



Объединенный институт ядерных исследований
Лаборатория Ядерных Реакций им. Г.Н. Флёрва

ОТЧЁТ ПО ПРОГРАММЕ УНЦ ОИЯИ“INTEREST”

**Определение масс сверхтяжелых элементов в
экспериментах по синтезу Sn и Fl по реакциям**
 $^{48}\text{Ca} + ^{242}\text{Pu}$ и $^{48}\text{Ca} + ^{244}\text{Pu}$

Руководитель:

Младший научный сотрудник
Веденеев Вячеслав Юрьевич

Студент:

Расулова Фазилат Абдувалиевна,
Республика Узбекистан

Период участия:

Октябрь 01 – Ноябрь 20, Волна 1

ANNOTATION

MASHA facility was built for identification of super heavy elements (SHE) by their mass-to-charge ratios. The yields of SHE in full fusion reactions $48\text{Ca} + 238\text{U}$, $48\text{Ca} + 242\text{Pu}$, $48\text{Ca} + 244\text{Pu}$ is very low due to its low cross-sections of several nanobarns. That is why the reactions of Hg formations as the possible homologue of 112 and 114 were used for the test experiments. The separation efficiency of mercury could predict the separation efficiency of super heavy elements and thus predict its expected yields. To perform the mass measurement and determination of short-lived isotopes of Hg (as the homologue to SHE), Rn and its daughter nuclei by α -decay chains at position sensitive Si detector. Simultaneous yield measurements of Cn, Fl, and Hg.

ВВЕДЕНИЕ

В экспериментах по синтезу и исследованию свойств трансурановых и сверхтяжелых элементов традиционно используется радиохимическая идентификация или метод, основанный на известных свойствах распадов синтезированных ядер, оканчивающихся уже изученными ядрами. На сегодняшний день установки, на которых проводятся эксперименты по изучению свойств сверхтяжелых элементов, существуют в GSI (Дармштадт, Германия), RIKEN (Вако-Ши, Япония), GANIL (Кан, Франция), LBNL (Беркли, США) и ОИЯИ (Дубна, Россия). Ввиду того, что время жизни большинства сверхтяжелых ядер невелико (от 100 мкс до 10 мс), для их синтеза применяются кинематические сепараторы, способные надежно отделять продукты реакций слияния от фона, обладающие высокой эффективностью и быстродействием. Но ни один из этих сепараторов не способен производить идентификацию продуктов по массе.

Масс-сепаратор MASHA (MassAnalyzerofSuperHeavyAtoms) спроектирован и изготовлен с целью идентификации по массе сверхтяжелых ядер с помощью масс-спектрометрической техники. Уникальные возможности масс-сепаратора связаны с его способностью измерять массы синтезируемых изотопов сверхтяжелых элементов и одновременно регистрировать их α -распады и (или) спонтанное деление.

Масс-сепаратор установлен на специально созданном канале выведенных пучков циклотрона У-400М. Первые тесты установки проведены в автономном режиме, когда поток продуктов реакций имитировался калиброванным потоком атомов криптона. Целью этих тестов было определение основных параметров спектрометра. В результате установлено, что полная эффективность составляет 47%, а разрешение по массе $M/\Delta M$ - 1400. Такая эффективность означает, что почти половина ядер, полученных в эксперименте, в виде однозарядных ионов может быть доставлена до фокальной плоскости, а, следовательно, измерена их масса и определены характеристики распада. Разрешение 1400 означает, что даже для десяти атомов СТЭ его масса может быть измерена с точностью $1/4400$ атомной единицы массы, или $3,75 \times 10^{-31}$ кг. В настоящее время проведено с десятков значимых экспериментов на пучке циклотрона У-400М.

В экспериментах по изучению химических свойств сверхтяжелых элементов, было обнаружено, что элемент Коперниций (Cn, $Z = 112$) имеет повышенную летучесть по сравнению со своим химическим аналогом ртутью [1]. Это обстоятельство послужило основой научной программы измерения масс сверхтяжелых ядер на установке MASHA [2] с использованием ISOL-метода синтеза и выделения продуктов реакций слияния [2], а также метода масс-спектрометрического анализа. На установке MASHA были выполнены тестовые эксперименты по измерению масс изотопов радона и ртути, образованных в реакциях полного слияния.

Другой важной мотивацией для выполнения данной работы было изучение особенностей реакций слияния с ядрами-мишенями, находящимися вблизи магического числа нейтронов $N = 82$. Исследование влияния свойств входного канала реакции (деформаций ядер и масс-асимметрии) на функции возбуждения остатков испарения при энергиях вблизи кулоновского барьера было проведено для реакций $^{40}\text{Ar} + ^{144}\text{Sm}$, $^{36}\text{Ar} + ^{148}\text{Sm}$ и $^{40}\text{Ca} + ^{144}\text{Nd}$, ведущих к образованию составного ядра ^{184}Hg .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Эксперимент выполнялся в Лаборатории Ядерных Реакций ОИЯИ на пучках тяжелых ионов ^{40}Ar и ^{48}Ca , выведенных из ускорителя У-400М с энергией ~ 7 МэВ/нуклон и током до 0.2 электрических мкА. Начальная энергия пучка измерялась в режиме онлайн методом времени пролета с помощью пикап-датчиков, расположенных на расстоянии 1990 мм друг от друга в канале циклотрона. Сигналы пикап-датчиков оцифровывались высокоскоростными дигитайзерами. Точность измерения энергии составляла 0.5%. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

