

P15-2015-72

А. Ю. Дидык, Г. Г. Гульбежян, Г. В. Мышинский

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ
ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
И СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ
ПЛОТНОГО КСЕНОНА (270 атм)
ТОРМОЗНЫМИ γ -КВАНТАМИ
С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ

Направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ»

Дидык А. Ю., Гульбекян Г. Г., Мышинский Г. В. P15-2015-72

Исследование изменений элементного состава и структуры поверхностей при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ

Естественный ксенон при начальном давлении 270 атм в камере высокого давления (XeHPC) был облучен в течение 43 ч тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ на ускорителе электронов MT-25 при средних интенсивностях пучка 20–22 мкА. При открывании XeHPC внутренняя сборка, без ксенона, была установлена на германиевый прецизионный γ -детектор (HPGe-Canberra) для 15-ч измерений γ -спектров радионуклидов, образовавшихся в XeHPC, и фона. Представлены результаты по γ -активационному анализу соответствующих короткоживущих радионуклидов. Визуальный осмотр внутренней сборки показал, что на ее элементах поверхность покрылась налетом зеленовато-желтого цвета. РЭМ-исследования и рентгеновский зондовый микроанализ (РЗМА) позволили определить состав обнаруженных синтезированных микрообъектов и микрочастиц. Для объяснения обнаруженных аномалий в образовании новых элементов в микрочастицах и микрообъектах представлены возможные ядерные реакции деления и синтеза.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2015

Didyk A. Yu., Gulbekyan G. G., Myshinskiy G. V. P15-2015-72

A Study of the Element Composition and Surface Structure Changes during Irradiation of Dense Xenon (270 atm) by Braking γ -Rays with a Maximum Energy of 10 MeV

Natural xenon at an initial pressure of 270 atm in the high-pressure chamber (XeHPC) was irradiated for 43 hours by braking γ -rays with a threshold energy of 10 MeV at the MT-25 electron accelerator at an average beam intensity of 20–22 μ A. The results on gamma activation analysis of the relevant short-lived radionuclides are presented. When opening the XeHPC, the internal assembly without xenon was installed on the precision germanium γ -detector (HPGe-Canberra) for 15-hour measurements of γ -spectra of radionuclides formed in XeHPC, and the background. Visual inspection of the inside of the assembly revealed that its surface was covered with a thin film of greenish-yellow color. SEM studies and X-ray probe microanalysis (XRPMA) have allowed us to determine the composition of the synthesized microparticles. To explain the observed anomalies in the formation of new elements in the microparticles and microobjects, possible nuclear fission and fusion reactions are presented.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2015

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] приведено описание эксперимента по облучению камеры высокого давления, заполненной ксеноном при начальном давлении 270 атм (XeHPC), тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. В статье [1] также представлены результаты исследований с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновского зондового микроанализа (РЗМА) обнаруженных, синтезированных микрочастиц и образованных структур, приведены данные исследований входной передней и выходной задней втулок (рис. 1, поз. 5). Ввиду обилия экспериментальных результатов часть полученных РЭМ- и РЗМА-данных и обсуждение модельного феноменологического подхода для объяснения обнаруженных аномалий элементного состава и структур будут представлены в данной работе, именно это и является целью статьи.

Камера высокого давления ксенона (XeHPC), схематически изображенная на рис. 1, представляет собой цилиндр (2) с внешним диаметром 21,3 мм и длиной 112 мм, изготовленный из нержавеющей стали 12Х18Н10. Внутренний диаметр цилиндра составляет 13 мм. Передняя стенка цилиндра, направленная в сторону потока γ -квантов, имеет толщину 4 мм. Корпус камеры XeHPC охлаждается водой, протекающей по медной трубке с диаметром 5 мм (3). Внутри стального цилиндра вставляются два вкладыша. Внешний вкладыш (4) изготовлен из дюрала алюминия Д16Т и имеет внутренний диа-

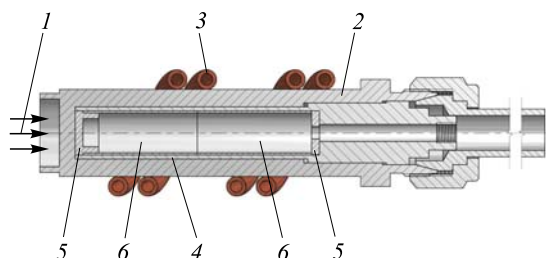


Рис. 1. Камера высокого давления XeHPC. 1 — поток тормозных γ -квантов; 2 — корпус XeHPC; 3 — трубка водяного охлаждения; 4 — тонкостенный внешний вкладыш; 5 — передняя и задняя внутренние втулки; 6 — передний и задний тонкостенные внутренние вкладыши

метр 11 мм. Внутренний вкладыш (б) изготовлен из чистого реакторного алюминия и состоит из двух частей: переднего и заднего цилиндров длиной 29 мм каждый с внутренним диаметром 10 мм. Передняя и задняя втулки (5) внутреннего вкладыша также изготовлены из реакторного алюминия. Толщина передней втулки составляет 2 мм, полезный объем ксенона — $4,37 \text{ см}^3$.

Элементный состав алюминия, измеренный РЗМА, представлен в [1]. Метод получения высокого давления ксенона состоял в его вымораживании в ХеНРС при температуре, близкой к температуре ожидения $T_{\text{жид}} = -107^\circ\text{C}$ [1–3]. При нагреве ХеНРС до комнатной температуры давление газообразного ксенона оказалось равным 270 атм. Отметим, что при полном заполнении жидким ксеноном всего внутреннего объема ХеНРС максимальное давление составляет 596,9 атм [1].

Исходный состав ксенона в баллоне был проанализирован на газовом массовом анализаторе ЛЯР им. Г. Н. Флерова. Были зарегистрированы все девять изотопов ксенона: $^{124}_{54}\text{Xe}$ (0,10 %), $^{126}_{54}\text{Xe}$ (0,09 %), $^{128}_{54}\text{Xe}$ (1,91 %), $^{129}_{54}\text{Xe}$ (26,4 %), $^{130}_{54}\text{Xe}$ (4,1 %), $^{131}_{54}\text{Xe}$ (21,2 %), $^{132}_{54}\text{Xe}$ (26,9 %), $^{134}_{54}\text{Xe}$ (10,4 %) и $^{136}_{54}\text{Xe}$ (8,9 %) (см. также [1–3]).

Облучение ХеНРС было проведено в течение 43 ч (т. е. $t = 1,548 \cdot 10^5 \text{ с}$) тормозными γ -квантами (фотонами) с пороговой энергией 10 МэВ на ускорителе электронов МТ-25. Средний ток электронов на мишени составлял $I_e = 20\text{--}22 \text{ мкА}$, при этом осуществлялось интегрирование электронного тока с целью оценки полного тока электронов на мишени. По этим измерениям полный интегральный поток электронов за 43 ч составил $\Phi = I_e t = 2,4 \cdot 10^{19}$ электронов. При начале облучения давление в ХеНРС поднялось с 270 до 320 атм. Облучение проводилось по 7–8 ч в течение 7 сут с перерывами. Измерение давления осуществлялось каждое утро на ХеНРС при комнатной температуре, а затем велся контроль давления при облучении на стационарном режиме нагрева. После примерно 14 ч облучения давление в холодной ХеНРС упало до 185 атм. Это давление увеличивалось до 230 атм при стационарном режиме облучения, и этот режим сохранялся до конца облучения.

По окончании облучения часть газа из ХеНРС была перекачана в специальный гофрированный, предварительно откачанный газовый баллон для проведения *анализа состава газовой смеси по массам* с целью выяснения наличия или отсутствия в ксеноне вновь образовавшихся других газов.

После этого камера ХеНРС была открыта и заполнена атмосферным воздухом. Внутренняя сборка, состоящая из: тонкостенного внешнего вкладыша из Д16 (рис. 1, поз. 4); переднего и заднего тонкостенных разборных внутренних вкладышей из алюминия (рис. 1, б); входной и выходной втулок из алюминия (рис. 1, 5), была помещена на 15 ч в германиевый γ -детектор (НРGe-Canberra) с разрешением 1,5 кэВ на линии ^{59}Co — 1,33 МэВ. Фон γ -детектора был измерен в тех же условиях. Затем внутренняя сборка ХеНРС

была разобрана на компоненты. Оказалось, что внешняя и внутренняя поверхности тонкостенных вкладышей (рис. 1, поз. 4 и б) и передней втулки (рис. 1, поз. 5) покрыты плотным, легко смываемым зеленовато-желтоватым покрытием. Т.е. это покрытие присутствовало на всех внешних и внутренних поверхностях деталей внутренней сборки ХеНРС, имевших контакт с ксеноном.

Но помимо этого, из внутреннего вкладыша высыпались примерно 25–30 мелких частиц миллиметрового размера, видимых глазом, которые были изучены РЭМ и РЗМА (см. [1]).

РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕДНЕГО АЛЮМИНИЕВОГО ВКЛАДЫША (ПАВ)

На рис. 2, а представлен участок внутренней поверхности переднего вкладыша (рис. 1, поз. б) в отраженных, а на рис. 2, б — во вторичных электронах (*Z*-контраст). В точке спектр 3 и точке спектр 5 сделан РМЗА со спектрами на рис. 2, в, г.

В табл. 1 и 2 приведены оценочные концентрации элементов, соответствующие спектрам на рис. 2, в, г.

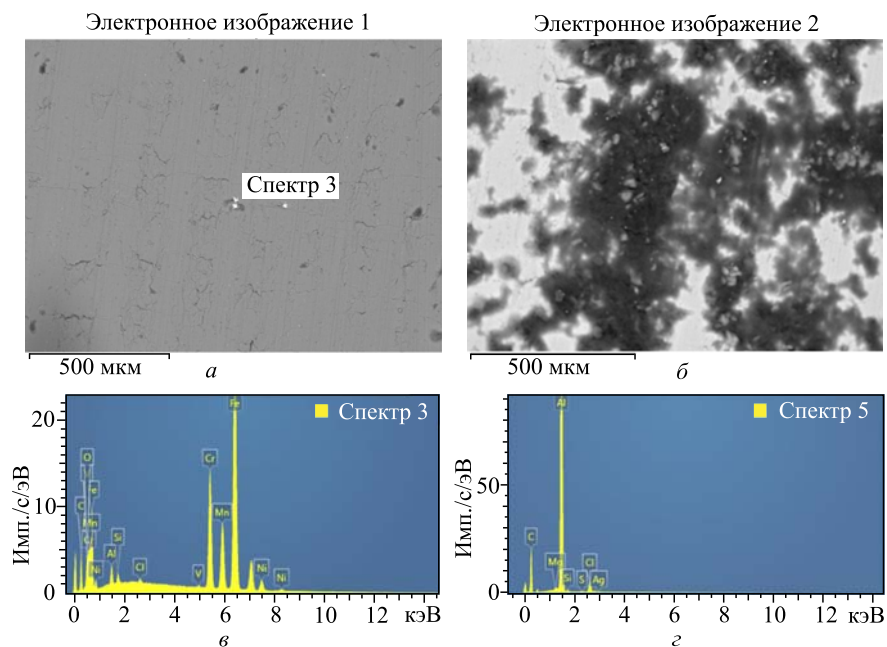


Рис. 2. РЭМ-изображения участка внутренней поверхности: а) в отраженных электронах; б) во вторичных электронах; в, г) спектры РМЗА в точках спектр 3 и спектр 5

Таблица 1. Оценочные концентрации элементов, соответствующие спектру на рис. 2, в

Спектр	Элемент									
	C	O	Al	Si	Cl	V	Cr	Mn	Fe	Ni
Спектр 3, масс. %	14,41	1,41	1,4	0,59	0,24	0,21	15,67	10,05	52,42	3,61
Спектр 3, ат. %	42	3,08	1,82	0,73	0,23	0,15	10,55	6,4	32,87	2,15

Таблица 2. Оценочные концентрации элементов, соответствующие спектру на рис. 2, г

Спектр	Элемент							
	C	Mg	Al	Si	S	Cl	Ag	
Спектр 5, масс. %	61,43	0,18	35,87	0,28	0,09	1,98	0,18	
Спектр 5, ат. %	78,43	0,11	20,39	0,15	0,04	0,85	0,03	

Относительные концентрации элементов Cr, Mn, Fe и Ni здесь и далее будем вычислять по формуле

$$C_{Cr,Mn,Fe,Ni}^{отн. \%} = \frac{C_{Cr,Mn,Fe,Ni}^{ат. \%}}{C_{Cr}^{ат. \%} + C_{Mn}^{ат. \%} + C_{Fe}^{ат. \%} + C_{Ni}^{ат. \%}} \quad (1)$$

Тогда, используя данные в табл. 1, находим: $C_{Cr}^{отн. \%} = 19,17$ отн. %, $C_{Mn}^{отн. \%} = 12,23$ отн. %, $C_{Fe}^{отн. \%} = 64,12$ отн. % и $C_{Ni}^{отн. \%} = 4,02$ отн. % соответственно.

Без учета, например, марганца при расчете относительных концентраций оценки проводились по формуле

$$C_{Cr,Fe,Ni}^{отн. \%} = \frac{C_{Cr,Fe,Ni}^{ат. \%}}{C_{Cr}^{ат. \%} + C_{Fe}^{ат. \%} + C_{Ni}^{ат. \%}} \quad (2)$$

Соответственно, имеем: $C_{Cr}^{отн. \%} = 27,48$ отн. %, $C_{Fe}^{отн. \%} = 89,58$ отн. % и $C_{Ni}^{отн. \%} = 5,03$ отн. %. Как видно, ни одно из соотношений концентраций химических элементов не соответствует какой-то высоколегированной нержавеющей или инструментальной стали для механической обработки материалов (типа У13 и У13А).

Как видно, микрочастица в точке спектр 5 содержит много углерода (78,43 ат. %), алюминия (20,29 ат. %), хлора (0,85 ат. %) и серебра (0,03 ат. %).

На рис. 3 представлен участок поверхности ПАВ со светлыми (в отраженных электронах) микрочастицами (а), в точках спектр 6 и 7 которых сделан РМЗА (б и в).

В табл.3 приведены концентрации элементов в точках спектр 6 и спектр 7.

Можно сделать вывод, что микрочастица в точке спектр 6 состоит из углерода (65,18 ат. %), свинца (7,94 ат. %) и хлора (11,87 ат. %) с малым количеством кислорода (3,77 ат. %). Микрочастица в точке спектр 7 также содержит много углерода (57,85 ат. %), хлора (2,06 ат. %), кадмия (1,60 ат. %), а также кислород (3,71 ат. %), магний (0,20 ат. %) и медь (0,04 ат. %).

