.4), передние в большей степени, а задние в меньшей степени, покрыты зеленожелтым налётом. Общее количество спектров, полученных методом РМЗА, для конкретного эксперимента составляло несколько десятков. Первичная информация по спектрам содержится в статьях [27], [28], [29], [30].

На рис. 5 для эксперимента P=270 бар в виде гистограмм представлены усредненные концентрации химических элементов по 66 измерениям разных структур и микрочастиц.

Во всех экспериментах характерной особенностью распределений по химическим элементам является постоянное присутствие группы лёгких элементов с Z \leq 30, наличие группы элементов средних масс с $30 < Z \le 70$ и группы более тяжелых элементов с Z>70. По совокупности данных всех экспериментов можно утверждать, что в экспериментах синтезируются, в некотором приближении, "все элементы" таблицы Менделеева (рис.6). На рис.6 представлены концентрации химических элементов, усредненные по всем трём экспериментам Р=250, 270, 550 бар. В этом распределении использовались результаты 289 измерений разных структур и микрочастиц. Таким образом, в обнаруженных твердотельных структурах и микрочастицах зарегистрированы ранее отсутствовавшие в реакционных камерах химические элементы от углерода до актиния.

Особый интерес вызывал факт обнаружения в образцах радиоактивных элементов: технеция $_{43}$ Tc [30], франция $_{87}$ Fr [29] и актиния $_{89}$ Ac [29], [30]. Отсутствие в тех же образцах, в РМЗА измерениях возможных генераторов этих элементов: молибдена, радия, тория, говорит о том, что $_{43}$ Tc и $_{89}$ Ac синтезируются в реакции в конденсированном ксеноне с тормозными γ -квантами самостоятельно, как другие стабильные химические элементы [33]. Франций является продуктом распада актиния.

III. Реакции деления-слияния

Для объяснения образования "посторонних" элементов в микрообъектах в работах [28], [34] представлены возможные ядерные реакции деления и синтеза. Авторы этих работ в качестве начальной гипотезы предполагали, что под действием гамма-излучения, напрямую или опосредованно, происходит деление ядер палладия Pd и ядер ксенона Xe, осколки от которых вступают в реакцию слияния с основными элементами Pd и Xe. Ha первом этапе образуются элементы с зарядами ядер меньше, чем у $_{46}$ Pd и $_{54}$ Xe, на втором этапе образуются элементы с большими зарядами ядер. Авторы отдают себе отчет, что кроме большого кулоновского барьера при слиянии осколков с основными элементами, энергия этих реакций отрицательна. Это связано с более низкой энергией связи на нуклон у продуктов реакций, чем у их первичных участников. Оценим сечения деления изотопов палладия и ксенона, а также сечения последующих реакций слияния осколков, образовавшихся в результате деления, с изотопами Pd и Xe.



Рис. 7. Зависимость отношения ширин Гf/Гn при энергии возбуждения 11 МэВ от параметра делимости ${\rm Z}^2/{\rm A}.$

Известно, что для ядер с массовым числом А=100-200 барьер деления Bf находится в диапазоне 40-60 МэВ. Таким образом, деление этих ядер невозможно, даже при их возбуждении гамма-квантами с энергией 10 МэВ. Чтобы все-таки численно оценить сечение деления для изотопов палладия и ксенона, воспользуемся экстраполяцией на них отношения делительной ширины к ширине испускания нейтрона Гf/Гn для трансурановых ядер в области гигантского дипольного резонанса (ГДР), как функции параметра делимости Z^{2}/A . Для изотопов Pd энергии максимумов ГДР находится в диапазоне 15,7-16 МэВ, для изотопов Хе в диапазоне 15,2-15,5 МэВ. Ширины ГДР на полувысоте для изотопов Pd и Xe равны ~5 МэВ [35], [36]. Таким образом, полные ширины ГДР для изотопов Pd и Xe слабо перекрываются с энергиями тормозных γ -квантов < 10 МэВ.

В области трансурановых элементов основными каналами распада ГДР является вылет одного, двух нейтронов, одного протона и фотоделение: $\sigma(\gamma,n)$, $\sigma(\gamma,2n)$, $\sigma(\gamma,p)$, $\sigma(\gamma,f)$. Экспериментальное изучение и знание всех парциальных сечений реакции фоторасщепления дает возможность во всем энергетическом диапазоне ГДР определить величину Гf/Гn. На рис.7 для трансурановых ядер представлена зависимость отношения Гf/Гn, как функция параметра делимости Z^2/A при энергии возбуждения 11 МэВ [37]. При построении этого рисунка использовались экспериментальные данные фотоядерных реакций (кружки) и реакций с заряженными частицами (³He,df) и (³He,tf) – (квадраты). Из рисунка видно, что значение Гf/Гn экспоненциально уменьшается при переходе к более лёгким ядрам. При этом отношение Гf/Гn уменьшается, примерно, на порядок при уменьшении параметра делимости на единицу.