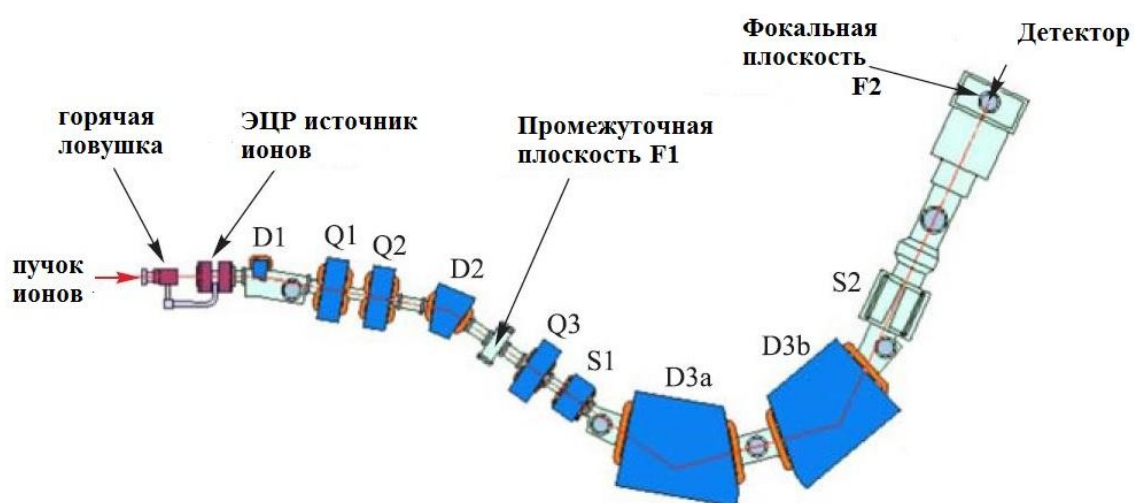


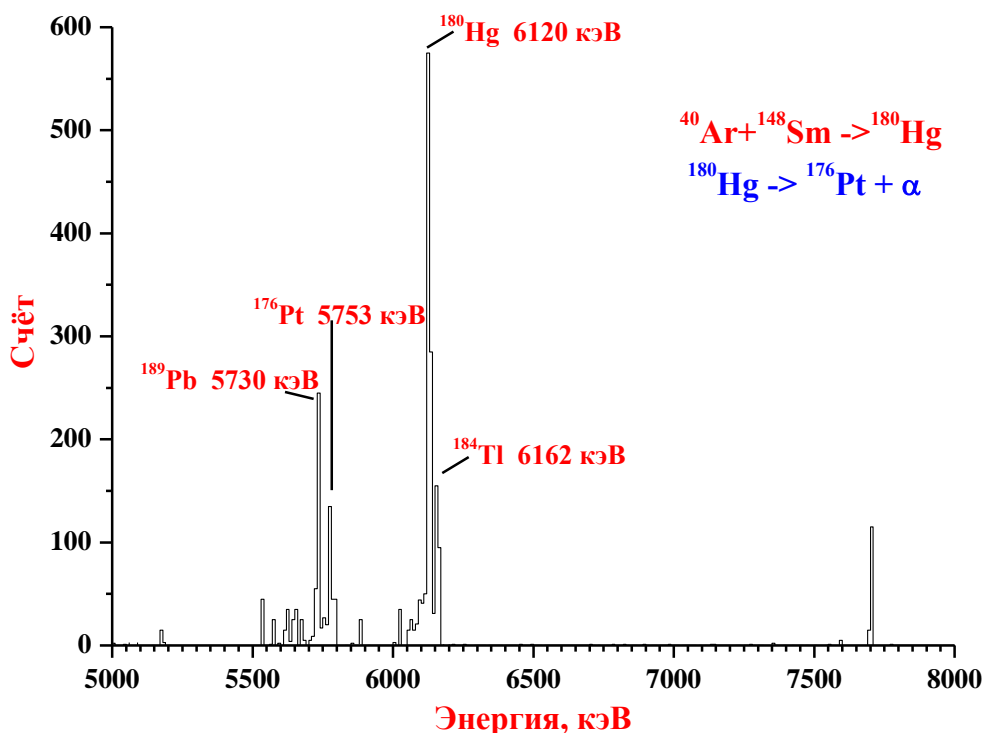