Электронное изображение 3

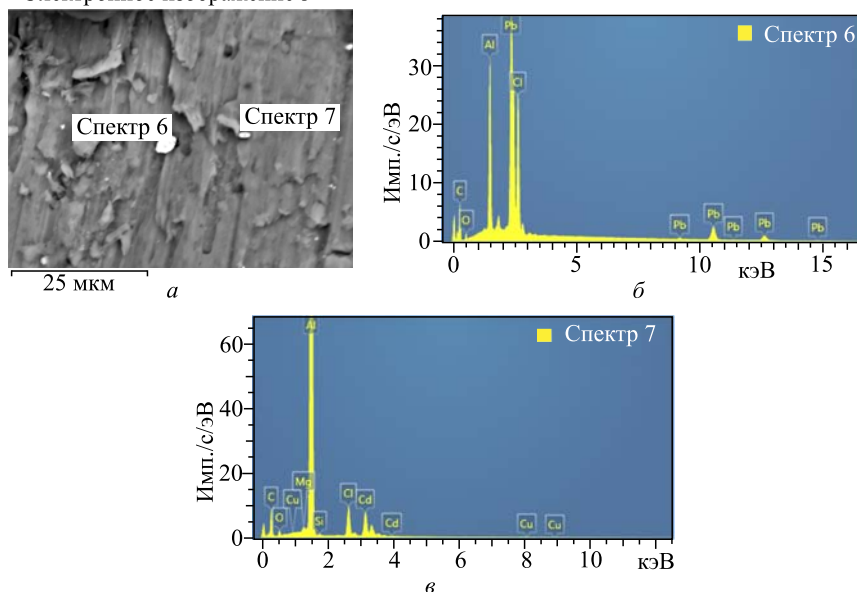


Рис. 3. а) РЭМ-изображение участка поверхности ПАВ с мелкими светлыми микро-частицами; б, в) спектры РМЗА в точках спектр 6 и спектр 7

Таблица 3. Оценочные концентрации элементов, соответствующие спектрам на рис. 2, б, в

Спектр	Элемент								
	C	O	Mg	Al	Si	Cl	Cu	Cd	Pb
Спектр 6, масс. %	24,38	1,88	—	9,45	—	13,10	—	—	51,19
Спектр 6, ат. %	65,18	3,77	—	11,25	—	11,87	—	—	7,94
Спектр 7, масс. %	35,68	2,96	0,25	47,81	0,21	3,75	0,11	9,23	—
Спектр 7, ат. %	57,85	3,61	0,20	34,50	0,14	2,06	0,04	1,60	—

На рис. 4 представлено РЭМ-изображение поверхности ПАВ с тремя светлыми частицами (а), в каждой из которых сделан РМЗА со спектрами (спектры 8, 9 и 10).

В табл. 4 приведены концентрации элементов в точках (спектры 8, 9 и 10).

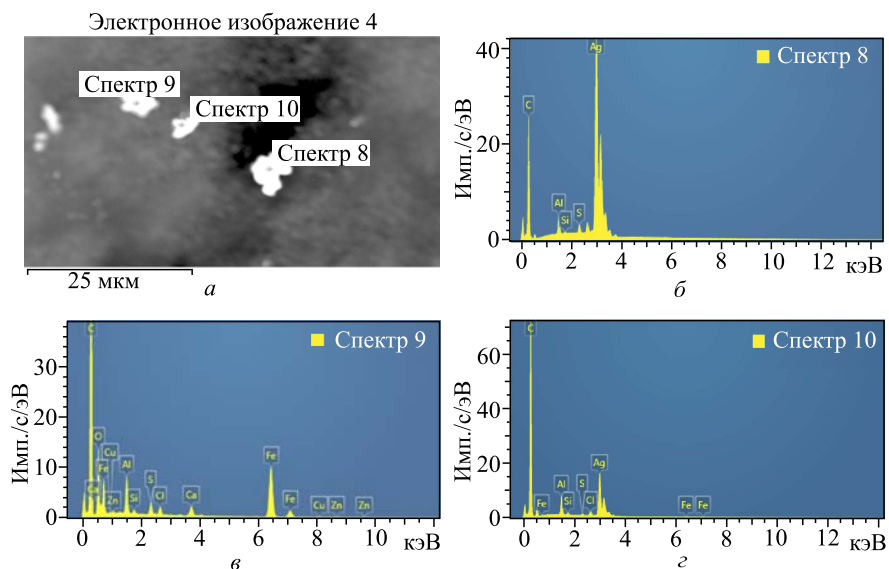


Рис. 4. а) РЭМ-изображение поверхности ПАВ с четырьмя светлыми микрочастицами; б, в, г) спектры РМЗА в точках спектр 8, спектр 9 и спектр 10

Таблица 4. Оценочные концентрации элементов, соответствующие спектрам на рис. 4, б, в, г

Спектр	Элемент										
	C	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Cu	Zn	Ag
Спектр 8, масс. %	27,21	—	1,69	0,15	0,74	—	—	—	—	—	70,20
Спектр 8, ат. %	75,32	—	2,08	0,18	0,77	—	—	—	—	—	21,64
Спектр 9, масс. %	69,17	16,08	1,61	0,17	0,55	0,45	0,63	11,02	0,07	0,25	—
Спектр 9, ат. %	81,37	14,20	0,85	0,09	0,24	0,18	0,22	2,79	0,02	0,05	—
Спектр 10, масс. %	76,73	—	2,17	0,28	0,23	0,43	—	0,27	—	—	19,89
Спектр 10, ат. %	95,53	—	1,20	0,15	0,11	0,18	—	0,07	—	—	2,76

Видно, что микрочастица в точке спектр 8 состоит из углерода (75,32 ат. %), серы (0,77 ат. %) и серебра (21,64 ат. %) без кислорода. Микрочастица в точке спектр 9 содержит много углерода (81,37 ат. %), кислород (14,20 ат. %), кальций (0,22 ат. %), железо (2,79 ат. %), медь (0,02 ат. %) и цинк (0,05 ат. %). В микрочастице в точке спектр 10 подавляюще много углерода (95,53 ат. %) и серебра (2,76 ат. %).

На рис. 5 приведено РЭМ-изображение другого участка поверхности ПАВ со спектрами РМЗА в точках спектр 11, спектр 12 и спектр 13.

В табл. 5 приведены концентрации элементов в точках спектр 11, 12 и 13.

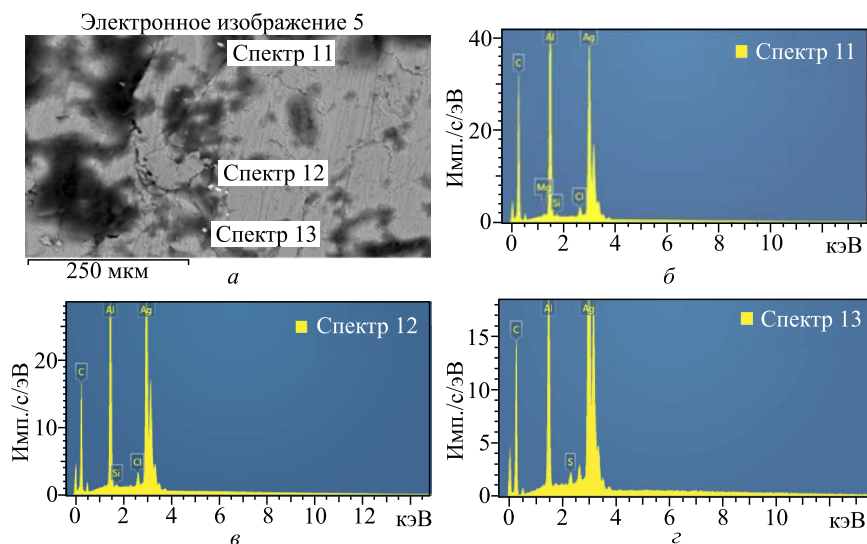


Рис. 5. а) РЭМ-изображение поверхности ПАВ с тремя микрочастицами; б-д) спектр РМЗА в точках спектр 11, спектр 12 и спектр 13

Таблица 5. Концентрации элементов в точках спектр 11, спектр 12 и спектр 13 на рис. 5, а

Спектр	Элемент						
	C	Mg	Al	Si	S	Cl	Ag
Спектр 11, масс. %	43,70	0,11	15,90	0,12	—	0,24	39,86
Спектр 12, масс. %	30,10	—	16,07	0,15	—	0,37	52,81
Спектр 13, масс. %	26,90	—	13,59	—	0,54	—	59,77
Спектр 11, ат. %	78,90	0,10	12,76	0,09	—	0,14	8,00
Спектр 12, ат. %	69,30	—	16,32	0,14	—	0,28	13,42
Спектр 13, ат. %	66,00	—	15,52	—	0,52	—	17,06

Из табл. 5 можно сделать вывод, что все частицы (спектр 11, спектр 12 и спектр 14) содержат много углерода: по 78,9, 69,3 и 66,0 ат.%; а также серебро: по 8,0, 13,42 и 17,06 ат. % соответственно.

На рис. 6 приведен участок поверхности ПАВ (рис. 6, а), на котором РМЗА выполнен на площади спектр 16 и в двух точках (спектр 14 и спектр 15), со спектрами (рис. 6, б, в, г).

В табл. 6 приведены концентрации элементов в точках спектр 14 и спектр 15 и с площади спектр 16.

Электронное изображение б

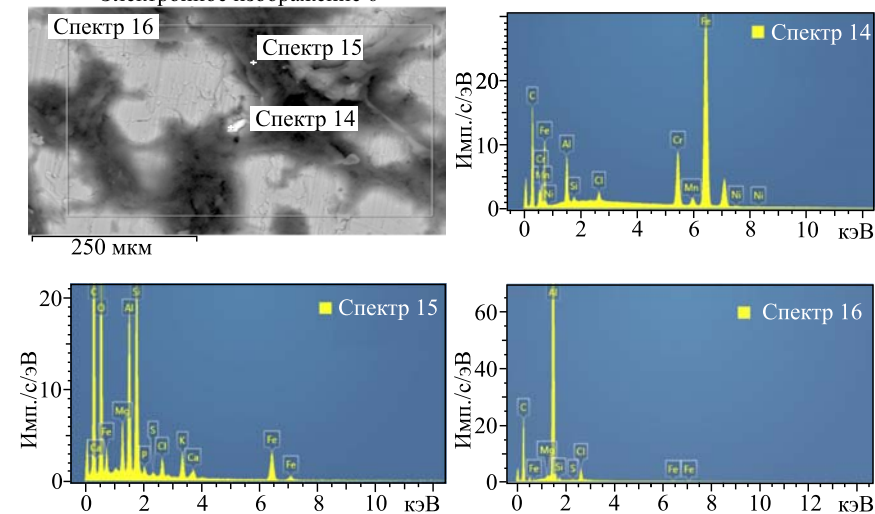


Рис. 6. РЭМ-изображение участка поверхности ПАВ (а), на котором РМЗА промерен с площади спектр 16 и двух точек: спектр 14 и спектр 15 со спектрами (б–г)

Таблица 6. Концентрации элементов с точек спектр 14 и спектр 15 и площади спектр 16

Спектр	Элемент													
	C	O	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni
Спектр 14, масс. %	6,48	—	—	3,16	0,26	—	—	0,54	—	—	7,72	0,21	51,41	0,21
Спектр 14, ат. %	1,38	—	—	2,75	0,22	—	—	0,36	—	—	3,49	0,09	21,63	0,08
Спектр 15, масс. %	6,44	32,1	0,95	2,88	3,65	0,16	0,06	0,39	0,66	0,25	—	—	2,46	—
Спектр 15, ат. %	6,50	28,4	0,55	1,51	1,84	0,07	0,03	0,16	0,24	0,09	—	—	0,62	—
Спектр 16, масс. %	4,12	—	0,16	33,75	0,26	—	0,07	1,49	—	—	—	—	0,15	—
Спектр 16, ат. %	0,25	—	0,10	18,80	0,14	—	0,03	0,63	—	—	—	—	0,04	—

Из табл.6 видно, что во всех промеренных местах присутствует также много углерода: 71,28, 66,50 и 80,15 ат.%; кремний: 0,22, 1,84 и 0,14; хлор 0,36, 0,16 и 0,63 ат.%. А в светлой частице (спектр 14) для относительных концентраций хрома, марганца, железа и никеля, используя выраже-

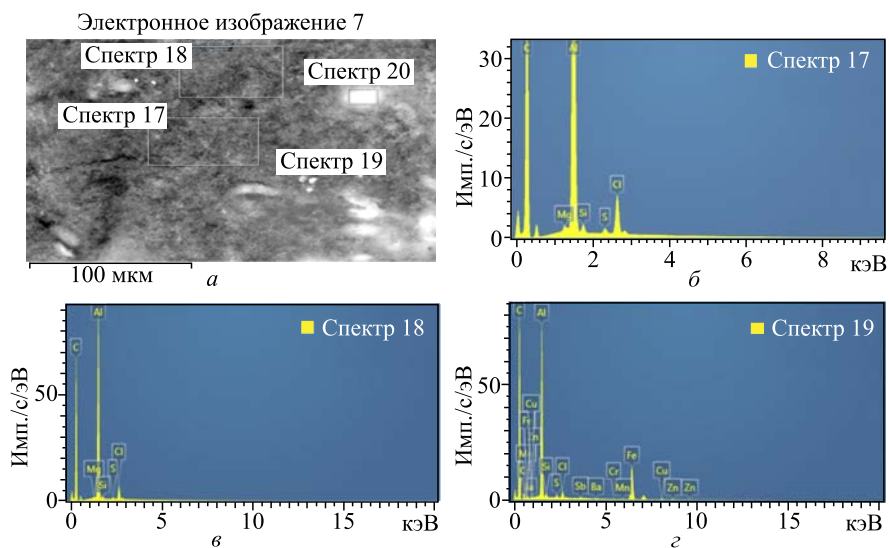


Рис. 7. а) РЭМ-изображение участка поверхности ПАВ; б-г) спектры РМЗА с площадей спектр 17, спектр 18 и в точке спектр 19

Таблица 7. Концентрации элементов с площадей (спектры 17, 18, 20) и в точке спектр 19

Спектр	Элемент												
	C	Mg	Al	Si	S	Cl	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Sb	Ba
Спектр 17, масс. %	81,50	0,12	16,24	0,29	0,18	1,67	—	—	—	—	—	—	—
Спектр 17, ат. %	91,01	0,07	8,07	0,14	0,08	0,63	—	—	—	—	—	—	—
Спектр 18, масс. %	82,47	0,07	15,37	0,22	0,19	1,68	—	—	—	—	—	—	—
Спектр 18, ат. %	91,55	0,04	7,60	0,10	0,08	0,63	—	—	—	—	—	—	—
Спектр 19, масс. %	74,87	—	11,13	0,29	0,22	0,59	0,06	0,07	11,44	0,62	0,29	0,35	0,09
Спектр 19, ат. %	90,28	—	5,98	0,15	0,10	0,24	0,02	0,02	2,97	0,14	0,06	0,04	0,01
Спектр 20, масс. %	56,09	0,20	43,08	0,32	0,03	0,27	—	—	—	—	—	—	—
Спектр 20, ат. %	74,19	0,13	25,36	0,18	0,02	0,12	—	—	—	—	—	—	—

ние (П2.1), находим: 13,8, 0,36, 85,5 и 0,32 отн. % соответственно. Сравнивая эти значения относительных концентраций с аналогичными значениями в точке 3 (спектр 3) на рис. 1, видим, что эти концентрации сильно различаются. В точке спектр 15 кроме железа других металлов нет совсем (магний и алюминий — металлы подложки). Поэтому можно сделать заключение, что мелкие частицы появились не от инструментальной стали резца или от ранее обработанных деталей, отлетев при механической обработке первой втулки.