Деление ядер возможно только в том случае, когда ${\rm Z}^2/{\rm A}~>~17.$ Параметр делимости у $^{102}{\rm Pd}$ равен 20,7 и у ¹¹⁰Pd - 19,2. У изотопа ¹²⁴Xe он равен 23,5, а у $^{134}\rm{Xe}$ - 21,8. Таким образом, отношение Гf/Гn уменьшается для палладия в 10^{15} – 10^{17} раз, а для ксенона в $10^{13} - 10^{14}$ раз, по сравнению с 244 Ри, для которого Гf/Гn=1, а Z²/A=36,2 (рис.7). Пороги испарения нейтрона для изотопов Pd и Xe находятся в области 7-10 МэВ, а сечения при этих энергиях для изотопов Pd ~10 мбарн, для изотопов Xe в диапазоне 10-50 мбарн. Следовательно, при этих энергиях возбуждения сечение деления для изотопов Pd может составить величину ~ 10^{-41-43} см², для изотопов Хе $\sim~(1\,-\,5)\,\cdot\,10^{-39-40}~{\rm cm}^2.$ Следует помнить, что для трансурановых элементов величина барьера деления равна приблизительно 6 МэВ и она находится в области возбуждения ядер тормозными гамма-квантами до 10 МэВ, чего не скажешь про ядра палладия и ксенона. По этой причине сечения деления изотопов Pd и Xe могут быть существенно меньше указанных значений. Рассчитанный поток гамма-квантов в диапазоне 7-10 МэВ через внутренний объем палладиевой камеры составляет $\sim 7, 2 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$, через ксеноновую камеру $\sim 5,5{\cdot}10^{11}\,{\rm c}^{-1}.$ При указанных параметрах экспериментов с ксеноном общее количество делений за всё время облучений ($<2, 6 \cdot 10^5$ с) может составить величину до 40 событий. За время эксперимента с палладием одно его деление может произойти с вероятностью $\sim 10^{-4}$. Увеличение энергии возбуждения палладия до 15 МэВ за счет взаимодействия с термоядерными протонами и нейтронами [34] с интенсивностью, оцененной $\sim 10^5$ c^{-1} , также не приводит к существенному увеличению вероятности его деления.

Для оценки сечений реакций слияния палладия и ксенона с осколками от их деления, мы воспользовались программой nrv.jinr.ru/nrv/ [38]. Для определения энергии осколков деления палладия и ксенона и при анализе полученных результатов была использована специально созданная компьютерная программа "SINTUNZ" [39].

Программа "SINTUNZ" предназначена для расчетов вероятности появления атомных ядер-фрагментов (выходной канал), которые получаются при делении ядер или при распаде конгломерата, состоящего из многих атомных ядер (входной канал), с добавлением дополнительной энергии или без неё. Программа при



Рис. 8. Количество появлений элемента Z при делении на два фрагмента изотопа палладия $^{108}{\rm Pd}$ с добавлением во входной канал 10 МэВ.



Рис. 9. Количество появлений элемента Z при делении на два фрагмента изотопа ксенона $^{134}\rm Xe$ с добавлением во входной канал 10 МэВ.

расчетах отбирает только те ядерные реакции, которые идут с выделением энергии Q \geq 0. Выделение энергии в реакциях идёт за счет разницы в суммах масс атомов во входном и выходном каналах реакции. Для анализа возможных реакций использовались справочники нуклидов [40], [41]. Важно отметить, что таблица нуклидов до Z=118 в программе "SINTUNZ" включает только стабильные и радиоактивные изотопы с периодом полураспада больше 10 лет или, в случае отсутствия стабильных изотопов, берётся изотоп с максимальным временем жизни. Тем самым, мы полагаем, что вся энергия реакции выделяется в виде кинетической энергии осколков. В энергетическом балансе реакций учитывается не только масса ядер, но и масса *l* электронов. Кроме того, по формуле $E_A = 16Z^{7/3}$ в рамках модели Томаса-Ферми [42] учитывается энергия связи электронов в атомах. По техническим возможностям программа делает расчет для реакций с двумя и



Рис. 10. Максимальные энергии фрагментов с зарядом Z при делении ядра $^{106}\mathrm{Pd}$ и $^{134}\mathrm{Xe}$ с добавленной энергией 10 МэВ. Высота кулоновского барьера при взаимодействии ядра с зарядом Z с ядрами Pd и Xe.

тремя выходными нуклидами, т.е. рассматриваются все реакции:

$$\begin{split} &\sum_{i} c_{i} \frac{N_{i}}{Z_{i}} A_{i} + le^{-} = \frac{N_{1}}{Z_{1}} B_{1} + \frac{N_{2}}{Z_{2}} B_{2} + l\nu_{e} + Q, \\ &\sum_{i} c_{i} \frac{N_{i}}{Z_{i}} A_{i} = \frac{N_{1}}{Z_{1}} B_{1} + \frac{N_{2}}{Z_{2}} B_{2} + le^{-} + l\tilde{\nu}_{e} + Q, \\ &\sum_{i} c_{i} \frac{N_{i}}{Z_{i}} A_{i} + le^{-} = \frac{N_{1}}{Z_{1}} B_{1} + \frac{N_{2}}{Z_{2}} B_{2} + \frac{N_{3}}{Z_{3}} B_{3} + l\nu_{e} + Q \\ &\sum_{i} c_{i} \frac{N_{i}}{Z_{i}} A_{i} = \frac{N_{1}}{Z_{1}} B_{1} + \frac{N_{2}}{Z_{2}} B_{2} + \frac{N_{3}}{Z_{3}} B_{3} + le^{-} + l\tilde{\nu}_{e} + Q \end{split}$$

где ${}^{N}_{Z}A$, ${}^{N}_{Z}B$ - нуклиды с зарядом Z и количеством нуклонов N; le^- , $l\nu_E$, $l\tilde{\nu}_e$: l - количество электронов, нейтрино и антинейтрино, соответственно. Нейтрино и антинейтрино появляются в уравнениях реакций для сохранения лептонного заряда. Однако их вклад в энергетический баланс реакций не учитывается. 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 $Q \ge 0$.