Рис.1. Схема установки

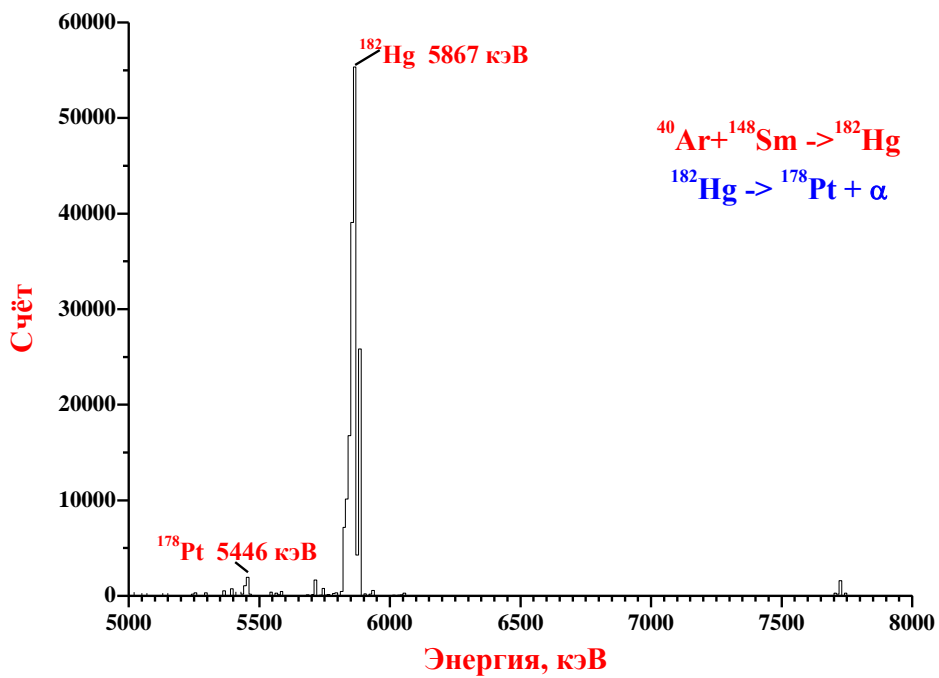
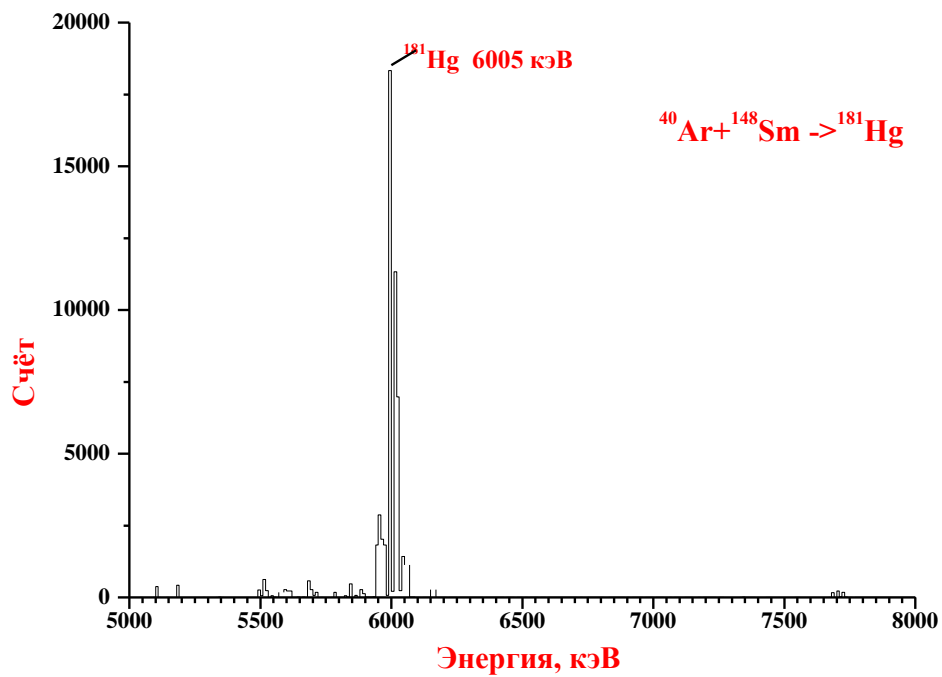