На рис. 7 проанализирован участок поверхности ПАВ (а), на трех площадях которого: спектры 17, 18 и 20, а также в точке спектр 19 — проведен РМЗА.

В табл. 7 приведены концентрации элементов с площадей спектр 17, спектр 18 и спектр 20 и из светлой точки (спектр 19).

На поверхности ПАВ в месте, где образовалось покрытие зеленовато-желтоватого цвета в виде углеводородной смазки, в его состав входит преобладающе много углерода: 91,01; 91,55 и 74,19; присутствуют магний: 0,07; 0,04 и 0,13 ат. %; кремний: 0,14; 0,10 и 0,18 ат. % и хлор — 0,63; 0,63 и 0,12 ат. % соответственно. При этом покрытие достаточно толстое, так

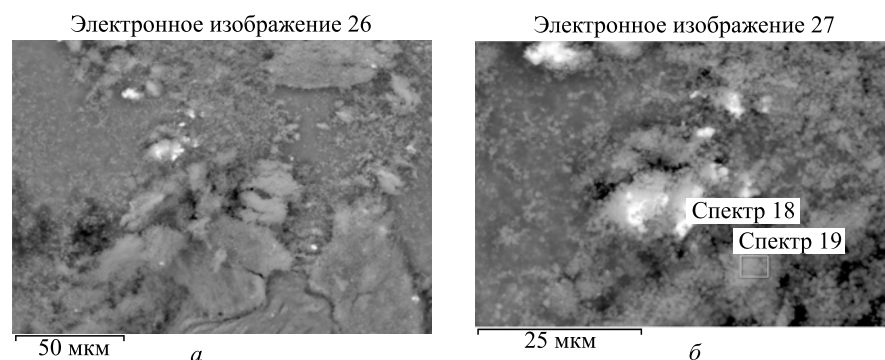


Рис. 8. РЭМ-изображения поверхности, покрытой шариками и другими структурами, на которой со светлых микрочастиц (спектр 18) и с площади спектр 19 сделан РМЗА

Таблица 8. Элементные составы в точке (спектр 18) и на площади (спектр 19) на рис. 8, б

Спектр	Элемент						
	C	O	Al	Si	S	Cl	Fe
Спектр 18, масс. %	89,01	5,9	—	0,32	0,48	4,06	0,22
Спектр 18, ат. %	93,52	4,65	—	0,14	0,19	1,45	0,05
Спектр 19, масс. %	91,09	7,81	0,03	0,18	0,22	0,67	—
Спектр 19, ат. %	93,56	6,03	0,01	0,08	0,09	0,23	—

как сигнал от алюминия подложки со всех площадей невелик (спектр 17, спектр 18 и спектр 20): алюминий — 8,07; 7,60; 25,36 ат. %.

В светлой микрочастице (спектр 19) присутствует на удивление много углерода (90,28 ат. %) и железа (2,97 ат. %), но мало хрома (0,02 ат. %) и марганца (0,02 ат. %), нет никеля, но однозначно присутствуют: медь (0,14 ат. %), цинк (0,06 ат. %), сурьма — $Z = 51$ (0,04 ат. %) и барий — $Z = 56$ (0,01 ат. %). В этом случае также нельзя утверждать, что железо привнесено при обработке поверхности внутренней камеры (см. рис. 1).

На рис. 8 приведены РЭМ-изображения поверхности переднего вкладыша, покрытого мелкими шариками. В табл. 8 приведены элементные составы в точке спектр 18 и на площади спектр 19 на рис. 8, б.

Из табл. 8 видно, что покрытие на поверхности ПАВ состоит из углерода (93,52 и 93,56 ат. %) и хлора (4,06 и 0,67 масс. %) с присутствием кремния (0,32 и 0,18 масс. %), серы (0,48 и 0,22 масс. %) и железа (0,22 масс. %).

РЭМ-изображения на рис. 7 (табл. 7) с РМЗА в точке спектр 18, на площади спектр 19 и на рис. 8 (табл. 8) с РМЗА в точках спектр 18 и спектр 19 были получены в разное время, но относятся к одному объекту.

На рис. 9 приведено РЭМ-изображение поверхности, покрытой мелкими шариками, из которых состоит зеленовато-желтое покрытие.

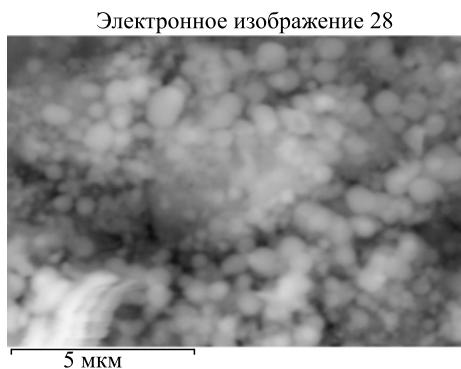


Рис. 9. РЭМ-изображение поверхности, покрытой мелкими шариками

РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДНЕГО АЛЮМИНИЕВОГО ВКЛАДЫША (ЗАВ)

На рис. 10 приведено РЭМ-изображение поверхности ЗАВ со светлой микрочастицей, на которой сделан РМЗА в точках спектр 22 и спектр 23 и на площади спектр 24 (а), со спектрами (б, в и г). В табл. 9 приведены элементные составы микрочастиц спектр 22, 23 — и на площади спектр 24.

Из табл. 9 можно сделать вывод, что эти мелкие светлые микрочастицы состоят из серебра с хлором и серой.

На рис. 11 приведено РЭМ-изображение поверхности ЗАВ, покрытой зеленовато-желтоватого цвета пленкой, достаточно мягкой, в виде углеводо-

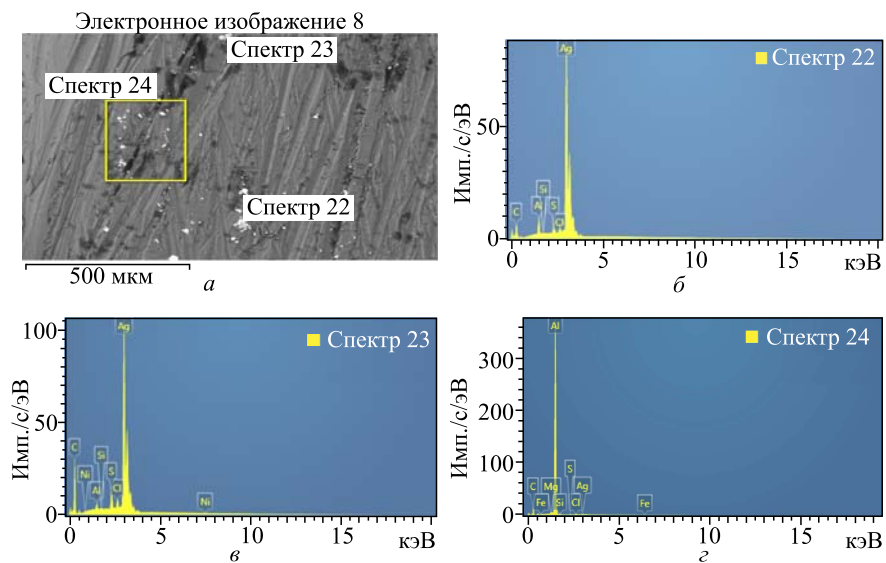


Рис. 10. а) РЭМ-изображение поверхности ЗАВ с микрочастицами; б–г) спектры РМЗА в двух точках — спектр 22 и спектр 23 — и на площади спектр 24

Таблица 9. Элементные составы в точках спектр 22 и спектр 23 и на площади спектр 24

Спектр	Элемент								
	C	Mg	Al	Si	S	Cl	Fe	Ni	Ag
Спектр 22, масс. %	5,52	—	2,97	0,07	1,67	0,43	—	—	89,35
Спектр 22, ат. %	31,37	—	7,51	0,16	3,57	0,82	—	—	56,57
Спектр 23, масс. %	21,17	—	0,95	0,09	2,28	0,47	—	0,17	74,87
Спектр 23, ат. %	68,26	—	1,37	0,12	2,75	0,51	—	0,11	26,87
Спектр 24, масс. %	44,63	0,32	52,99	0,47	0,08	0,41	0,07	—	1,04
Спектр 24, ат. %	64,80	0,23	34,25	0,29	0,04	0,20	0,02	—	0,17

родной смазки с примесями (а). На площади спектр 24, спектр 25 и спектр 26 сделан РМЗА со спектрами, сведенными для сравнения на одном рис. 11, б.

В табл.10 приведены элементные составы с площадей спектр 25, спектр 26 и спектр 27.

Видно, что в площадях, полученных РМЗА, много углерода: 94,74, 84,74 и 60,23 ат.%, мало кислорода, присутствуют магний, кремний, сера и хлор. Особо отметим, что во всех спектрах (см. табл. 1–8) мало кислорода.

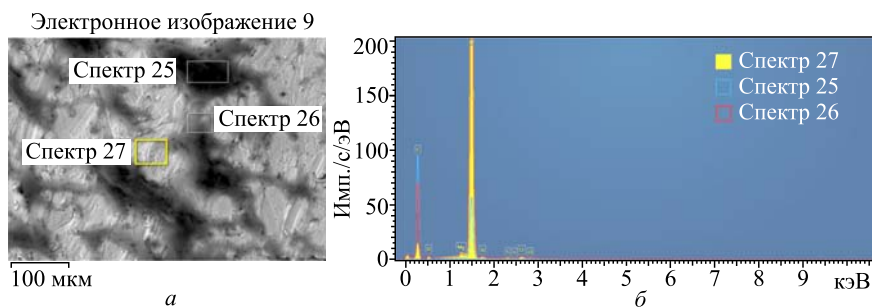


Рис. 11. а) РЭМ-изображение поверхности ЗАВ, покрытой зеленовато-коричневатой пленкой; б) суммарный спектр РМЗА с площадей спектр 25, спектр 26 и спектр 27

Таблица 10. Элементные составы с площадей спектр 25, 26 и спектр 27 на рис. 11, а

Спектр	Элемент						
	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl
Спектр 25, масс. %	88,77	—	—	10,31	0,19	0,21	0,51
Спектр 25, ат. %	94,74	—	—	4,9	0,09	0,08	0,18
Спектр 26, масс. %	71,13	—	0,21	27,88	0,32	0,07	0,40
Спектр 26, ат. %	84,74	—	0,13	14,79	0,16	0,03	0,16
Спектр 27, масс. %	40,74	1,76	0,27	56,64	0,37	0,03	0,19
Спектр 27, ат. %	60,23	1,95	0,20	37,28	0,24	0,02	0,09

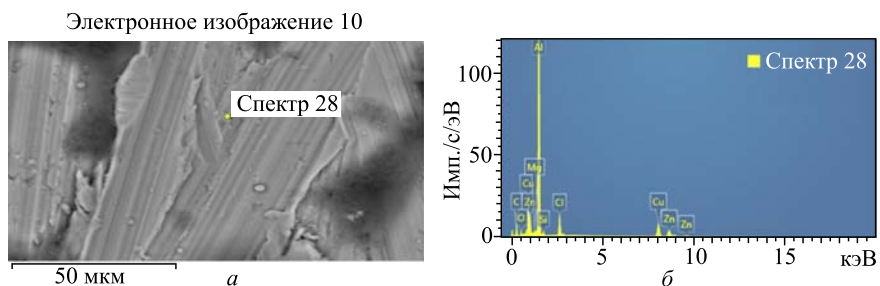


Рис. 12. а) РЭМ-изображение участка поверхности ЗАВ; б) спектр РМЗА в точке спектр 28

Таблица 11. Элементный состав на рис. 12, а, б

Спектр	Элемент						
	C	O	Al	Si	Cl	Cu	Zn
Спектр 28, масс. %	33,20	3,10	43,16	0,65	3,16	12,26	4,47
Спектр 28, ат. %	56,06	3,92	32,44	0,47	1,81	3,91	1,39

На рис. 12 представлено РЭМ-изображение участка поверхности ЗАВ, внешне мало изменившегося (а). РМЗА проведен в точке спектр 28 со спектром б.

В табл. 11 представлен элементный состав в точке спектр 28 на рис. 11, а, б.

Состав в точке спектр 28 сложный: углерод — 56,06 ат.%, мало кислорода — 3,92 ат.%, присутствуют: кремний — 0,47 ат.%, много хлора — 1,81 ат.%, меди — 3,91 ат.% и цинка — 1,39 ат.%.

На рис. 13 представлен другой участок поверхности ЗАВ (а), в точках спектр 29, спектр 30 и спектр 31 которого проанализированы микрочастицы со спектрами РМЗА, сведенными для сравнения в один спектр на рис. 13, б.

В табл. 12 приведены соответствующие элементные составы микрочастиц в точках спектр 29, спектр 30 и на площади спектр 31.