На рис.8 и рис.9 представлены расчеты, дающие количество появлений элемента Z при делении на два фрагмента изотопа палладия ¹⁰⁸Pd и изотопа ксенона ¹³⁴Хе с добавлением во входной канал энергии равной 10 МэВ. На рис.10 даны максимальные энергии этих фрагментов. На том же рисунке 10 изображена высота кулоновского барьера при взаимодействии ядра зарядом Z с ядрами палладия и ксенона. Максимальная энергия протона р, вылетающего при распаде ядра ¹³⁴Хе, составляет 1,7 МэВ, максимальные энергии: гелия ⁴He - 8 МэВ, углерода ¹²С - 10 МэВ. Сечения реакций слияния ксенона с ними, рассчитанные по программе [38], составляют: σ (p)=10⁻³⁷ см², σ (⁴He)=10⁻³² cm^2 и $\sigma(^{12}C)=10^{-67}$ см². Наибольшее сечение реакции слияния палладия с осколками от его деления имеет ядро гелия с энергией 4,4 МэВ и оно равно 10^{-42} см².

Таким образом, становится очевидным, что в результате ядерных реакций деления изотопов палладия и ксенона на осколки и их слияние с Pd и Xe невозможно получить химические элементы, синтезированные в реакциях с конденсированными газами, облучаемые тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Изотопы Pd и Xe не делятся, а гипотетические осколки с ними не сливаются.

IV. Многоядерные реакции

Следовательно, для объяснения появления всего многообразия синтезированных элементов, требуется предложить другой механизм ядерных преобразований. В работе [29] указывалось, что "для объяснения обнаруженных аномалий в образовании новых химических элементов необходимо привлечь коллективные ядерные реакции".

Предположим, что в среде конденсированного дейтерия с палладием и конденсированного ксенона при облучении последних гамма-квантами возникают локальные области, в которых создаются условия для слияния нескольких ядер палладия или ксенона в общий конгломерат. В последующем этот конгломерат распадается на другие ядра-фрагменты.

В демонстрационных расчетах для получения свинца ${}_{82}$ Pb и актиния ${}_{89}$ Ac, обнаруженных в экспериментах, мы использовали во входном канале наиболее тяжелые элементы, присутствующие в реакционных камерах – ${}_{46}$ Pd и ${}_{54}$ Xe. При выборе между наиболее тяжелым изотопом (110 Pd, 136 Xe) и наиболее распространенным изотопом (106 Pd, 132 Xe) был принят промежуточный вариант 108 Pd и 134 Xe.



Рис. 11. Количество появлений элемента Z в комбинациях с двумя фрагментами в выходном канале реакции ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd без добавленной энергии.

На рис.11 и рис.12 представлены расчеты, сделанные программой "SINTUNZ", дающий количество появлений элемента Z в выходных каналах реакций ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd и ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe без дополнительной энергии. Интересно, что в этих реакциях комбинаций, со-



Рис. 12. Количество появлений элемента Z в комбинациях с двумя фрагментами в выходном канале реакции ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe без добавленной энергии.



Рис. 13. Зависимость энергии связи на нуклон в ядрах от заряда ядра Z.

стоящих из двух нуклидов с положительным энергобалансом в выходном канале Q≥0, не существует. Зато существуют комбинации, состоящие из трех нуклидов в выходном канале (рис.11 и рис.12). Приведем две реакции:

Комбинации из двух нуклидов начинают появляться, если во входной канал добавить энергию. Например, если во входной канал добавить энергию, равную 10 МэВ, то в реакции ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd появляются элементы от криптона до ксенона (Z от 36 до 54), а в реакции ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe появляются элементы от олова до самария (Z от 50 до 62). Приведем две реакции:



Рис. 14. Количество появлений элемента Z для комбинаций с двумя и тремя фрагментами в выходном канале реакции с добавленной энергией 200 МэВ и без неё.



Рис. 15. Элемент с максимальным зарядом Zmax, получающийся в реакциях $^{134}\rm Xe+^{134}Xe$ и $^{108}\rm Pd+^{108}Pd$ с добавленной энергией E во входном канале.

Предварительное заключение о поведении таких распадов можно сделать из рассмотрения зависимости энергии связи на нуклон в ядрах от заряда ядра (рис.13). Так, чтобы в выходном канале реакции $^{134}Xe^{+134}Xe$ получить элемент более тяжелый, с большим зарядом Z>54, но с меньшей энергией связи на нуклон, во входной канал надо добавить энергию, компенсирующую энергетические потери из-за второго фрагмента с меньшим зарядом Z с большей энергией связи, но менее тяжелого. То же справедливо для реакции $^{108}Pd^{+108}Pd$. Энергетические потери можно компенсировать и по-другому, если в выходной канал добавить третий фрагмент. Следует обратить внимание



Рис. 16. Элемент с максимальным зарядом Zmax., получающийся в реакции $n\cdot{}^{16}O$ + ${}^{108}Pd$ и $n\cdot{}^{12}$ + ${}^{134}Xe.$



Рис. 17. Элемент с максимальным зарядом $Z_{max},$ получающийся в реакции ${}_ZA+\,{}^{134}Xe$ и ${}_ZA+\,{}^{108}Pd.$



Рис. 18. Электровзрыв титановой фольги в перекиси водорода в установке Уруцкоева.