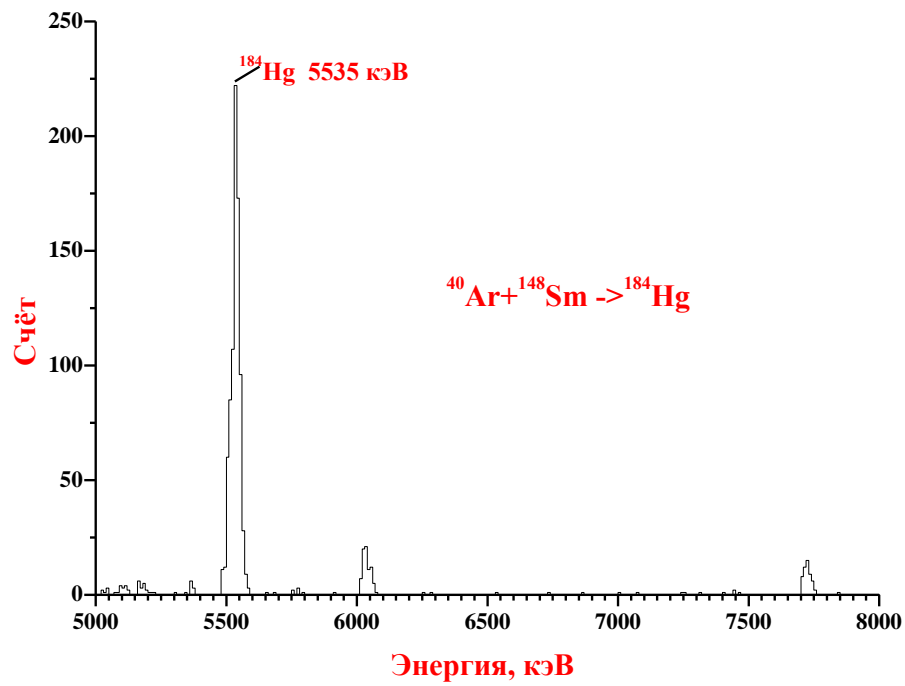
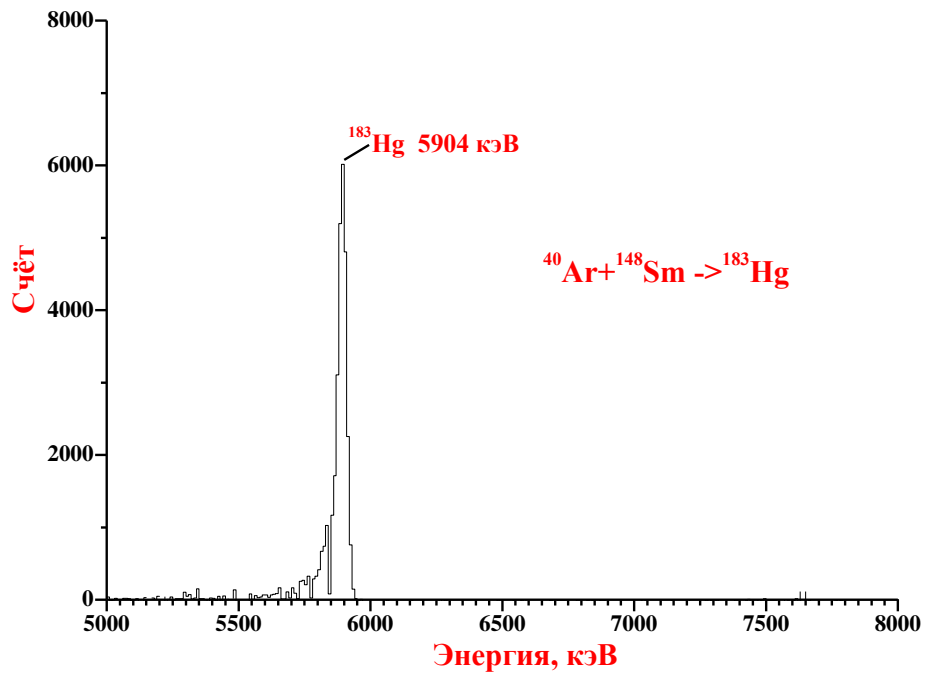
Рис.2. СЕПАРАТОР "МАША"