Из табл. 12 видно, что микрочастица, соответствующая точке спектр 29, содержит углерод (63,82 ат.%), кислород (14,74 ат.%), много магния (5,82 ат.%), кремния (2,01 ат.%) и хлора (5,15 ат.%). Микрочастица, соответствующая точке спектр 30, содержит углерод (62,56 ат.%), кислород

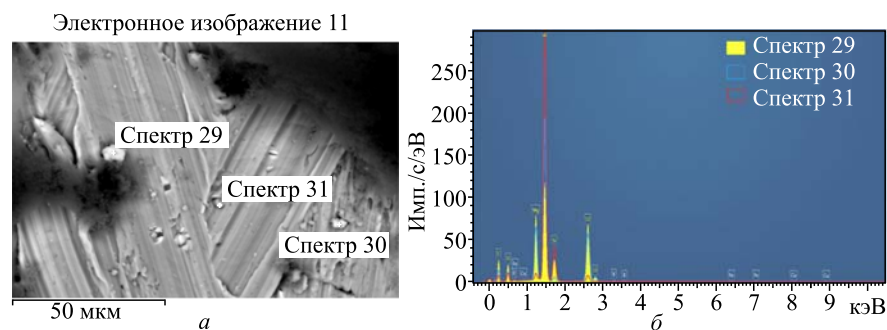


Рис. 13. а) РЭМ-изображение участка поверхности ЗАВ; б) суммарный спектр РМЗА в точках спектр 29, спектр 30 и спектр 31

Таблица 12. Элементные составы микрочастиц (спектр 29, 30) и площади (спектр 31) рис. 13, б

Спектр	Элемент									
	C	O	F	Mg	Al	Si	Cl	K	Fe	Cu
Спектр 29, масс. %	47,58	14,64	—	8,78	14,17	3,50	11,33	—	—	—
Спектр 29, ат. %	63,82	14,74	—	5,82	8,46	2,01	5,15	—	—	—
Спектр 30, масс. %	44,65	9,73	—	7,76	25,46	0,83	11,23	0,18	0,06	0,08
Спектр 30, ат. %	62,56	10,24	—	5,37	15,88	0,50	5,33	0,08	0,02	0,02
Спектр 31, масс. %	28,87	8,96	1,06	1,09	46,73	11,19	2,10	—	—	—
Спектр 31, ат. %	45,75	10,66	1,07	0,85	32,96	7,59	1,13	—	—	—

(10,24 ат. %), много магния (5,37 ат. %), кремний (0,50 ат. %), много хлора (5,33 ат. %), а также калий (0,08 ат. %), железо (0,02 ат. %) и медь (0,02 ат. %). Микрочастица, соответствующая точке спектр 31, содержит углерод (45,75 ат. %), кислород (10,66 ат. %), фтор в химически связанном состоянии (1,07 ат. %), много кремния (7,59 ат. %) и хлора (1,13 ат. %).

На рис. 14 приведены РЭМ-изображения участка поверхности ЗАВ, покрытой зеленовато-желтоватым налетом. На двух площадях (спектр 13 и спектр 14) и в точке спектр 15 светлой микрочастицы сделан РМЗА.

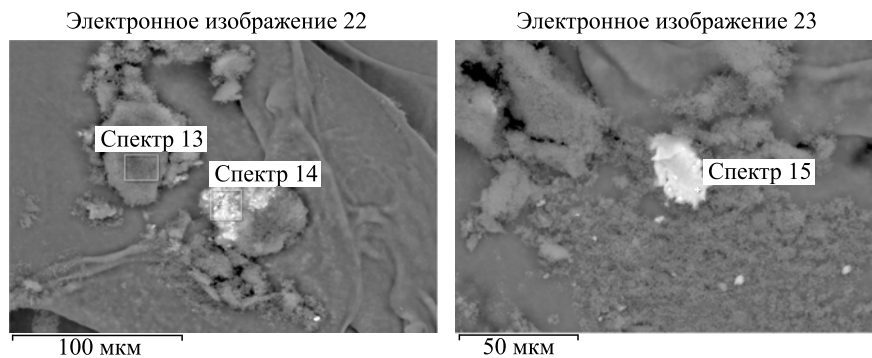


Рис. 14. РЭМ-изображения участка поверхности ЗАВ, покрытой зеленовато-желтоватым налетом

На рис. 15 приведено увеличенное изображение микрочастицы на рис. 14, б с РМЗА в точке спектр 16 (а) и мелкодисперсная структура из шариков малого диаметра, покрывающая поверхность ЗАВ. На площади спектр 17 сделан РМЗА (б).

В табл. 13 приведены элементные составы, измеренные РМЗА в точках спектр 13, спектр 14, спектр 15 и спектр 16 и на площади спектр 17 на рис. 14 и 15.

Плоская микрочастица (спектр 13) состоит преимущественно из углерода (99,14 ат. %). По-видимому, она достаточно толстая, так как в спектре очень мало алюминия (0,02 ат. %). Присутствуют с низких концентраций: кремний, сера, хлор (0,50 ат. %) и железо (0,05 ат. %). В светлых микрочастицах (спектр 14) на поверхности более крупной, напоминающей предыдущую частицу (спектр 13), содержится много углерода (97,55 ат. %), присутствует кислород (9,80 ат. %) и много хлора (2,20 ат. %).

В табл. 13 нумерация спектр 13–спектр 17, совпадающая с нумерацией в табл. 4, 5 и 6, была присвоена в разное время и на разных объектах.

Светлые микрочастицы (спектр 15 и спектр 16) имеют близкие составы: углерода 59,57 и 72,65 ат. %, магния 0,55 и 0,29 ат. %, алюминия 34,34

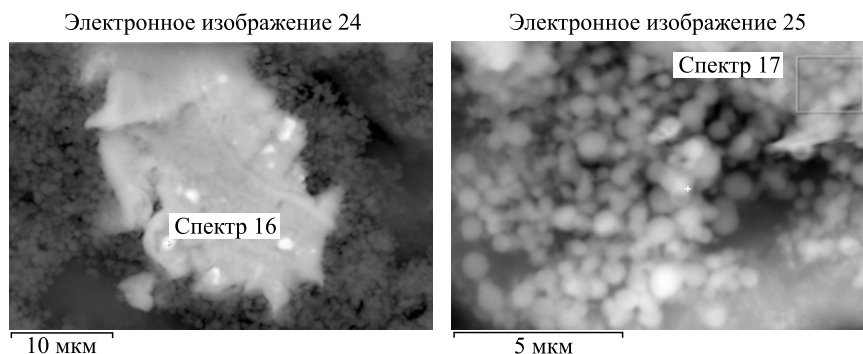


Рис. 15. а) РЭМ-изображения микрочастицы; б) мелкодисперсная структура

Таблица 13. Элементные составы, измеренные РМЗА в точках спектры 13, 14, 15 и 16 и на площади спектр 17 на рис. 14 и 15

Спектр	Элемент										
	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Mn	Fe	Cu
Спектр 13, ат. %	99,14	—	—	0,02	0,11	0,18	0,50	—	—	0,05	—
Спектр 13, масс. %	97,55	—	—	0,05	0,25	0,48	1,44	—	—	0,23	—
Спектр 14, ат. %	87,88	9,80	—	—	0,05	0,05	2,20	—	—	0,01	—
Спектр 14, масс. %	81,56	12,11	—	—	0,12	0,12	6,04	—	—	0,06	—
Спектр 15, ат. %	59,57	2,64	0,55	34,34	—	—	0,05	0,02	0,19	0,62	2,02
Спектр 15, масс. %	38,18	2,25	0,71	49,45	—	—	0,10	0,05	0,56	1,85	6,85
Спектр 16, ат. %	72,65	—	0,29	23,15	—	—	—	—	0,04	0,03	3,84
Спектр 16, масс. %	49,79	—	0,40	35,65	—	—	—	—	0,13	0,09	13,94
Спектр 17, ат. %	95,08	4,53	—	0,11	0,08	0,08	0,08	—	—	0,02	0,03
Спектр 17, масс. %	93,0	5,90	—	0,24	0,18	0,21	0,23	—	—	0,07	0,16

и 23,15 ат. %, присутствуют марганец (0,56 и 0,13 масс. %), железо (1,85 и 0,09 масс. %) и много меди (6,25 и 13,94 масс. %).

Покрытие из мелких шариков (спектр 17) состоит из углерода (95,08 ат. %) и кислорода (4,53 ат. %) с низкими концентрациями других элементов. Отметим, что структура на рис. 15, б идентична структуре на рис. 9 поверхности переднего вкладыша.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Проведено облучение камеры высокого давления ксенона (XeHPC) при исходном давлении 270 атм тормозным излучением с максимальной энергией 10 МэВ. При вскрытии камеры давление уменьшилось и составило 185 атм.

2. Методами растровой электронной микроскопии и рентгеновского зондового микроанализа на поверхностях, имевших контакт с ксеноном, и в обнаруженных микрочастицах найдены следующие ранее отсутствовавшие легкие химические элементы: ${}^6\text{C}$, ${}^9\text{F}$, ${}^{11}\text{Na}$, ${}^{12}\text{Mg}$, ${}^{13}\text{Al}$, ${}^{14}\text{Si}$, ${}^{15}\text{P}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{17}\text{Cl}$, ${}^{19}\text{K}$, ${}^{20}\text{Ca}$, а также элементы группы металлов средних масс: ${}^{22}\text{Ti}$, ${}^{23}\text{V}$, ${}^{24}\text{Cr}$, ${}^{25}\text{Mn}$, ${}^{26}\text{Fe}$, ${}^{27}\text{Co}$, ${}^{28}\text{Ni}$, ${}^{29}\text{Cu}$, ${}^{30}\text{Zn}$ и более тяжелые элементы: ${}^{32}\text{Ge}$, ${}^{38}\text{Sr}$, ${}^{40}\text{Zr}$, ${}^{41}\text{Nb}$, ${}^{42}\text{Mo}$, ${}^{47}\text{Ag}$, ${}^{51}\text{Sb}$, ${}^{56}\text{Ba}$, ${}^{73}\text{Ta}$, ${}^{74}\text{W}$, ${}^{79}\text{Au}$, ${}^{81}\text{Tl}$, ${}^{82}\text{Pb}$.

В приложении 1 приведены сводные таблицы с усредненными значениями концентраций обнаруженных элементов по 10 площадям (П1.1) и по 27 точкам (П1.2), а также гистограммы этих усредненных значений (рис. П1.1, *а* и П1.1, *б*, см. также [1]).

В приложении 2 представлены возможные ядерные реакции деления ксенона в капельной модели ядра с образованием более легких элементов (нисходящие ядерные реакции) и слияния ядер ксенона с осколками асимметричного деления ксенона с образованием более тяжелых элементов (восходящие ядерные реакции) (см. также [4, 5, 8–10]).

В следующей работе будут представлены результаты по синтезу тяжелых элементов тяжелее ксенона, образованию элементов легче ксенона при облучении двух камер с высокими значениями давления ксенона — 240 атм и 550 атм, которые в целом подтверждают достоверность представленных в этой работе результатов и показывают воспроизводимость результатов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Для удобства и большей наглядности приведем две сводные таблицы распределения элементов по площадям, обнаруженных в РЭМ- и РМЗА-исследованиях (см. табл. П1.1 и соответствующий ей график рис. П1.1, *б*, усредненные по 10 площадям) и по точкам (см. табл. П1.2 и соответствующий ей график рис. П1.1, *а*, усредненные по 22 точкам).

В общую таблицу не вошли результаты, в которых получено соотношение элементов, близкое к их отношению для нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

1. Ошибка в значениях, указанных в таблицах, содержится во втором знаке после запятой.

2. а) Исследования появления, в результате проведенных экспериментов, посторонних элементов носят не количественный, а качественный характер; б) выбор объектов для измерения носил субъективный характер, так как, как правило, изучались яркие, светлые объекты с большим зарядом ядра в отраженных электронах (*Z*-контраст); в) измерение РМЗА в точке имеет ограничения, обусловленные диаметром области возбуждения, часто превышающим размеры самого объекта.

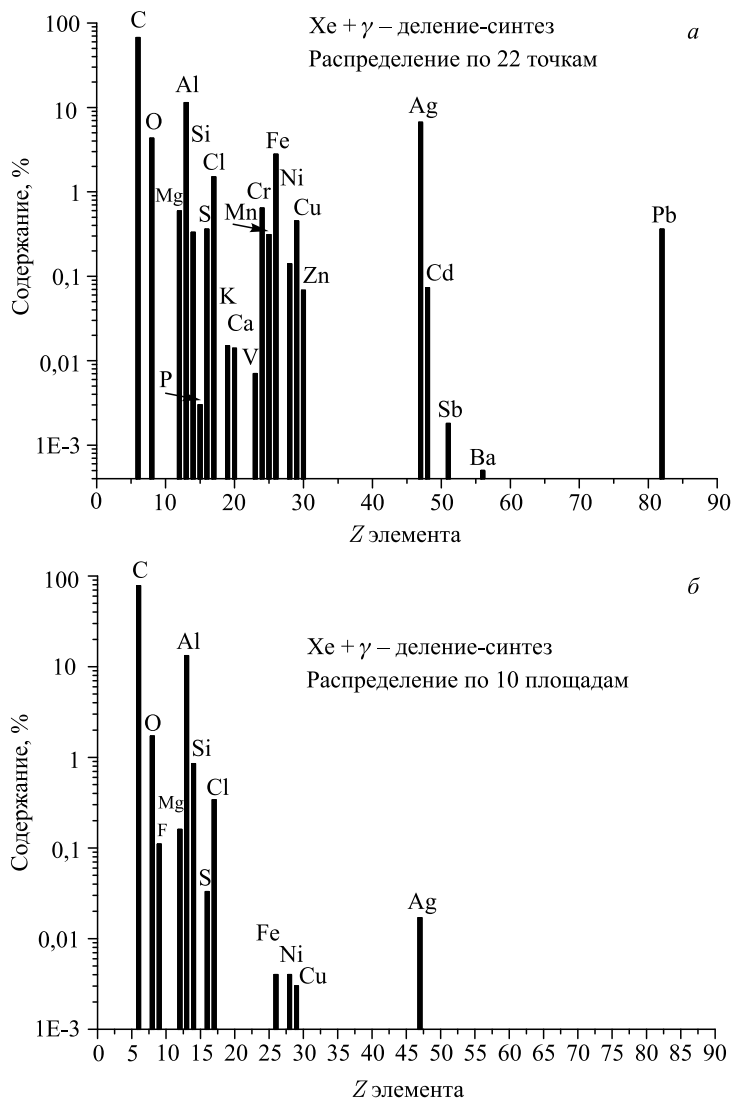


Рис. П1.1. Распределение элементов, усредненное по 22 точкам (а), и распределение элементов, усредненное по 10 площадям (б)

Часть РЭМ-изображений синтезированных частиц и данные по их РМЗА элементному составу представлены в работе [1].