Рис. 19. Электрический разряд в дистиллированной воде в установке Вачаева-Иванова.



Рис. 20. Ультразвуковая кавитация раствора LiCl в течение 24 часов, Кладов.



Рис. 21. Ультразвуковая кавитация раствора CsCl в течение 360 часов, Кладов.

на полученные при расчёте ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe значительные четно-нечетные колебания по заряду элементов в выходных каналах реакций (рис.11 и рис.12). В какойто степени, подобные колебания можно обнаружить на



Рис. 22. Электронный взрыв меди, Протон-21, Киев

рис. 6, демонстрирующим экспериментально полученное содержание химических элементов в образцах в экспериментах с Хе.

С увеличением добавленной энергии будет расти набор элементов в выходном канале как для комбинаций с двумя нуклидами, так и для комбинаций с тремя нуклидами. Так же будет увеличиваться максимальный заряд ядра Z_{max} , получающегося в реакции. На рис.14 представлено количество появлений элемента Z для комбинаций с двумя и тремя фрагментами в выходном канале реакции ¹³⁴Xe + ¹³⁴Xe с добавленной энергией 200 МэВ и без неё. Для лучшего восприятия на рисунке показаны только четные элементы. Из рисунка видно, что при добавлении во входной канал энергии 200 МэВ в наборе элементов, по сравнению без добавления энергии, дополнительно появляются нуклиды от водорода до углерода и от диспрозия до америция (₆₆Dy – ₉₅Am). Если во входной канал добавить энергию 10 МэВ, то химическим элементом с максимальным зарядом ядра, который можно получить в реакции, является эрбий $(_{68}\text{Er}).$

На рис.15 даны зависимости появления химического элемента с максимальным зарядом ядра Z_{max} , получающегося с двумя и тремя выходными фрагментами в реакциях ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd и ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe, от добавленной энергией Е во входном канале. Элемент свинец ⁸²Pb можно получить в реакции ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd, если во входной канал добавить энергию 160 МэВ. Если во входной канал реакции ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe добавить такую же энергию 160 МэВ, то можно получить актиний ⁸⁹Ac.

В работе [27] было высказано предположение, что атомы конденсированного ксенона при их облучении гамма-квантами создают систему, черпающую энергию из "темной" материи и "темной" энергии. По мере увеличения экспериментальных данных, их обработки и осмысления возникло ощущение, что в реакциях гамма-излучения с конденсированными газами нарушается закон сохранения энергии-материи.

Другим способом получения "посторонних" химических элементов, как говорилось выше и в [39], является создание конгломерата, состоящего из нескольких ядер палладия или ксенона, с последующим его распадом на другие ядра-фрагменты. Если во входном канале участвует три и более атомов Pd или Xe, то программа "SINTUNZ" не дает никаких комбинаций, состоящих из двух и трёх нуклидов в выходном канале. Это обстоятельство, очевидно, связано с программным ограничением - это не более трех нуклидов в выходном канале. Эту трудность можно преодолеть следующим образом. В выходном канале реакции ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd (рис.11) всегда присутствуют элементы с энергией связи на нуклон меньше, чем у палладия: от кислорода до кальция и от серебра до теллура. В выходном канале реакции ¹³⁴Xe+¹³⁴Xe (рис. 12) присутствуют элементы с энергией меньше, чем у ксенона: от углерода до алюминия и от цезия до диспрозия (рис.13). Следовательно, чтобы получить химические элементы тяжелее теллура в случае Pd и тяжелее диспрозия в случае Xe, во входной канал вторичных реакций необходимо включить последние указанные элементы. Следует отменить, что наиболее легким элементом, получающимся в выходном канале реакции ¹⁰⁸Pd+¹⁰⁸Pd, является кислород ¹⁶О (рис.11). Этот элемент имеет наибольший выход в эксперименте γ +Pd+D [5] (рис.2). В расчете реакции 134 Xe $+^{134}$ Xe наиболее легкий элемент – это углерод 12 C (рис.12). Он имеет наибольший выход в эксперименте $\gamma + Xe$ (рис.5,6). На рис.16 представлены зависимости появлений химических элементов с максимальным зарядом ядра Z_{max} , получающихся в реакциях
п ^{16}O + ^{108}Pd и п \cdot ¹²C + ^{134}Xe , от количества ядер кислорода и углерода – n во входном канале. При расчете дополнительная энергия во входной канал не добавлялась. Из рисунка видно, что наиболее тяжелый элемент, который получается в реакциях ксенона с углеродом, является астат ₈₅At. Астат ²¹⁰At имеет энергию связи на нуклон равную 7,812 МэВ, следующий за ним радон 222 Rn – 7,695 МэВ, а ксенон 134 Хе – 8,414 МэВ и углерод – 7,68 МэВ. Следовательно, чтобы получить элементы тяжелее астата, во входной канал реакции нужно добавлять элементы легче углерода, имеющие меньшую энергию связи на нуклон.