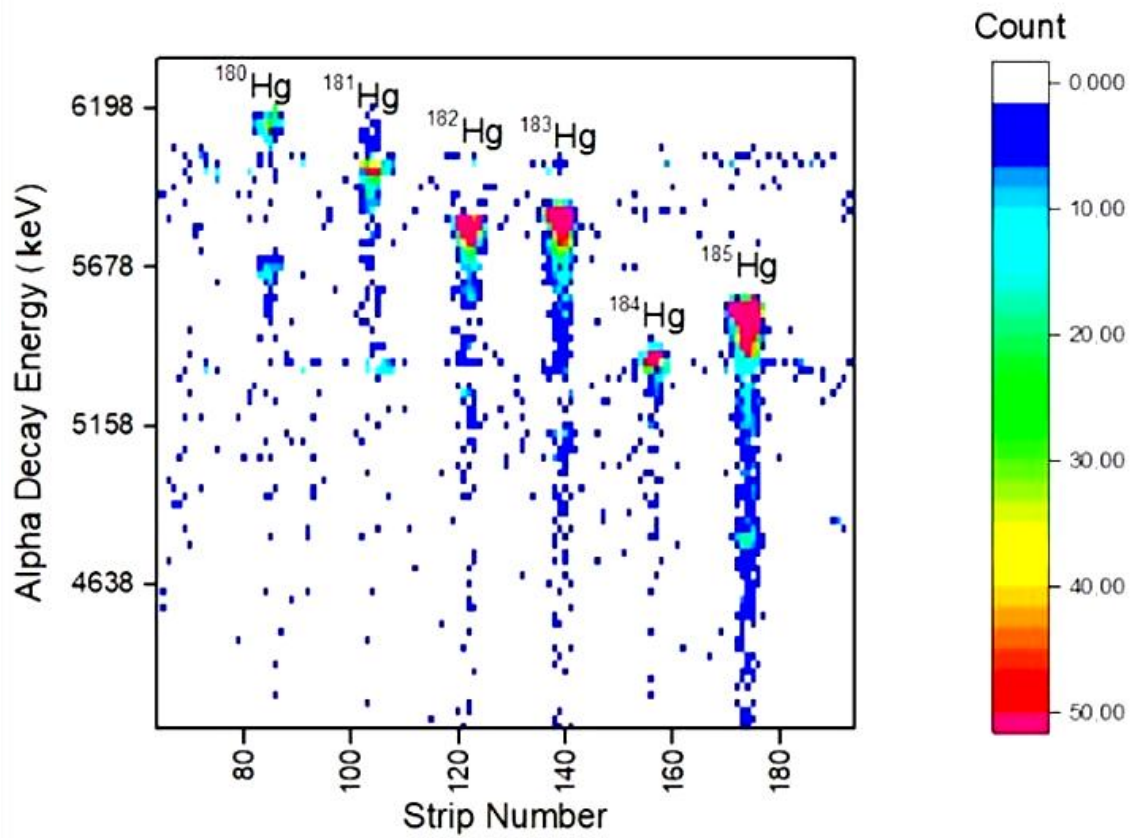
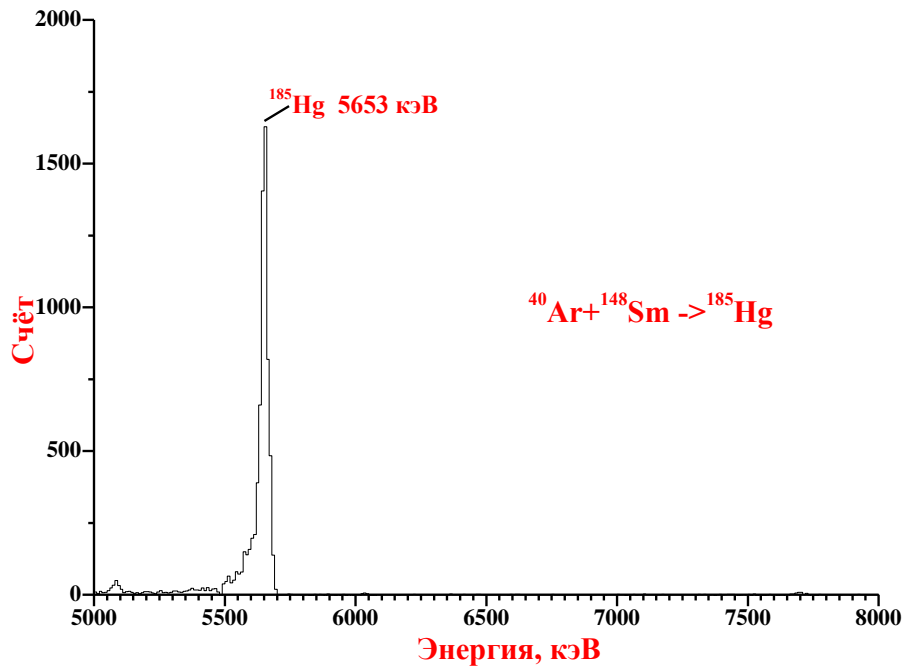
Масс-сепаратор MASHA предназначен для разделения и масс-анализа ионов сверхтяжелых элементов с массой $A \approx 1-450$ а.е.м., энергией вторичного пучка $E = 40$ кэВ и зарядовым состоянием $Q = + 1$. Массовое разрешение сепаратора 1600-3000. Это очень важно для идентификации цепочек α -распадов сверхтяжелых элементов. Этот сепаратор предназначен для ионного пучка с эмиттансом 35π мм \times мрад (в горизонтальной и вертикальной плоскостях) ионного источника ЭЦР с круглым выходным отверстием диаметром 5 мм. Сепаратор может калиброваться и тестироваться ионами ртути и радона с массовыми числами $A = 179...186$ и $A = 198...220$ соответственно.

В течение программы УНЦ ОИЯИ "INTEREST" нами был исследован синтез Hg и Rn по реакциям $^{40}\text{Ar} + ^{148}\text{Sm}$ и $^{40}\text{Ar} + ^{166}\text{Er}$. Данные обрабатывались программной средой «OriginPro», куда заносились данные по энергетическим спектрам α -распадов в виде ASCII таблиц. При этом был изображен α -спектр полученных изотопов с учетом испарения некоторого количества нейтронов (1-6) из возбужденного компаунд ядра.