Таблица ПИ.1. Анализ по площадям элементного состава, усредненным по 10 промерным РМЗА-площадям (ат. %)

Площадь	Элемент											
	⁶ C	⁸ O	⁹ F	¹² Mg	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁶ S	¹⁷ Cl	²⁶ Fe	²⁸ Ni	²⁹ Cu	⁴⁷ Ag
16*	80,25	—	—	0,10	18,8	0,14	0,03	0,63	—	0,04	—	—
17*	91,01	—	—	0,07	8,07	0,14	0,08	0,63	—	—	—	—
18*	91,55	—	—	0,04	7,60	0,10	0,08	0,63	—	—	—	—
20*	74,2	—	—	0,13	25,4	0,18	0,02	0,12	—	—	—	—
24*	64,8	—	—	0,23	34,25	0,29	0,04	0,20	0,02	—	—	0,17
25*	94,7	—	—	—	4,9	0,09	0,08	0,18	—	—	—	—
26*	84,7	—	—	0,13	14,79	0,16	0,03	0,16	—	—	—	—
27*	60,2	1,95	—	0,20	37,28	0,24	0,02	0,09	—	—	—	—
31*	45,75	10,66	1,07	0,85	32,96	7,59	—	1,13	—	—	—	—
17-2	95,1	4,53	—	—	0,11	0,08	0,08	0,08	0,02	—	0,03	—
∑	782,26	17,14	1,07	1,62	132,09	8,52	0,33	3,42	0,04	—	0,03	0,17
	⁶ C	⁸ O	⁹ F	¹² Mg	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁶ S	¹⁷ Cl	²⁶ Fe	²⁸ Ni	²⁹ Cu	⁴⁷ Ag
∑ 10	78,23	1,71	0,11	0,16	13,21	0,85	0,033	0,34	0,004	0,004	0,003	0,017

Таблица III.2. Анализ элементного состава по площадям, усредненным по 22 промеренным точкам (в ат. %)

№	Элемент																							
	6C	8O	12Mg	13Al	14Si	15P	16S	17Cl	19K	20Ca	23V	24Cr	25Mn	26Fe	28Ni	29Cu	30Zn	47Ag	48Cd	51Sb	56Ba	82Pb		
3	42,0	3,08	—	1,82	0,73	—	—	0,23	—	—	0,15	10,6	6,4	32,9	2,15	—	—	—	—	—	—	—	—	
5	78,4	—	0,11	20,4	0,15	—	0,04	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,03	—	—	—	—	—	
6	65,2	3,77	—	11,3	—	—	—	11,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,94	
7	57,9	3,61	0,20	34,5	0,14	—	—	2,06	—	—	—	—	—	—	—	0,04	—	—	1,60	—	—	—	—	
8	75,3	—	—	2,08	0,18	—	0,77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21,6	—	—	—	—	—	
9	81,4	14,2	—	0,85	0,09	—	0,24	0,18	—	0,22	—	—	—	2,79	—	0,02	0,05	—	—	—	—	—	—	—
10	95,5	—	—	1,20	0,15	—	0,11	0,18	—	—	—	—	—	0,07	—	—	—	2,76	—	—	—	—	—	—
11	78,9	—	0,10	12,8	0,09	—	—	0,14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8,0	—	—	—	—	—	—
12	6,3	—	—	16,3	0,14	—	—	0,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,4	—	—	—	—	—	—
13	66,0	—	—	15,5	—	—	0,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,1	—	—	—	—	—	—
14	71,38	—	—	2,75	0,22	—	—	0,36	—	—	—	3,49	0,09	21,6	0,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	66,50	28,4	0,55	1,51	1,84	0,07	0,03	0,16	0,24	0,09	—	—	—	—	0,62	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	90,3	—	—	5,98	0,15	—	0,10	0,24	—	—	—	0,02	0,02	2,97	—	0,14	0,06	—	—	0,04	0,01	—	—	—
22	31,4	—	—	7,51	0,16	—	3,57	0,82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56,57	—	—	—	—	—	—
23	68,3	—	—	1,37	0,12	—	2,75	0,51	—	—	—	—	—	—	0,11	—	—	26,87	—	—	—	—	—	—
28	56,1	3,92	—	32,44	0,47	—	—	1,81	—	—	—	—	—	—	—	3,91	1,39	—	—	—	—	—	—	—
29	63,8	14,7	5,82	8,46	2,01	—	—	5,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	62,56	10,24	5,37	15,88	0,50	—	—	5,33	0,08	—	—	—	—	0,02	—	0,02	—	—	—	—	—	—	—	—
13-2	99,1	—	—	0,02	0,11	—	0,18	0,50	—	—	—	—	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14-2	87,9	9,80	—	—	0,05	—	0,05	2,20	—	—	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15-2	59,6	2,64	0,55	34,34	—	—	—	0,05	0,02	—	—	0,19	0,62	—	—	2,02	—	—	—	—	—	—	—	—
16-2	72,7	—	0,29	23,2	—	—	—	—	—	—	—	—	0,04	0,03	—	3,84	—	—	—	—	—	—	—	—
∑	1476,54	94,36	12,99	250,21	7,3	0,07	7,84	32,95	0,34	0,31	0,15	14,11	6,74	61,06	2,96	9,99	1,5	146,33	1,60	0,04	0,01	0,01	7,94	—
6C	67,12	4,29	0,59	11,37	0,33	0,003	0,36	1,5	0,015	0,014	0,007	0,64	0,31	2,78	0,14	0,45	0,068	6,65	0,073	,0018	,0005	0,36	—	—
22																								

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

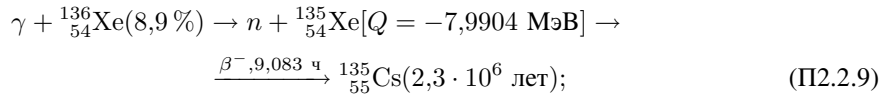
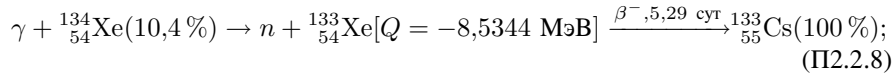
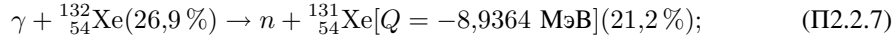
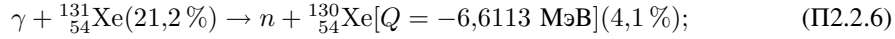
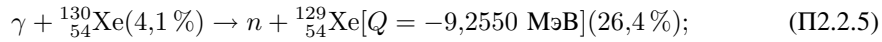
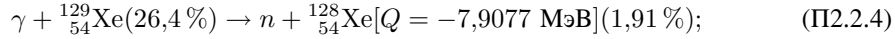
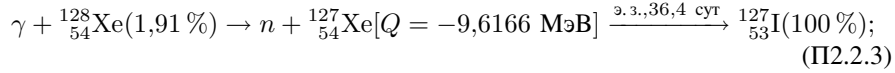
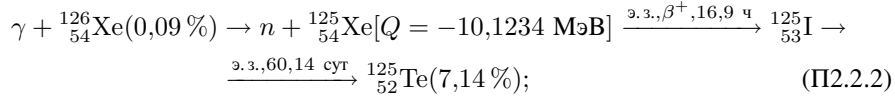
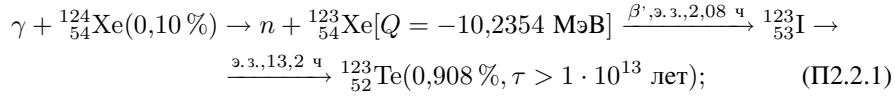
Для исключения эффектов от гигантского дипольного резонанса [6] энергия электронного пучка микротрона МТ-25 была выбрана 10 МэВ. При этой энергии максимальная переданная ядрам ксенона энергия для средней массы 131 а. е. м. при упругом рассеянии 10 МэВ γ -квантов составляет [11]

$$E_{136\text{Xe}}^{\max} = E_{\gamma} \left[1 + \frac{M_{136\text{Xe}} c_0^2}{2E_{\gamma}} \right]^{-1} = 8,281 \text{ кэВ}. \quad (\text{П2.1})$$

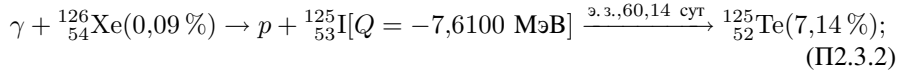
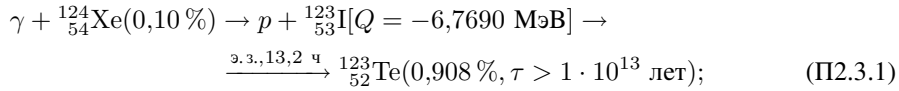
Эта энергия относительно мала для подбарьерного слияния ядер.

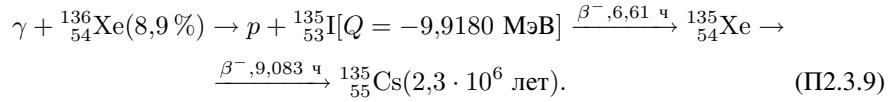
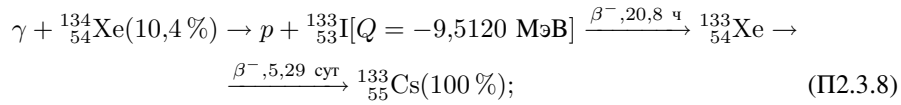
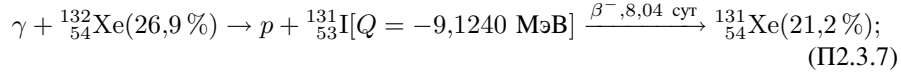
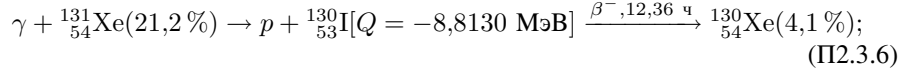
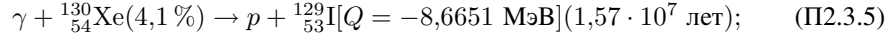
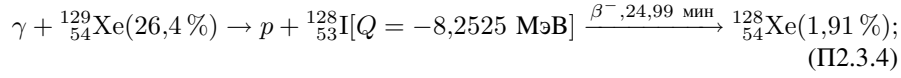
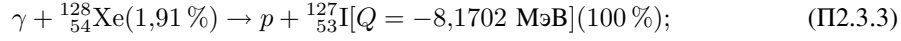
1. Реакции γ -квантов на ядрах ксенона.

1.1. Реакции ${}^N_+Z\text{Xe}(\gamma, n) ({}^{N-1})_+Z\text{Xe}$ на изотопах ксенона [2, 3]:



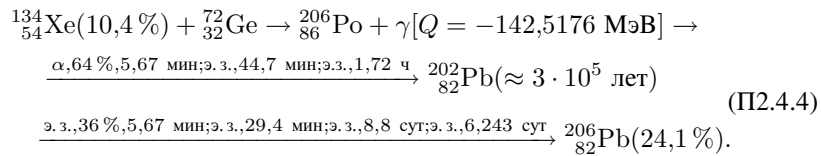
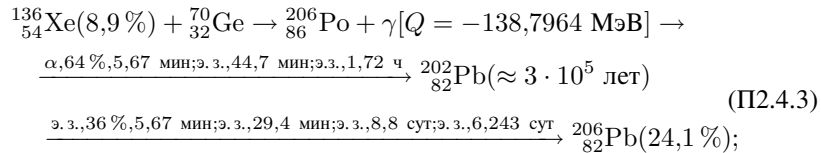
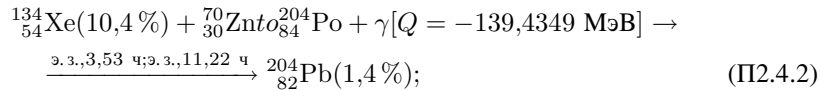
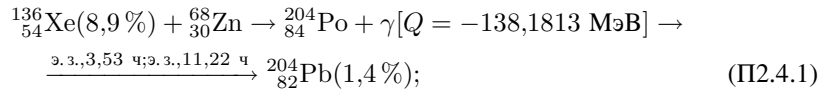
1.2. Реакции ${}^N_+Z\text{Xe}(\gamma, p) {}^{N+(Z-1)}_+Z\text{I}$ на изотопах ксенона [2, 3]:





2. Реакции синтеза тяжелых элементов, более тяжелых, чем ксенон, обнаруженных в эксперименте, таких как ${}_{82}\text{Pb}$, ${}_{81}\text{Tl}$, ${}_{79}\text{Au}$, ${}_{74}\text{W}$, ${}_{73}\text{Ta}$.

2.1. Синтез свинца. Как известно, свинец имеет четыре изотопа [2, 3]: ${}^{204}_{82}\text{Pb}(1,4\%)$, ${}^{206}_{82}\text{Pb}(24,1\%)$, ${}^{207}_{82}\text{Pb}(22,1\%)$, ${}^{208}_{82}\text{Pb}(52,4\%)$:

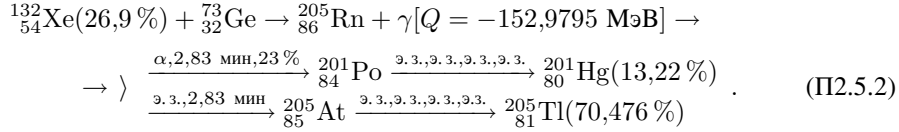
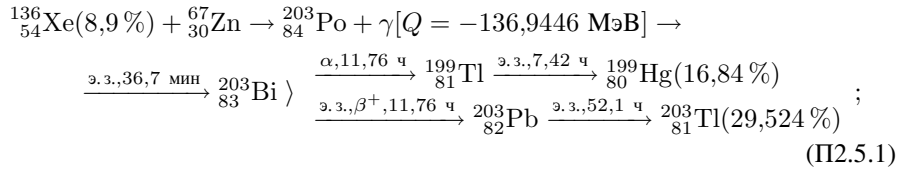


Следовательно, из реакций слияния, с обнаруженными стабильными химическими элементами, могут синтезироваться только изотопы:

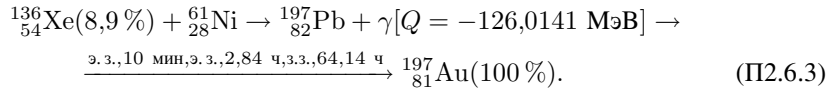
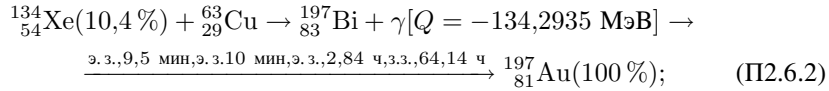
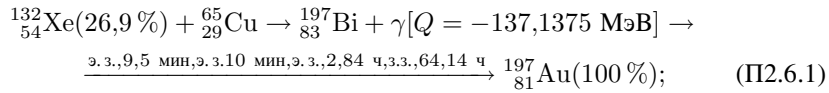
$^{202}_{82}\text{Pb}(\approx 3 \cdot 10^5 \text{ лет}), ^{204}_{82}\text{Pb}(1,4 \%)$ и $^{206}_{82}\text{Pb}(24,1 \%)$. Исключать реакции ксенона с короткоживущими нуклидами, вообще говоря, тоже не следует.