Можно пойти другим путем – добавлять во входной канал не легкие элементы, а элементы Z_A более тяжелые, с меньшей энергией связи на нуклон, чем у палладия и у ксенона. На рис.17 представлены зависимости появления химического элемента с Z_{max}, получающегося в реакциях $Z_A + {}^{108}Pd$ и $Z_A + {}^{134}Xe$, от заряда ядра. При расчете дополнительная энергия во входной канал не добавлялась. Так, если в реакции участвуют два атома ксенона, то, как уже говорилось, элементом с Z_{max} является диспрозий Dy. Если в реакции участвуют атом диспрозия и атом ксенона, то Z_{max}=76 это осмий Os, если в реакции участвуют атом осмия и атом ксенона, то Z_{max}=85 – это астат At и так далее (рис.17). Следовательно, чтобы получить ядра актиния $_{89}$ Ac, зарегистрированные в экспериментах Xe+ γ [29], [30], нужно реализовать цепочку реакций:

Если предположить одномоментное получение ядра актиния, то во входном канале коллективных ядерных преобразований необходимо иметь, по крайне мере, шесть атомов ксенона: $6 \cdot {}^{134}Xe \rightarrow {}_{89}Ac + \sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i}B_i$. Чтобы получить ядро свинца ${}_{82}$ Рb в реакциях

ттобы получить ядро свинца $_{82}$ го в реакция: D+Pd+ γ [5], нужно реализовать цепочку реакций:

$$\overset{108}{\rightarrow} Pd + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{52}Te + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{58}Ce + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{62}Sm + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{66}Dy + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{70}Yb + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{74}W + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{78}Pt + \overset{108}{\rightarrow} Pd \rightarrow {}_{82}Pb.$$

Для одномоментного получения ядра свинца во входном канале коллективных ядерных реакций необходимо иметь девять атомов палладия:

$$9 \cdot {}^{108}Pd \rightarrow {}_{82}Pb + \sum_i c_i {}^{N_i}_{Z_i} B_i.$$

Таким образом, чтобы в процессе облучения гаммаквантами конденсированного дейтерия в присутствии палладия получить свинец, а в конденсированном ксеноне получить актиний, необходимо, чтобы в этих реакциях осуществлялся механизм многоядерных взаимодействий. Единственными, в настоящее время, экспериментально установленными процессами, в которых протекают такие реакции, являются низкоэнергетические ядерные реакции, а именно, холодный ядерный синтез и низкоэнергетическая трансмутация химических элементов.

V. Низкоэнергетическая трансмутация химических элементов

Проводя проверочные эксперименты опытов Уруцкоева Л.И. и др. [43], авторы [39] обратили внимание на то обстоятельство, что в продуктах трансмутации наблюдаются увеличенное содержание элементов от лития до цинка и повышенный выход некоторых элементов, в частности; марганца, сурьмы и свинца. Последующий анализ экспериментальных данных реакций трансмутации [39], [44], полученных разными авторами на разных установках, подтвердил вышеуказанную закономерность.

В спектрах продуктов трансмутации всегда присутствует группа легких элементов от лития до цинка, группа средних масс с зарядом ядра Z от 30 до 70. Эта группа представлена элементами близкими по заряду ядра к олову-сурьме. В спектрах продуктов трансмутации имеется группа тяжелых элементов с Z больше 70, в которой, практически всегда, присутствует свинец. Во многих работах указывалось, что появление элементов олова и свинца обусловлено ядерными, "магическими" оболочками с количеством протонов равным 50 для олова и 82 для свинца, и количеством нейтронов для свинца равным 126. На рисунках 18-22 представлены результаты разных экспериментов по трансмутации элементов: электровзрывы металлических фольг в жидкой диэлектрической среде [39], [43]; электрический разряд в водноминеральной среде [45]; ультразвуковая кавитация водных солевых растворов [46]; взрывы металлических мишеней пучком электронов: линии – концентрации, усредненные по 15 пробам, звезды – максимальная концентрация из 15 проб [47].

Следует сравнить рисунки 2 и 5 с рисунками 18-20 и 22, а также рисунок 6 с рисунком 21.

VI. Получение сверхтяжелых элементов

Систематизируя распределения химических элементов, полученные в процессах трансмутации разными авторами, складывается впечатление, что наряду с преимущественным получением "магических" элементов, появление элементов из одной химической группы также носит предпочтительный характер. Такой эффект характерен для щелочных и щелочноземельных элементов, для Mo-W. Наиболее ярко, этот эффект проявляется для олова и свинца, которые одновременно являются "магическими" элементами и элементами, принадлежащими одной группе. Если рассматривать трансмутацию, как возможный способ получения сверхтяжелых элементов с Z>100 [44], [48], то следует ожидать, что сначала будут образовываться элементы с замкнутыми оболочками, например: Z=114 и N=184 [49]. Примечательно, что элемент Z=114 является эка-свинцом, т.е. принадлежит к одной группе с Sn и Pb. Последнее обстоятельство, согласно систематике, повышает вероятность его появления в продуктах трансмутации.