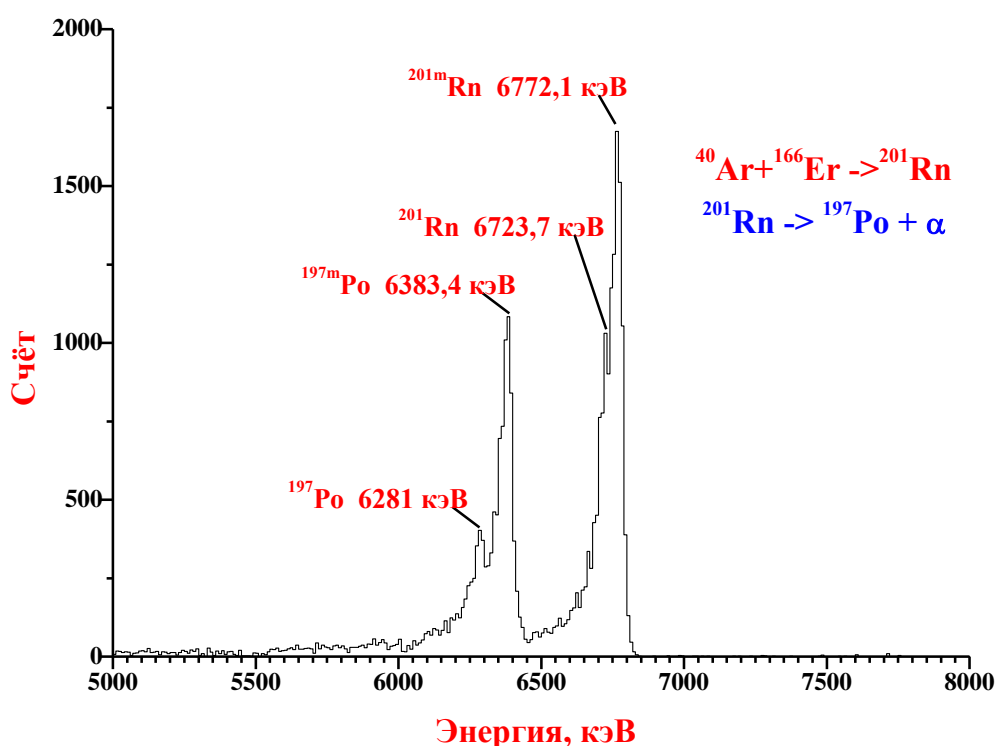


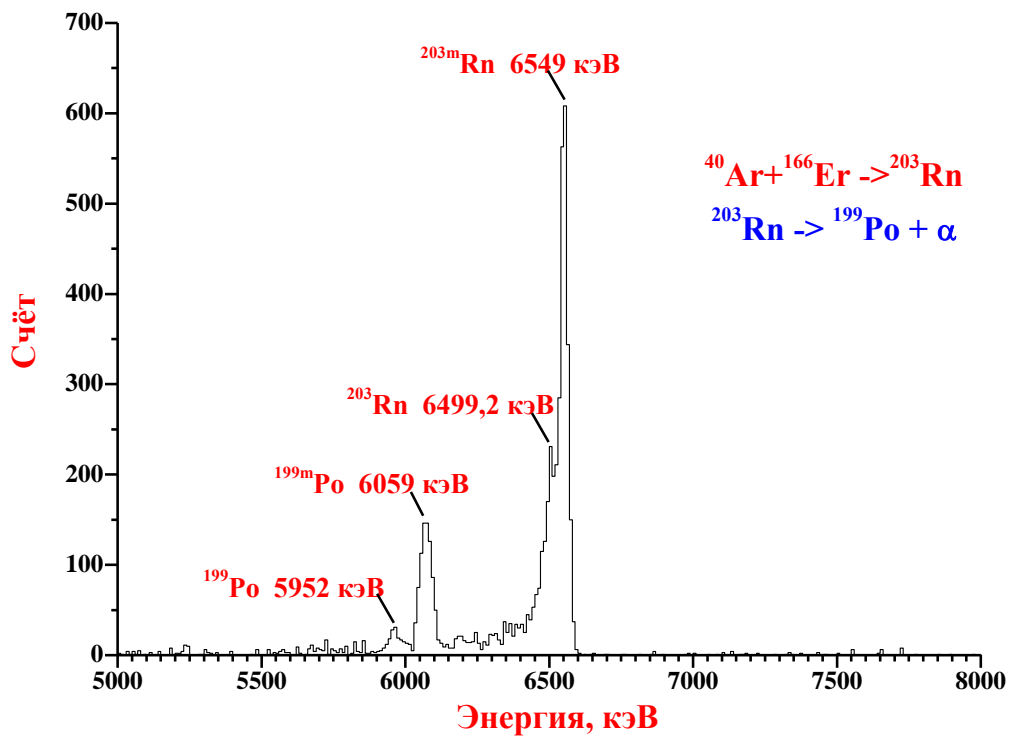
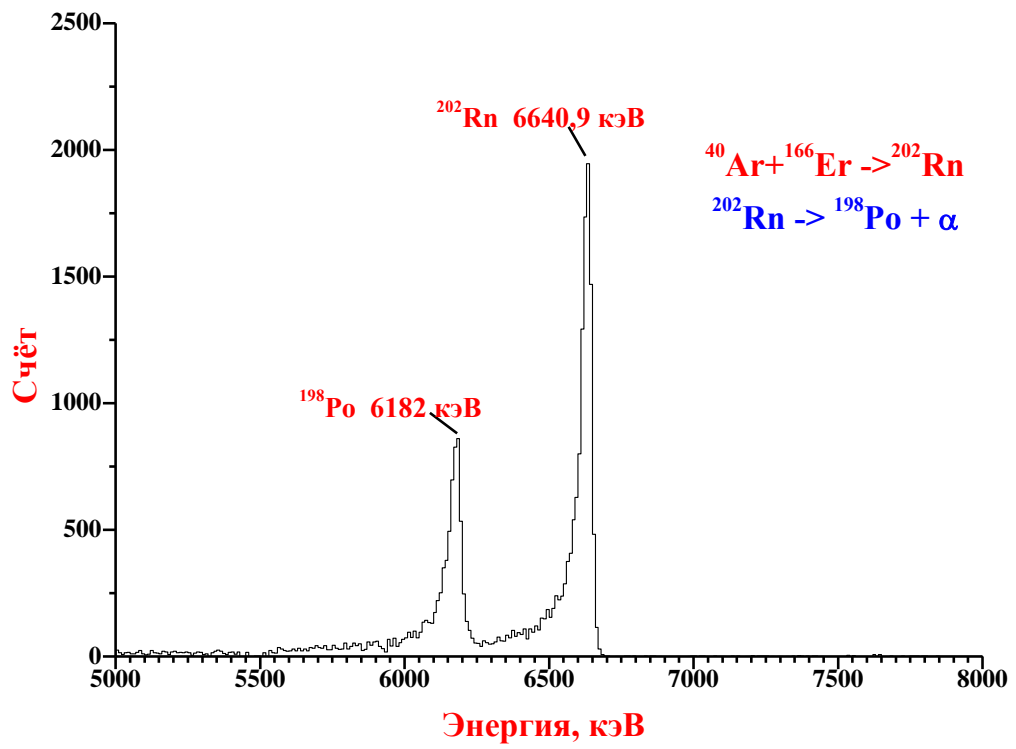
В спектрах видны изотопы Hg, а также дочерние ядра (Pt) их α -распада. Период полураспада и энергия α -частиц приведены в табл. 1.