Как видно, во всех приведенных реакциях слияния помимо большого кулоновского барьера, например, в реакции (П2.4.4) $Q_{\text{кул}} \cong Z_{\text{Xe}} Z_{\text{Ge}} / \{ [M_{\text{Xe}}]^{1/3} + [M_{\text{Ge}}]^{1/3} \} \approx 186,3 \text{ МэВ}$ [7], а энергия реакции также отрицательная и большая по модулю $Q_{\text{реакции}} = -142,5 \text{ МэВ}$ [2, 3]. Поэтому не ясно, как может синтезироваться свинец. Остается высказать смелое предположение, что система плотным ксеноном черпает энергию из «темной» материи и «темной» энергии!

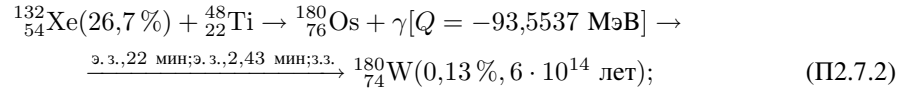
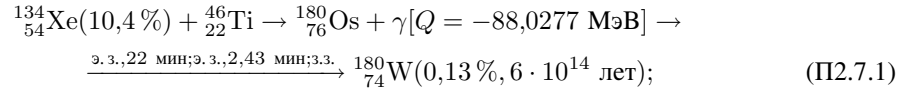
2.2. Синтез таллия [2]: $^{203}_{81}\text{Tl}(29,524 \%), ^{205}_{81}\text{Tl}(70,476 \%)$:

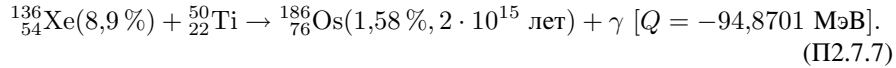
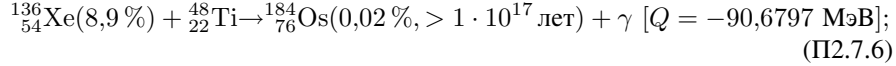
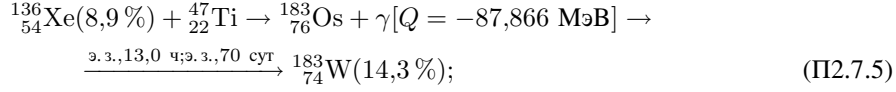
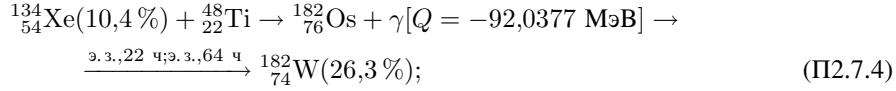
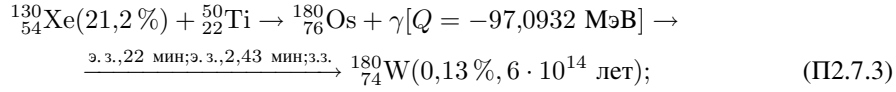


2.3. Синтез золота [2]: $^{197}_{79}\text{Au}(100 \%)$:



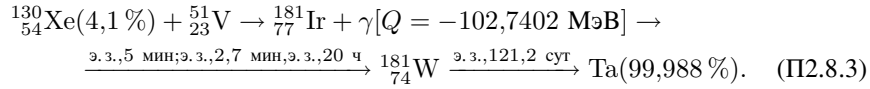
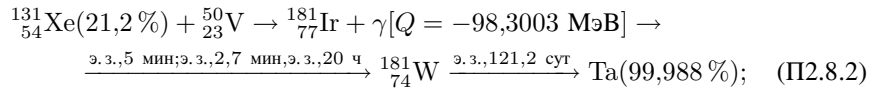
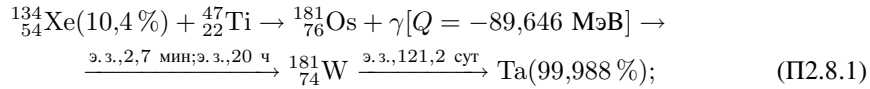
2.4. Синтез вольфрама [2]: $^{180}_{74}\text{W}(0,13 \%), ^{182}_{74}\text{W}(26,3 \%), ^{183}_{74}\text{W}(13,3 \%),$
 $^{184}_{74}\text{W}(30,67 \%, > 3 \cdot 10^{17} \text{ лет}), ^{186}_{74}\text{W}(28,6 \%)$:





Следовательно, при синтезе из осколков деления ксенона, т.е. обнаруженных стабильных химических элементов, в реакциях слияния *могут синтезироваться только изотопы* ${}^{180}_{74}\text{W}(0,13\%)$, ${}^{182}_{74}\text{W}(26,3\%)$ и ${}^{183}_{74}\text{W}(13,3\%)$, *а тяжелые изотопы вольфрама* ${}^{184}_{74}\text{W}(30,67\%, > 3 \cdot 10^{17} \text{ лет})$ и ${}^{186}_{74}\text{W}(28,6\%)$ *не могут*. Исключать реакции ксенонам с короткоживущими нуклидами, вообще говоря, тоже не следует.

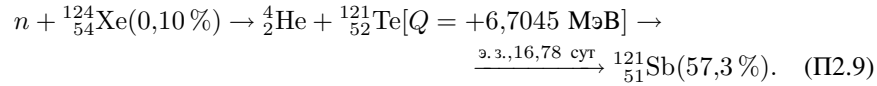
2.5. Синтез тантала: ${}^{180}_{73}\text{Ta}(0,012\%, 6 \cdot 10^{14} \text{ лет})$ и ${}^{181}_{74}\text{Ta}(99,988\%)$:



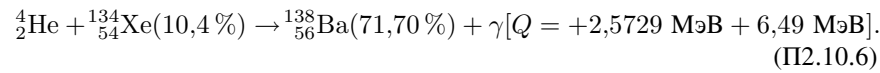
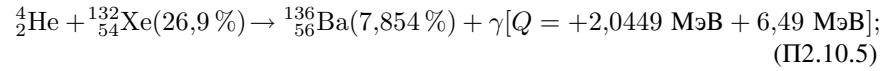
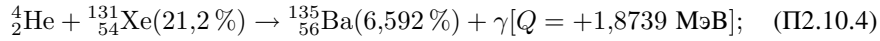
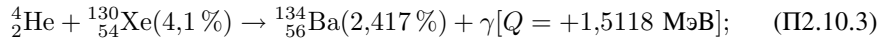
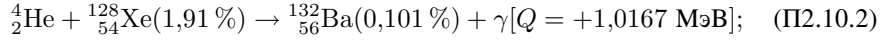
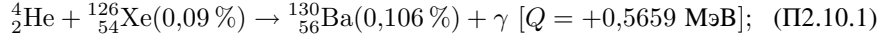
Следовательно, при синтезе из осколков деления ксенона обнаруженных стабильных химических элементов, в реакциях слияния *может синтезироваться только изотоп* ${}^{181}_{74}\text{Ta}(99,988\%)$, *а изотоп* ${}^{180}_{74}\text{Ta}(0,012\%, 6 \cdot 10^{14} \text{ лет})$ *быть не может*.

3. Реакции деления ядер ксенона с образованием более легких ядер в капельной модели в реакциях с нейтронами и протонами от (γ, n) и (γ, p) реакций.

3.1. Образование сурьмы. Обнаруженная в работе [2] (табл. 6) сурьма может быть образована в реакции:

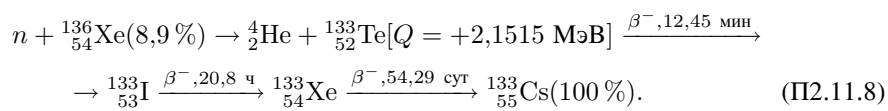
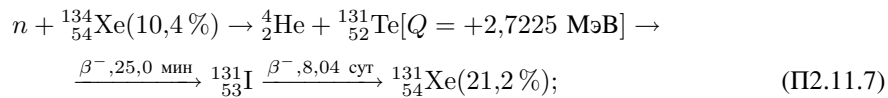
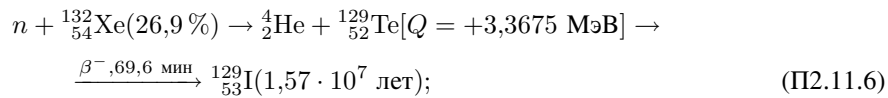
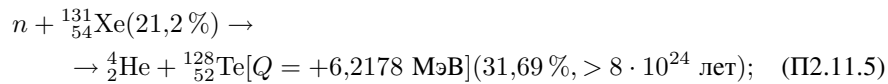
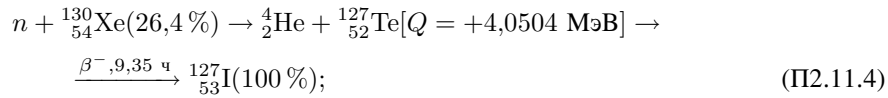
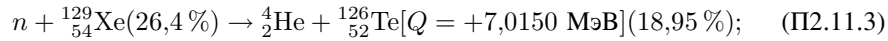
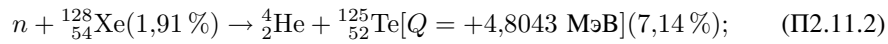
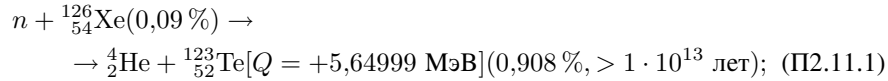


3.2. Синтез изотопов бария [2, 3]: $^{132}_{56}\text{Ba}$ (0,101 %), $^{134}_{56}\text{Ba}$ (2,417 %), $^{135}_{56}\text{Ba}$ (6,592 %), $^{136}_{56}\text{Ba}$ (7,854 %), $^{137}_{56}\text{Ba}$ (11,23 %), $^{138}_{56}\text{Ba}$ (71,70 %), например с α -частицами из реакции (П2.9) с энергией $E_{\text{He}} = M_{\text{Te}} \cdot Q_{(\text{П2.9})} / [M_{\text{Te}} + M_{\text{He}}] = 6,49$ МэВ:



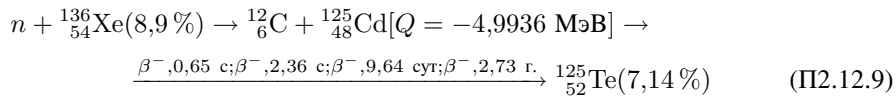
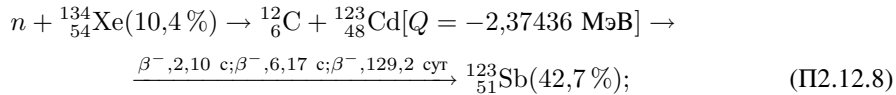
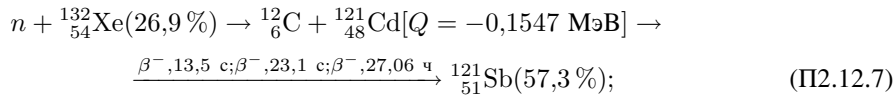
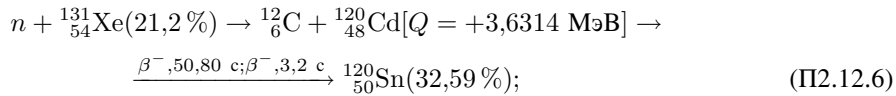
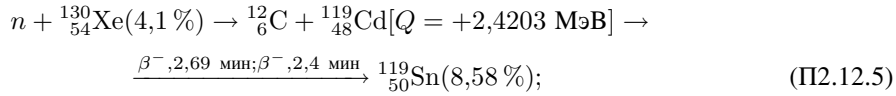
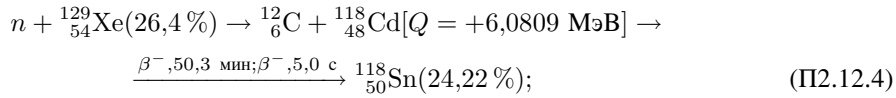
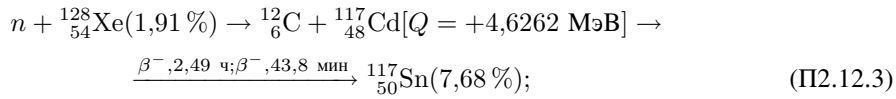
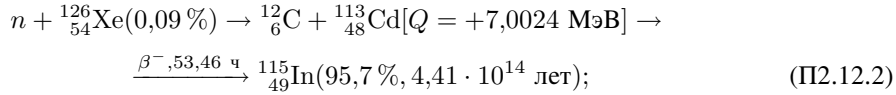
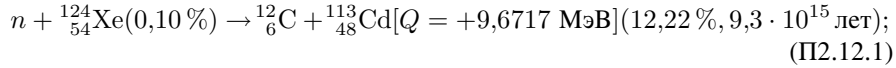
Как видно из уравнений (П2.10.1)–(П2.10.6), в реакциях слияния ядер ксенона с α -частицами с энергией 6,49 МэВ, образовавшимися в результате распадов ядер ксенона, могут синтезироваться шесть изотопов бария за исключением изотопа $^{137}_{56}\text{Ba}$ (11,23 %).