Теоретические расчеты, выполненные разными авторами, предсказывают существование сверхтяжелых ядер с другими замкнутыми оболочками: Z=126, N=184 [50] и Z=108, N=162 (N=184) [51]. Периоды полураспада сверхтяжёлых ядер, расположенных вокруг ядер с "магическими" числами, могут составлять от десятков до миллиардов лет. Последнее значение периода полураспада дает основание надеяться на обнаружение сверхтяжёлых элементов в природе [52]. На сегодняшний день самым тяжелым синтезированным элементом является элемент оганесон ⁽²⁹⁴⁾Og с Z=118 (²⁴⁹Cf + ⁴⁸Ca) [53]. Проводятся эксперименты по синтезу 120-го элемента в реакциях: ²⁴⁹Cf + ⁵⁰Ti и ²⁴⁸Cm + ⁵⁴Cr.

Сверхтяжелые ядра с замкнутыми нейтронными оболочками невозможно получить в реакциях с тяжелыми ионами с имеющимся в настоящее время набором как стабильных, так и радиоактивных изотопов (ядро мишень + бомбардирующее ядро). С имеющимся набором изотопов становится все труднее синтезировать сверхтяжелые элементы. Поэтому, синтез в макроколичествах сверхтяжелых элементов с помощью низкоэнергетической трансмутации открывает возможности не только для исследования их физико-химических свойств и их промышленного использования, но и для получения более тяжелых элементов с Z>118. В последнем случае сверхтяжелые элементы можно использовать в качестве мишени в реакциях с тяжелыми ионами.



Рис. 23. Количество появлений четных элементов Z в комбинациях с двумя фрагментами в выходном канале реакций: $^{209}Bi + ^{209}Bi n ^{238}U + ^{238}U$, без добавленной энергии.

На рис. 23 представлены расчеты, сделанные с помощью программы "SINTUNZ", дающий количество появлений элемента Z в выходных каналах реакций $^{209}Bi + ^{209}Bi$ и $^{238}_{92}U + ^{238}_{92}U$ без дополнительной энергии. В реакции $^{209}Bi + ^{209}Bi$ элементом, получающимся с максимальным зарядом ядра, является резерфордий Rf с Z=104. Таким элементом в реакции $^{238}U + ^{238}U$ является элемент с Z=124. Элемент Z=124 можно получить в реакции $^{209}Bi + ^{268}Rf$ ($^{3.209}Bi$) или в реакции $^{209}Bi + ^{209}Bi + 180$ МэВ. В последних расчетах таблица заданных элементов в программе "SINTUNZ" была экстраполирована до Z=130.

Указание на получение сверхтяжелых элементов в процессе трансмутации представлено в работах украинской лаборатории "Протон-21" [47]. Так, в экспериментах с мишенями, изготовленными из Pt, Pb и Bi, при анализе элементного состава продуктов трансмутации в массовых спектрах обнаружены изотопы тяжелых химических элементов с атомными массами на границе и за пределами известной части Периодической таблицы. Эти массы не поддаются интерпретации и идентификации, поскольку они отсутствуют среди всех известных изотопных комбинаций, приведенных в типовых каталогах. Так же, обнаружены неидентифицируемые пики рентгеновского и Оже-излучений.

Следует помнить, что Дидык А.Ю. высказывал идею о возможности синтеза сверхтяжелых элементов в реакциях гамма-квантов с конденсированными газами, растворенными в металлах. Более того, в эксперименте D+Pd+ γ [5] (см. II), с помощью рентгеновского микро-зондового анализа (РМЗА), вторичной ионной и газоразрядной масс-спектрометрии и альфаспектроскопии, зарегистрированы такие элементы как протактиний 91*Pa* (обнаружен в РМЗА) и, вероятно, кюрий ${}_{96}Cm$ [54]. Эти элементы практически отсутствуют в природе. Возможно, в этом эксперименте элементы ${}_{91}Pa$ и ${}_{96}Cm$ являются продуктами вторичных реакций, в которых во входном канале участвуют атомы свинца ${}_{82}Pb$, синтезированные в реакции D+Pd+ γ в огромном количестве. Сделанный расчет реакции ${}_{82}^{208}Pb + {}_{82}^{208}Pb$ дает элемент с максимальным зарядом ядра Z=102. Это – нобелий ${}_{102}^{(264)}No$.

VII. Заключение

В многочисленных экспериментах по облучению тормозными гамма-квантами конденсированных газов в присутствии или отсутствии металлических образцов внутри реакционных камер в них были обнаружены необычные твердотельные структуры, которые содержат "посторонние" химические элементы. Диапазон синтезированных химических элементов простирается от углерода до висмута. В отдельных экспериментах синтезированы радиоактивные элементы: технеций, актиний, протактиний и, вероятно, кюрий.

Обнаруженные химические элементы невозможно получить в реакциях "деление-синтез" изотопов палладия и ксенона на осколки с последующим их слиянием с Pd и Xe. Очевидно, механизм "деление-синтез" не работает при синтезе посторонних элементах во всех других проведенных экспериментах – при облучении гаммаквантами других газов с другими металлическими образцами внутри реакционных камер.

Для объяснения появления всего многообразия синтезированных элементов предложен механизм многоядерных преобразований. Для моделирования многоядерных процессов использовалась специально созданная компьютерная программа "SINTUNZ". Расчеты, сделанные с помощью программы "SINTUNZ", показали возможность синтеза химических элементов в широком диапазоне зарядов и масс как с привлечением во входной канал реакции дополнительной энергии, так и с осуществлением коллективных ядерных преобразованиях.