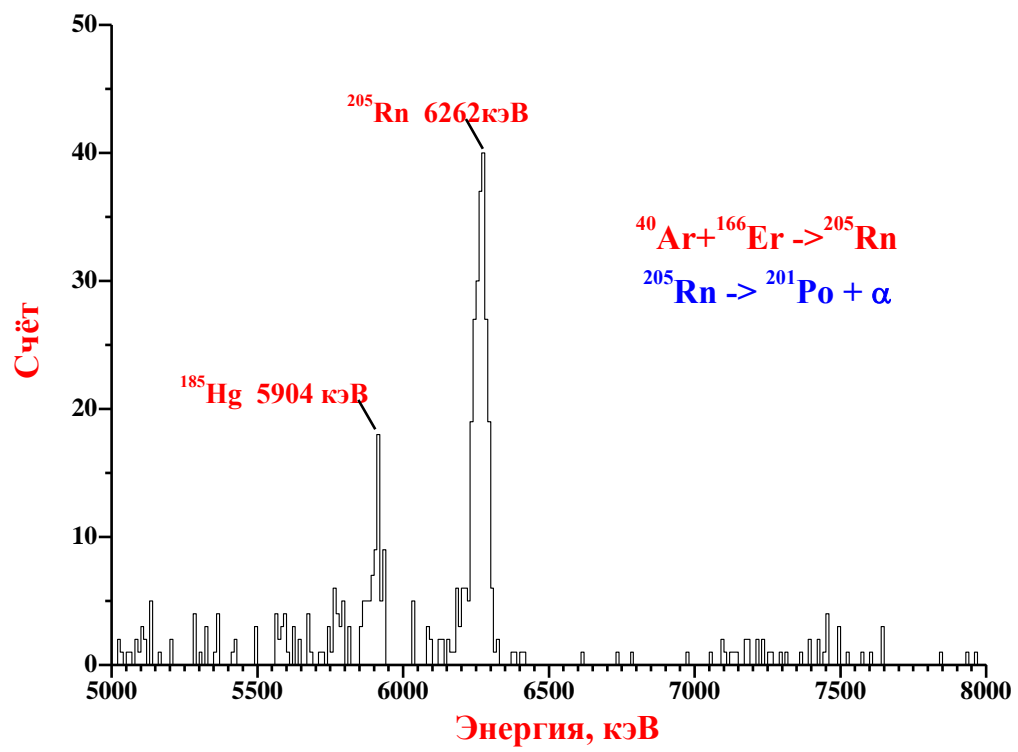
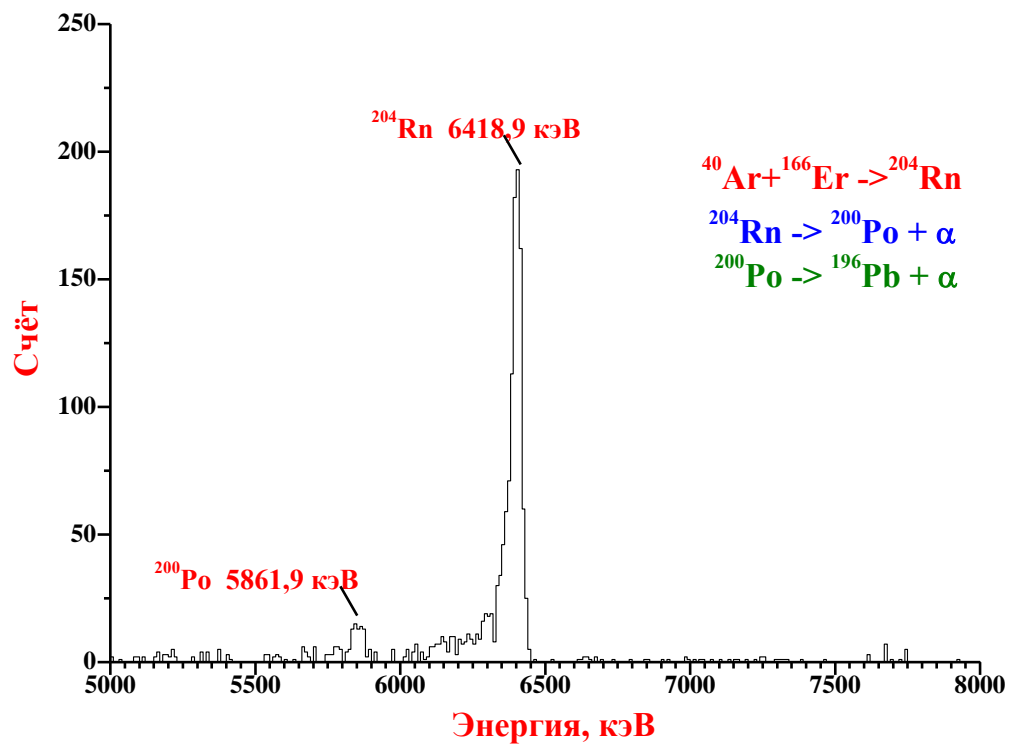
Таблица 1. Идентифицированные ядра реакции $^{40}\text{Ar} + ^{148}\text{Sm}$