3.3. Синтез теллура. Приведем несколько реакций ксенона с захватом нейтронов из реакций (П2.2.1)–(П2.2.9):

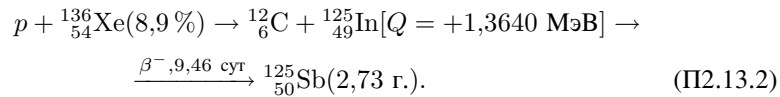
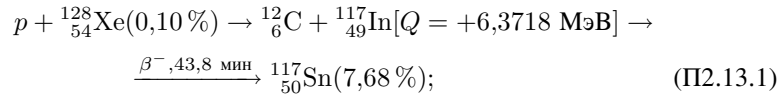


Из уравнений (П2.11.1)–(П2.11.8) можно сделать следующие выводы: что если деление изотопов ксенона в реакциях с захватом нейтрона имело место, то в результате должны присутствовать гелий, изотопы теллура — $^{121}_{52}\text{Te}$ и сурьма — $^{121}_{51}\text{Sb}$ (57,3 %), а также йод $^{127}_{53}\text{I}$ (100 %) и $^{129}_{53}\text{I}$ ($1,57 \cdot 10^7$ лет).

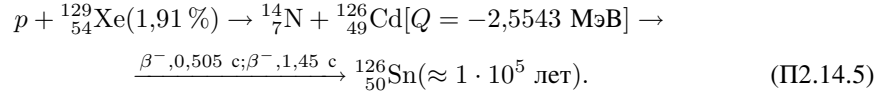
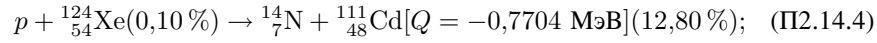
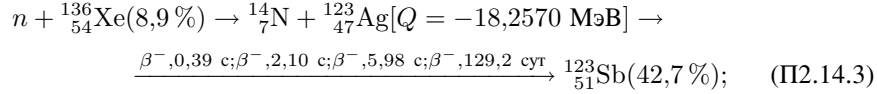
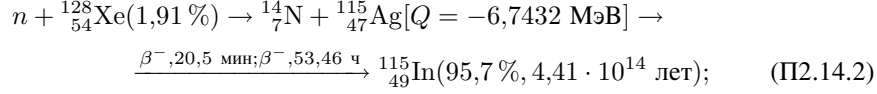
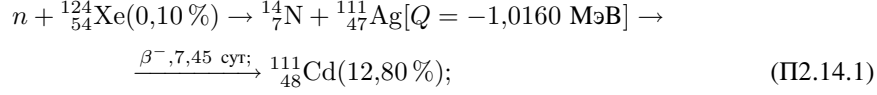
3.4. Реакции с образованием углерода:



Помимо этих реакций могут происходить реакции подбарьерного слияния протонов из уравнений (П2.13.1)–(П2.13.2) с ядрами ксенона типа

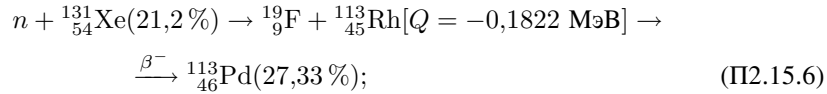
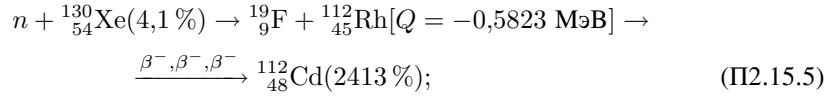
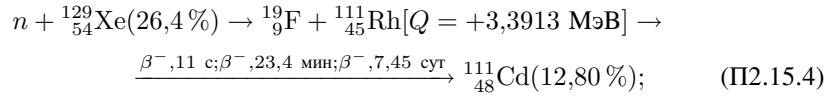
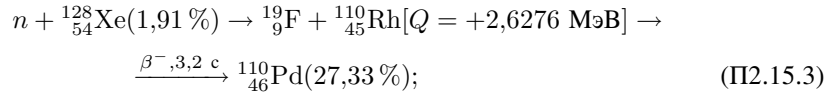
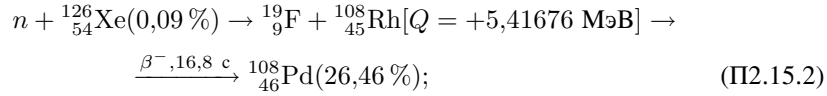
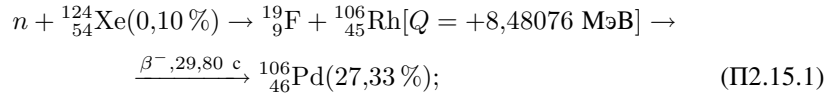


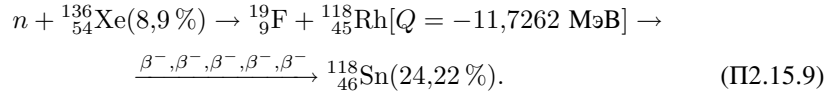
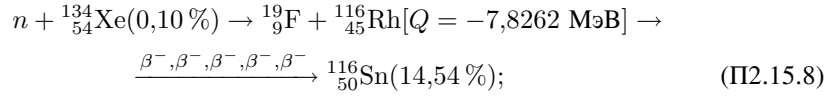
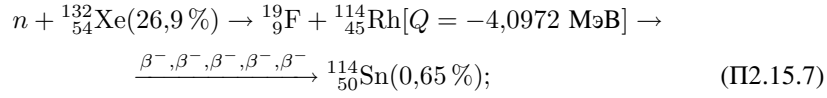
3.5. Реакции с образованием азота в капельной модели ядра, которые имеют отрицательную энергию реакции:



Все реакции с образованием ${}^{14}_7\text{N}$ имеют отрицательную энергию реакции, поэтому азота и не образуется при асимметричном делении ксенона при захвате нейтрона, что является косвенным подтверждением данного подхода.

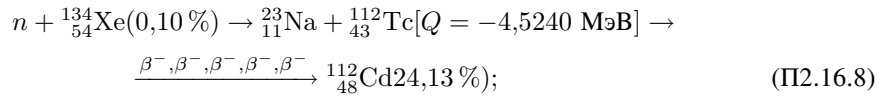
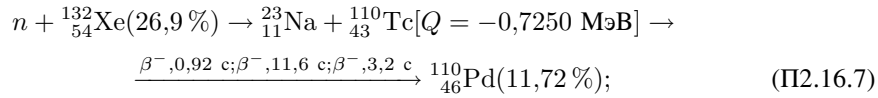
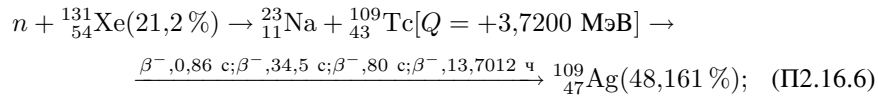
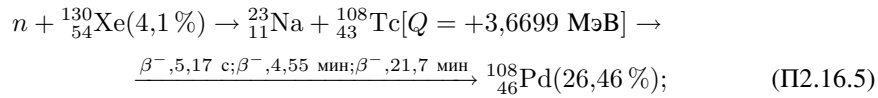
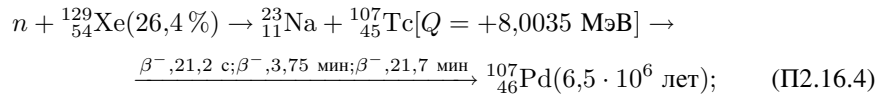
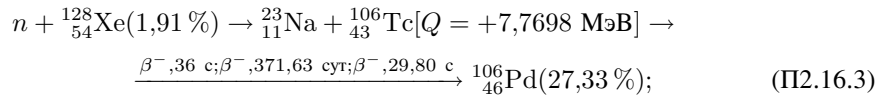
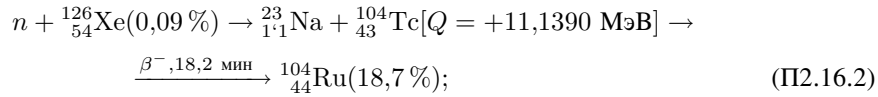
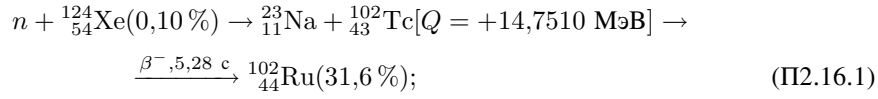
3.6. Реакции с образованием фтора при асимметричном делении составных ядер при захвате нейтронов изотопами ксенона в капельной модели ядра [8–10]:

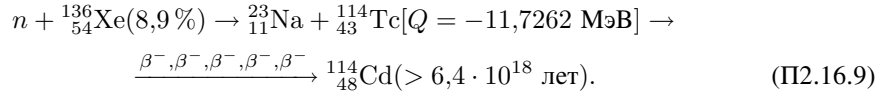




Как видно, только реакции (П2.15.1)–(П2.15.4) имеют положительные значения энергий реакций с образованием наряду со фтором кадмия, который наблюдается в РМЗА-измерениях. А олова с отрицательной энергией реакции (П2.15.5)–(П2.15.9) как раз и не наблюдается!

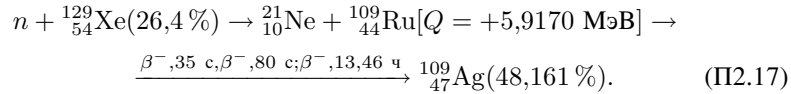
3.7. Реакции с образованием натрия:





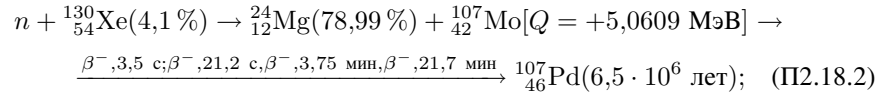
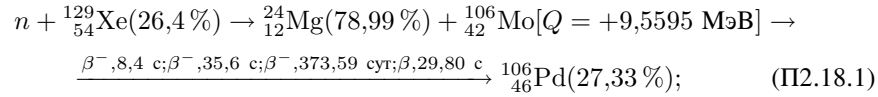
Как видно, при образовании натрия сопутствующими элементами должны быть палладий (П2.16.1)–(П2.16.5) и серебро (П2.16.6).

3.8. Образование серебра:

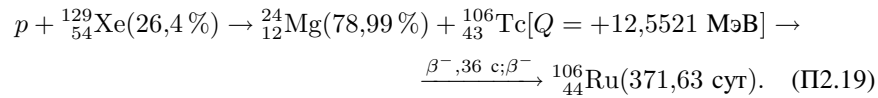


Можно показать, что образование в сравнимых количествах изотопа серебра ${}^{107}_{47}\text{Ag}$ с концентрацией в естественной смеси 51,839% в реакциях деления изотопов ксенона при захвате нейтрона невозможно из-за образования долгоживущего изотопа палладия ${}^{107}_{46}\text{Pd}$ с периодом полураспада $6,5 \cdot 10^6$ лет. Поэтому обнаружение этого изотопа палладия — ${}^{107}_{46}\text{Pd}$ и только одного изотопа серебра — ${}^{109}_{47}\text{Ag}$ при масс-изотопном SIMS-анализе может служить критерием и доказательством реакций деления ксенона.

3.9. Образование магния:

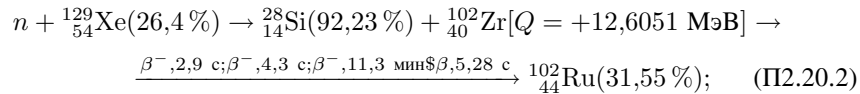
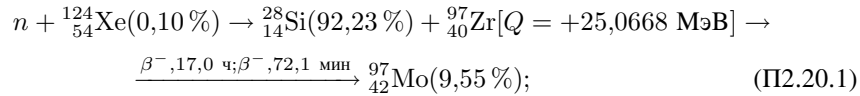


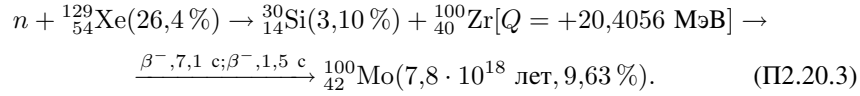
Или в реакциях ядер ксенона с протоном:



Тем не менее получение магния описать можно, но при этом не был обнаружен сопутствующий элемент палладий.

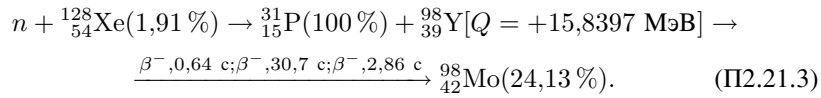
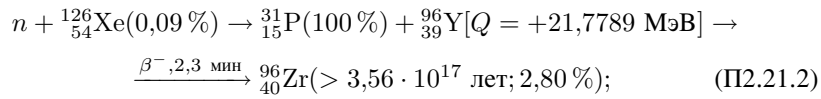
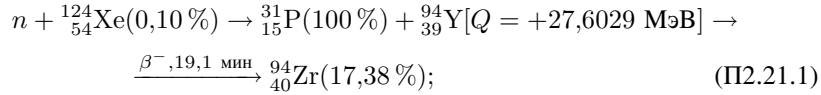
3.10. Получение кремния (его много в виде покрытия):



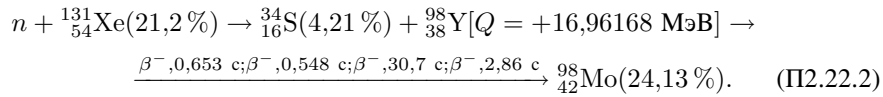
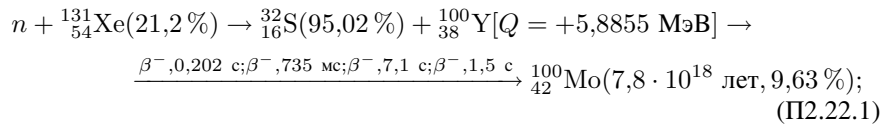


Наряду с образованием кремния образуется молибден, который также обнаружен.