Синтез "посторонних" элементов во внутреннем объёме реакционных камер определяется электромагнитным взаимодействием гамма-излучения с конденсированными газами и с атомами металлов, окружающих газ. Взаимодействие гамма-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 ионизуют атомы газа и атомы материалов, окружающих газ. Таким образом, в облучаемом объёме создается неравновесная, плотная плазма с высокой температурой электронов. В среде ионизированных, конденсированных газов и в приповерхностных областях конструкционных материалов реакционных камер возникают локальные области – "капсулы" [48], [55], в которых создаются условия для слияния нескольких атомов газов и атомов материалов и их ядер в общий конгломерат, который распадается на другие ядра-фрагменты [56], [57].

При облучении тормозными гамма-квантами конденсированных газов внутри реакционных камер протекают низкоэнергетические ядерные реакции [39], [43], [44], [45], [46], [47], [55].

Список литературы

- Didyk A.Yu., Wiśniewski R. Nuclear reactions, induced by gamma quanta, in palladium saturated with deuterium surrounded by dense deuterium gas. *Euro. Phys. Lett.*, 99:P.22001–P1–22001–P6, 2012.
- [2] Didyk A.Yu., 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., 9:615–631, 2012.
- [3] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Синтез новых структур в плотном газообразном дейтерии и насыщенном дейтерием палладии при ядерных реакциях, инициированных уквантами. Физика и химия обработки материалов, (5):5– 13, 2012. Препринт ОИЯИ P15-2012-50. Дубна, 2012. 16
- [4] Didyk A.Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T., and Shilov V.M. Changes in the Chemical Composition of Nuclear Reaction Products Irradiated with 10 MeV γ-Quanta in Deuterium Saturated Palladium. J. Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 8(6):1100–1112, 2014.
- [5] Дидык А.Ю., Вишневский Р., Вилчинска-Китовска Т. Изменения структуры поверхности и элементного состава Рd-стержня и сборника продуктов ядерных реакций при облучении 10-МэВ gamma-квантами в плотном дейтерии. Письма ЭЧАЯ, 10(7(184)):1304–1326, 2013. Didyk A.Yu., Wiśniewski R. Nuclear reactions in deuterium-saturated palladium under irradiation by 10 MeV γ-quanta in dense molecular deuterium at 1,2 kbar pressure. Euro. Phys. Lett., 2013. 103 P.42002-P1-42002-P6.
- [6] Белов А.Г. Микротрон МТ-25, Рабочее совещание по использованию микротронов в ядерной физики. Пловдив. 22-24 сентября 1992. Д15-93-80, с.12-19. Дубна, 1993.
- [7] Дидык А.Ю., 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, (5):5–13, 2012.
- [8] Didyk A.Yu., 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, (3 (4)):209-217, 2013.
- [9] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Изменения поверхности, объемных свойств образцов ванадия и нержавеющей стали, облученных в плотном газообразном дейтерии у-квантами с пороговой энергией 23МэВ. Препринт ОИЯИ P15-2012-75. Дубна, 2012. 15 с.
- [10] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Результаты по облучению алюминия и гомогенного сплава YMn2 *γ*-квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар. Писъма в ЭЧАЯ, 11(3(187)):284–298, 2014.
- [11] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Результаты по облучению нержавеющей стали и меди у-квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар. *Phys. Part. Nucl. Lett.*, (3):309–328, 2014.
- [12] Didyk A.Yu., 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.*, 11(4):513–527, 2014. Преприят ОИЯИ P15-2013-80. Дубна, 2013. 32 с.
- [13] Didyk A.Yu. and Wiśniewski R. Synthesis of New Structures on the Surface of Pd Rod and HHPC 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.*,

12(4):603–617, 2015. Препринт ОИЯИ Р15-2014-6. Дубна, 2014. 34 с.

- [14] Дидык А.Ю., 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 Р15-2014-89, Дубна, 2014, 26 с.
- [15] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Ядерные реакции с синтезом микрочастиц в ННРС 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.
- [16] Дидык А.Ю., Вишневский Р., Вилчиньска-Китовска Т., Исхакова Л.Д. 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.
- [17] Дидык А.Ю., Вишневский Р., Семин В.А. 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.
- [18] Дидык А.Ю., Вишневский Р., Семин В.А. 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.
- [19] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Химический состав и структура синтезированных частиц на поверхности ННРС при ядерных реакциях при облучении тормозными γ-квантами с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0,5 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2014-7. Дубна, 2014. 24 стр.
- [20] Didyk A.Yu. and 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). Physics of Particles and Nuclei Letters, 12(1):125–144, 2015.
- [21] Didyk A.Yu. and 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 2). *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 12(1):145–165, 2015.
- [22] Didyk A.Yu., Wiśniewski R. and 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. *Euro. Phys. Lett.*, 109:P.22001–P.1–22001–P.6, 2015.
- [23] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Свойства структур на основе углерода, синтезированных в ядерных реакциях в гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучении тормозными γквантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ P15-2014-38. Дубна, 2014. 40 стр.
- [24] Дидык А.Ю., Вишневский Р. Ядерные реакции, синтез химических элементов и новых структур в плотном гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучении тормозными *γ*квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ P15-2014-50. Дубна, 2014. 40 стр.
- [25] Дидык А.Ю., Вишневский 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.
- [26] Дидык А.Ю., Гульбекян Г.Г., Мышинский Г.В. 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.
- [27] Дидык А.Ю., Гульбекян Г.Г., Мышинский Г.В. Исследование изменений элементного состава и структуры поверхностей при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными *γ*-квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ P15-2015-72. Дубна, 2015. 32 с.
- [28] Дидык А,Ю., Гульбекян Г.Г., Г.В. Мышинский Г.В. 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.