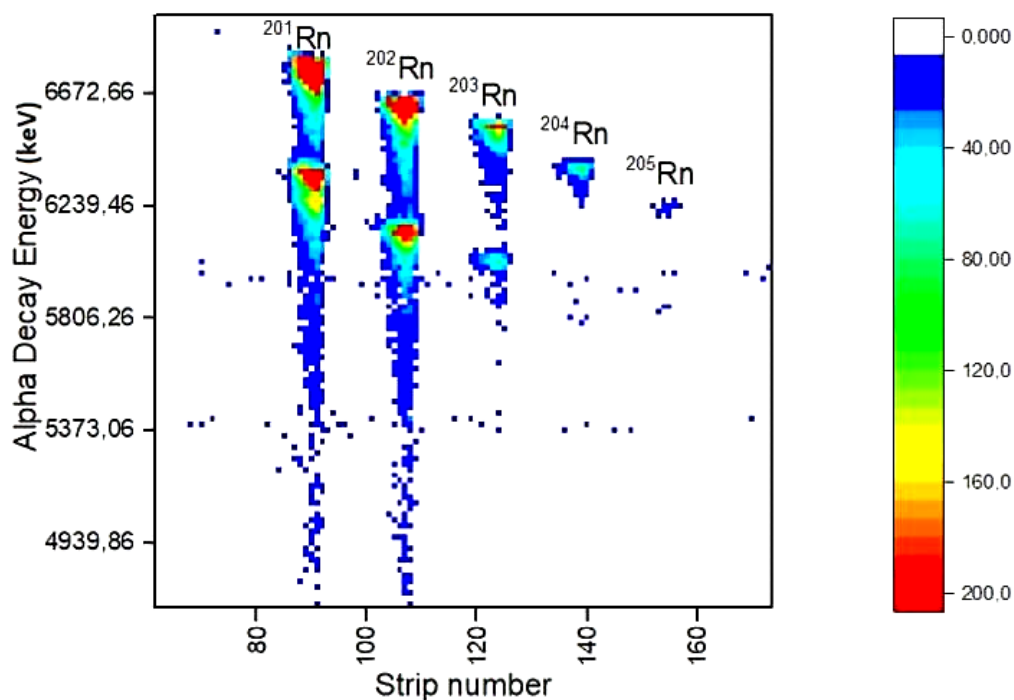
№	ИЗОТОП	$T_{1/2}$, с	E_{α} , МэВ
1	^{180}Hg	2.8	6120 (100%)
2	^{176}Pt	6.33	5753 (99.74%)
3	^{181}Hg	3.6	6005 (87%)
4	^{182}Hg	10.83	5867 (99%)
5	^{178}Pt	21.1	5446 (94.9%)
6	^{183}Hg	9.4	5904 (91%)
7	^{184}Hg	30.9	5535 (99.44%)
8	^{185}Hg	49.1	5653 (95.7)

В ходе работы нами обработаны α -спектры продуктов реакции $^{40}\text{Ar} + ^{166}\text{Er}$ и энергии пучка в центре мишени ~ 180 МэВ.









В спектрах видны изотопы Rn, а также дочерние ядра (Po) их α -распада. Период полураспада и энергия α -частиц приведены в табл.2.

Таблица 2. Идентифицированные ядра реакции $^{40}\text{Ar} + ^{166}\text{Er}$

№	Изотоп	$T_{1/2}$, с	E_{α} , МэВ
1	^{201}Rn	7	6723.7 (100%)
2	$^{201\text{m}}\text{Rn}$	3.8	6772.1 (100%)
3	^{197}Po	53.6	6281 (100%)
4	$^{197\text{m}}\text{Po}$	25.8	6383.4 (100%)
5	^{202}Rn	10	6640.9 (100%)
6	^{198}Po	106.2	6182 (99.99%)
7	^{203}Rn	45	6499.2 (97%)
8	$^{203\text{m}}\text{Rn}$	28	6549 (100%)
9	^{199}Po	328.8	5952 (100%)
10	$^{199\text{m}}\text{Po}$	24.78	6059 (100%)
11	^{204}Rn	74.4	6418.9 (100%)
12	^{200}Po	690	5861.9 (100%)
13	^{205}Rn	168	6262 (98.2%)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение программы УНЦ ОИЯИ “INTEREST” нами был исследован синтез Hg и Rn по реакциям $^{40}\text{Ar} + ^{148}\text{Sm}$ и $^{40}\text{Ar} + ^{166}\text{Er}$. При этом сделана обработка α -спектров облученных мишеней. В спектрах видны изотопы Hg и Rn, а также дочерние ядра (Pt, Po) их α -распада.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Oganessian Yu. Ts., Abdullin F. Sh., Bailey P. D. et al.*, // *Phys. Rev. C*. 2004. V. 70. № 6. Art. no 064609.
2. *Rodin A. M., Chernysheva E. V., Dmitriev S. N. et al* // *Proceedings of the 69th Int. conf. NUCLEUS-2019 (Dubna, 2019)*.