3.11. Получение фосфора:

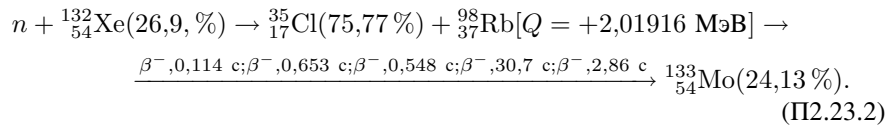
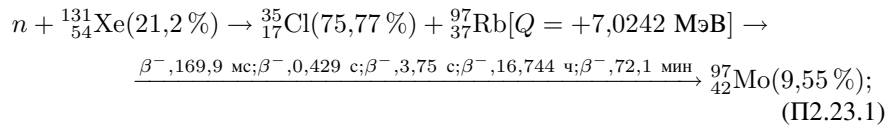


3.12. Получение серы. Проверим возможность образования серы в реакциях при асимметричном делении ксенона при захвате нейтрона:



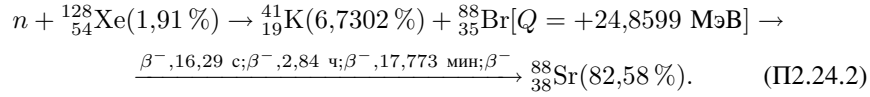
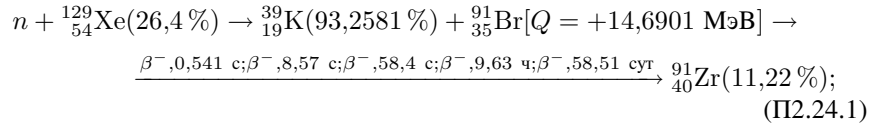
Здесь также образуется сера и молибден, а также цирконий.

3.13. Получение хлора:



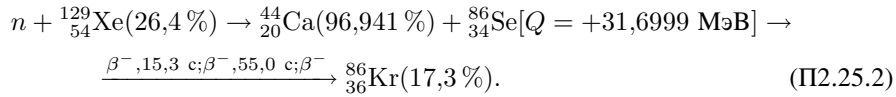
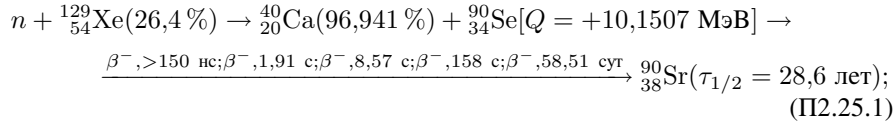
Здесь вместе с хлором образуется сопутствующий элемент — молибден.

3.14. Получение калия:



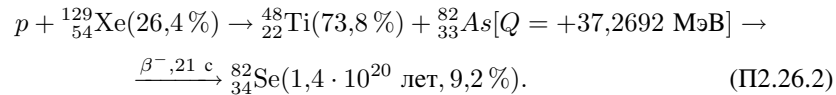
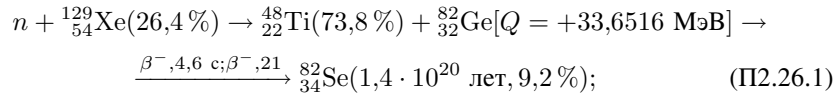
Наряду с калием может образовываться стронций, который также обнаружен.

3.15. Получение кальция:



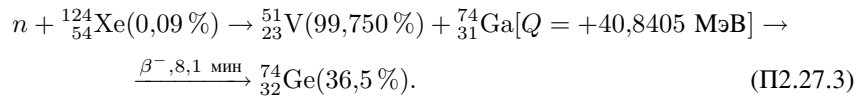
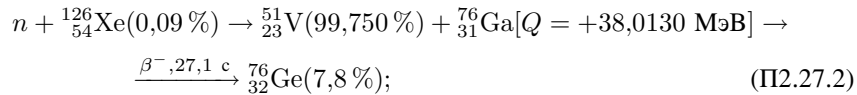
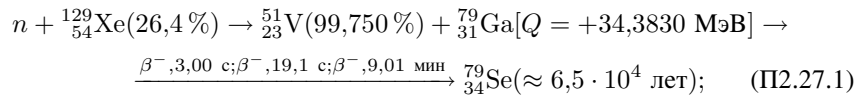
Кальций может образовываться в паре с ${}^{90}_{38}\text{Sr}(\tau_{1/2} = 28,6 \text{ лет})$, который испускает электроны с энергией 0,546 МэВ и имеет гамма-линию 0,91 МэВ, по которым его можно идентифицировать!

3.16. Получение титана:



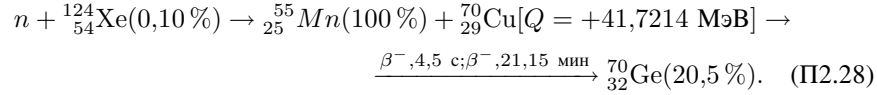
Селен не был обнаружен, может, имеет смысл его поискать дополнительно для подтверждения этой реакции.

3.17. Получение ванадия:



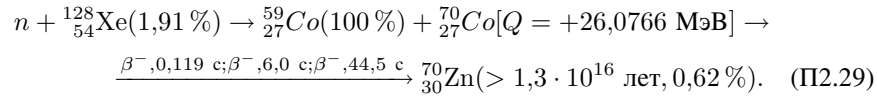
Как ванадий, так и германий были обнаружены в РМЗА-исследованиях.

3.18. Получение марганца:



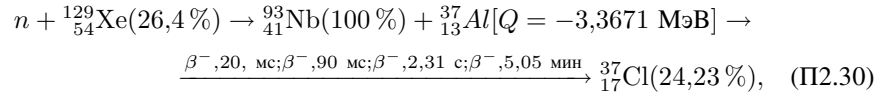
В этой реакции помимо марганца образуется германий.

3.19. Получение кобальта:

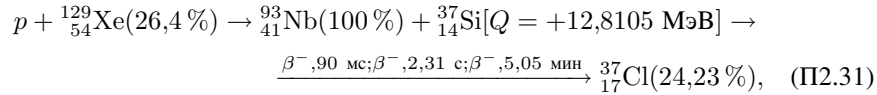


Здесь также образуется цинк, который присутствует в микрочастицах. Германий, стронций, цирконий и молибден уже могли образовываться в написанных выше реакциях.

3.20. Рассмотрим реакции деления с выходом ниобия:

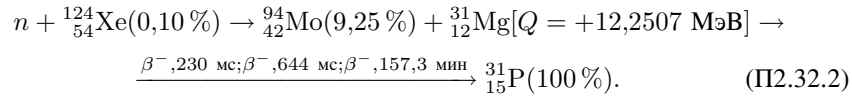
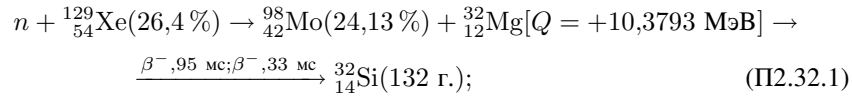


в этой реакции с захватом нейтрона, энергия реакции отрицательная,



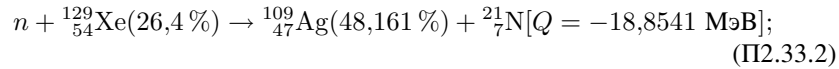
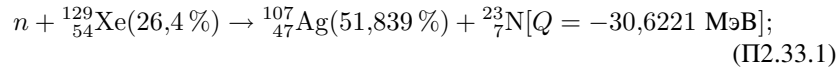
а в этой реакции (П2.31) помимо ниобия образуется хлор, которого много в покрытии.

3.21. Проверка на образование молибдена:



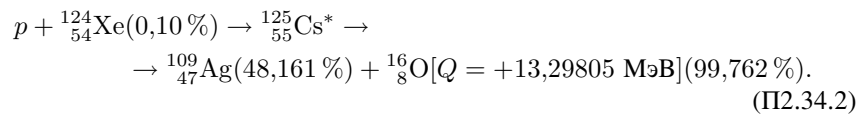
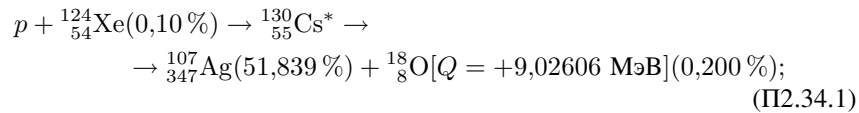
В реакциях (П2.32.1) и (П2.32.2) помимо молибдена могут образовываться кремний и фосфор.

3.22. Проверим возможность асимметричного деления ксенона в реакции с нейтроном для образования серебра:



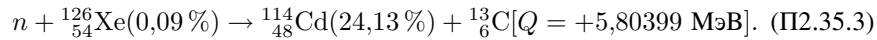
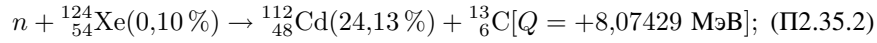
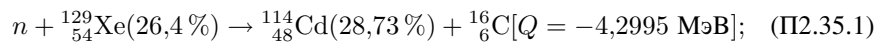
как видно, эти реакции не могут происходить, так как энергия реакции отрицательная.

Рассмотрим реакции подбарьерного слияния с протонами:



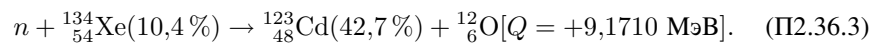
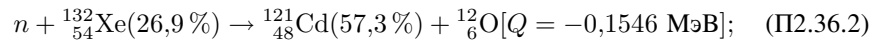
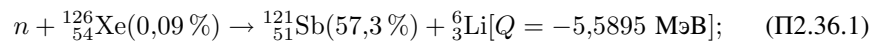
Реакции с протонами могут происходить с одновременным образованием кислорода.

3.23. Рассмотрим получение кадмия:



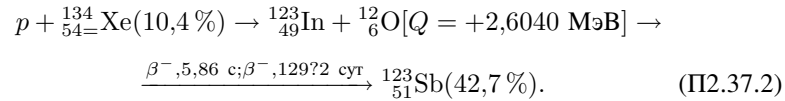
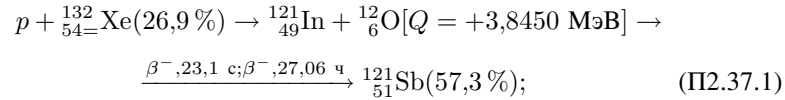
Как видно, с более тяжелыми изотопами ксенона реакции с образованием кадмия идти не могут, так как образуются тяжелые изотопы углерода с большой положительной энергией дефекта массы, и энергия реакции становится отрицательной — реакция (П2.35.1). С легкими изотопами углерода реакции могут происходить — реакции (П2.35.2) и (П2.35.3).

3.24. Рассмотрим реакции по получению сурьмы, ${}^{121}_{51}\text{Sb}(57,3\%)$ и ${}^{123}_{51}\text{Sb}(42,7\%)$:



Можно сделать вывод, что образовываться может только изотоп ${}^{123}_{51}\text{Sb}(42,7\%)$, у которого энергия реакции оказывается положительной.

Рассмотрим реакцию с протоном, также приводящую к образованию сурьмы:



Из представленных в данном приложении 2 реакций видно, что все обнаруженные при РЭМ- и РЗМА-исследованиях элементы, такие как: ${}_6\text{C}$, ${}_9\text{F}$, ${}_{11}\text{Na}$, ${}_{12}\text{Mg}$, ${}_{13}\text{Al}$, ${}_{14}\text{Si}$, ${}_{15}\text{P}$, ${}_{16}\text{S}$, ${}_{17}\text{Cl}$, ${}_{19}\text{K}$, ${}_{20}\text{Ca}$, элементы группы металлов средних масс: ${}_{22}\text{Ti}$, ${}_{23}\text{V}$, ${}_{24}\text{Cr}$, ${}_{25}\text{Mn}$, ${}_{26}\text{Fe}$, ${}_{27}\text{Co}$, ${}_{28}\text{Ni}$, ${}_{29}\text{Cu}$, ${}_{30}\text{Zn}$ и более тяжелые элементы: ${}_{32}\text{Ge}$, ${}_{38}\text{Sr}$, ${}_{40}\text{Zr}$, ${}_{41}\text{Nb}$, ${}_{42}\text{Mo}$, ${}_{47}\text{Ag}$, ${}_{51}\text{Sb}$ и барий можно получить в приведенных реакциях деления ядер ксенона при захвате нейтронов или при подбарьерном слиянии с протонами и альфа-частицами.

Но в приведенных реакциях синтеза с образованием более тяжелых элементов, таких как ${}_{73}\text{Ta}$, ${}_{74}\text{W}$, ${}_{79}\text{Au}$, ${}_{81}\text{Tl}$, ${}_{82}\text{Pb}$, помимо больших величин кулоновского барьера энергии реакций большие отрицательные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дидык А.Ю., Гульбекян Г.Г., Мышинский Г.В. РЭМ- и РЗМА-исследования синтезированных частиц при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-71. Дубна, 2015. 40 с.
2. Физические величины. Справочник / Под ред. Григорьева И. С. и Мейлихова Е. З. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1233 с.
3. Голашвили Т.В., Чечев В.П., Бадиков С.А. Справочник нуклидов. М.: Изд. дом МЭИ, 2011. 461 с.
4. Didyk A. Yu., Wiśniewski R. Phenomenological Nuclear-Reaction Description in Deuterium-Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas under γ -Quanta Irradiation // Part. Nucl., Lett. 2013. V. 10, No. 3(180). P.437–457.
5. Didyk A. Yu., Wiśniewski R. Properties of Hydrogen and Its Isotopes under High Pressure, and Technological Applications. Dubna: JINR, 2013. 320 p.
6. Ииханов Б. С., Капитонов И. М. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными ядрами. М.: Изд-во МГУ. 215 с.
7. Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика. Т. 1. Физика атомного ядра. М.: Энергоатомиздат, 1983. 616 с.

8. *Moretto Luciano G.* Statistical Emission of Large Fragments: A General Theoretical Approach // Nucl. Phys. A. 1975. V. 247. P. 211–230.
9. *Sierk A. J.* Mass-Asymmetric Fission of Light Nuclei // Phys. Rev. 1985. V. 55, No. 6. P. 582–583.
10. *Sierk A. J.* Macroscopic Model of Rotating Nuclei // Phys. Rev. C. 1986. V. 33, No. 6. P. 2039–2052.
11. *Углов В. В.* Радиационные эффекты в твердых телах. Минск: БГУ, 2011. 208 с.

Получено 3 августа 2015 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 23.10.2015.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2,37. Уч.-изд. л. 2,82. Тираж 225 экз. Заказ № 58663.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/