- [29] Дидык А.Ю., Гульбекян Г.Г., Мышинский Г.В., Сабельников А.В. 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, 49 с.
- [30] Didyk A.Yu., Gulbekian G.G., Mishynski G.V., 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.
- [31] Дидык А.Ю. Ядерные реакции синтеза и деления химических элементов и образование новых структур в плотных газах H2, D2 и Не при облучении 10 МэВ-ными γ-квантами. Физики и химия обработки материалов, (2):5–19, 2015.
- [32] Wiśniewski R., Didyk A.Yu. Synthesis of New Structures and Substances in Dense Gases H2, D2 and He under Irradiation by Braking 10MeV γ-rays in CuBe2 Pressure Chamber. 2016, JPSA, 6(4) 13-21.
- [33] Р. Вишневский, Г.В. Мышинский, Г.Г. Гульбекян, Т. Вилчиньска-Китовска, В.А. Семин. Синтез химических элементов и твердотельных структур при облучении гамма квантами конденсированных газов. Журнал Формирующихся Направлений Науки, 5(17), 2017.
- [34] Didyk A.Yu., Wisniewski R. Phenomenological Nuclear-Reaction Description in Deuterium-Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas under γ-Quanta Irradiation. Письма ЭЧАЯ, 10(3(180)):437–457, 2013.
- [35] Steinwedel H., Jensen J.H.D. Z Naturforsch., 5a:413, 1950.
- [36] Вегтап В. L., Fultz S. C. Rev. Mod. Phys., 47(3):713, 1975.
 [37] В.Варламов, В.В.Сургутов, Ю.М.Ципенюк, А.П.Черняев. Фотоядерные данные. Деление тяжелых ядер. Изд. Московский университет, М., 1983. с.212.
- [38] Загребаев В.И. и др., http://nrv.jinr.ru/nrv/
- [39] Kuznetsov V.D., Mishinsky G.V., Penkov F.M., Arbuzov V.I., Zhemenik V.I. Low Energy Transmutation of Atomic Nuclei of Chemical Elements. Annales de la Fondation Louis de Broglie, 28(2):173-214, 2003.
- [40] Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. Наукова думка, Киев, 1975.
- [41] Audi G., Wapstra A.H., and Thibault C. Nucl. Phys. A, 729:337–676, 2003.
- [42] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Наука, Москва, 1974.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] Вачаев А.В., Иванов Н.И., Павлова Г.А. Взаимопревращение химических элементов. Сборник статей, под ред. Балакирева В.Ф. УрО РАН, Екатеринбург, 2003. 28-48.
- [46] Кладов А.Ф. Кавитационная деструкция материи, http://roslo.narod.ru/rao/rao1.htm.
- [47] Адаменко С.В. и др. http://www.proton21.com.ua /articles/Booklet_ru.pdf. Controlled Nucleosynthesis Breakthroughs in Experiment and Theory, Editors Adamenko S.V., Selleri F., A. van der Merwe, Series: Fundamental theories in Physics, Springer, 007, v.156, p.780.
- [48] Мышинский Г.В. Сходство между реакциями трансмутации и ядерными реакциями, Материалы 15-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов, М., 2009, с.123-129.
- [49] Sobiczewski A, Gareev F.A, Kalinkin B.N. Physics Letters, 22(4):500–503, 1966.
- [50] Cwiok S., Dobaczewski J., Heenen P.-H., Magierski P., Nazarewicz W. Nuclear Physics A, 611:211–246, 1996.
- [51] Smolanczuk R. Phys. Rev. C, 56:812-824, 1997.
- [52] Dmitriev S.N., Oganessian Yu.Ts., Itkis M.G. Nuclear and Radiochemical Sciences, 3(1):125–127, 2002.
- [53] Oganessian Yu.Ts., Utyokov V.K., Lobanov Yu.V. et. al. Phys. Rev. C, 74:044602, 2006.

- [54] Дидык А.Ю., Конарски П., Сабельников А.В., Вишневский Р., Образование Ра и Ст при облучении палладиевого стержня в DHPC, заполненной молекулярным дейтерием при давлении 1,2 кбар, тормозным излучением с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-78. Дубна, 39 с.
- [55] Мышинский Г.В. Трансатомы трансядра, и их свойства, Материалы 18-й Российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов, М., 2012, с.94-106.
- [56] Мышинский Г.В. Многоядерные реакции в конденсированном гелии. Журнал Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии (РЭНСИТ), 9(1):94–105, 2017.
- [57] Мышинский Г.В. Магнитные поля трансатомов. Спиновыйнуклидный-электронный конденсат. Журнал Формирующихся Направлений Науки, 5(15-16):6–25, 2017.