



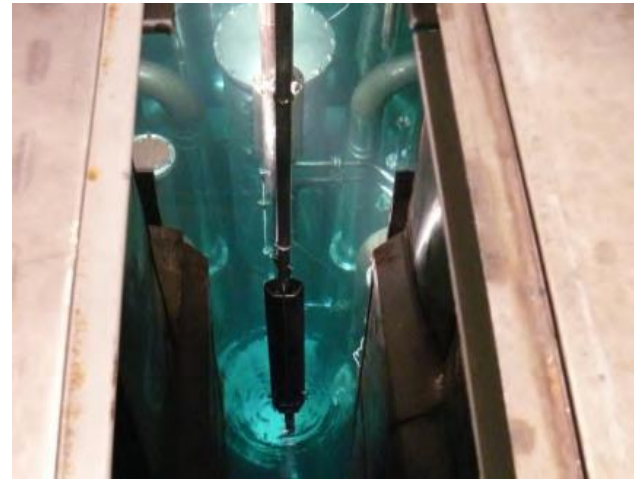
# **Реактор ПИК: статус и возможности наработки нейтронообогащенных изотопов актинидов**

М. Онегин

Совещание по физике тяжелых ионов



### Reactor PIK now





## Equipment of primary cooling



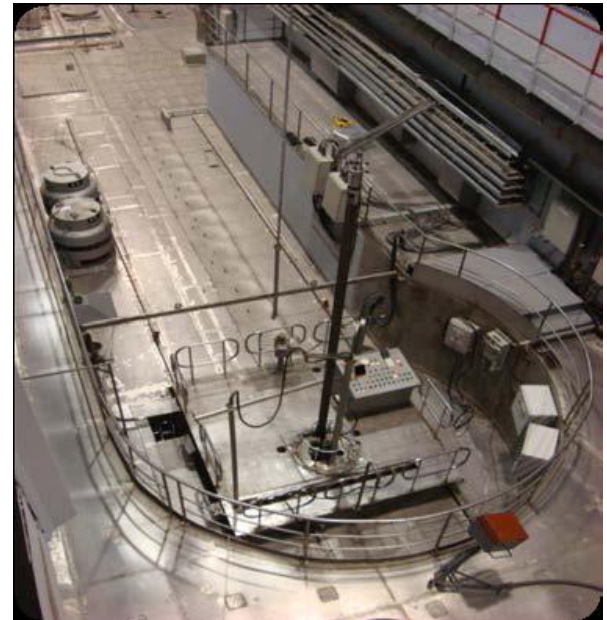
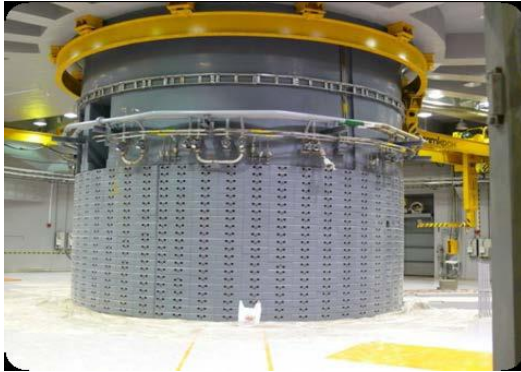


## Emergency storage of liquid radioactive waste

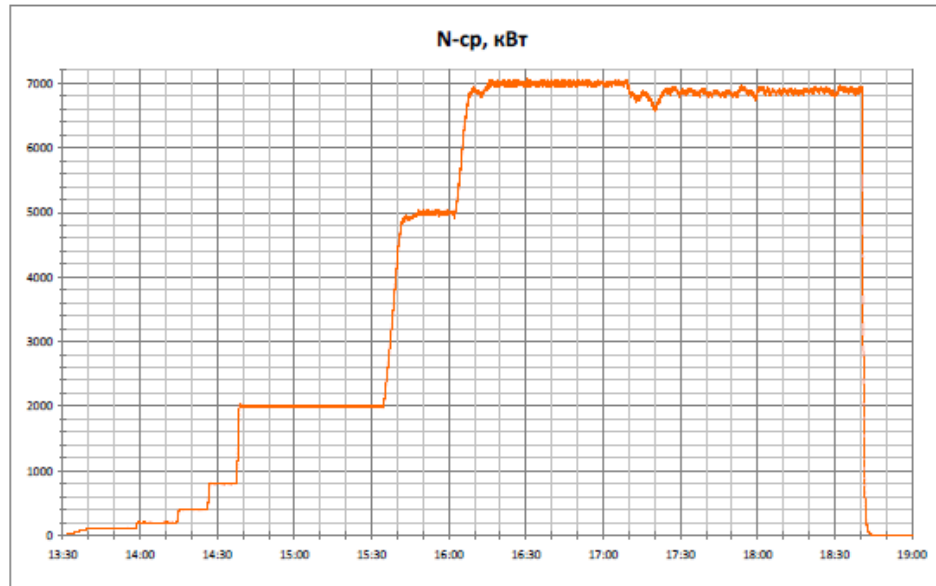
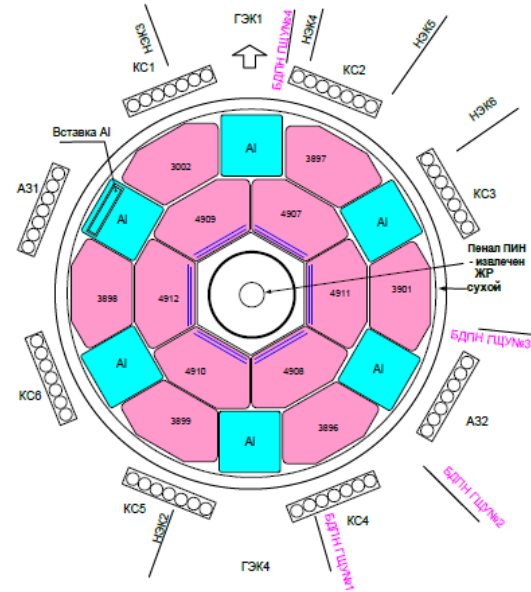
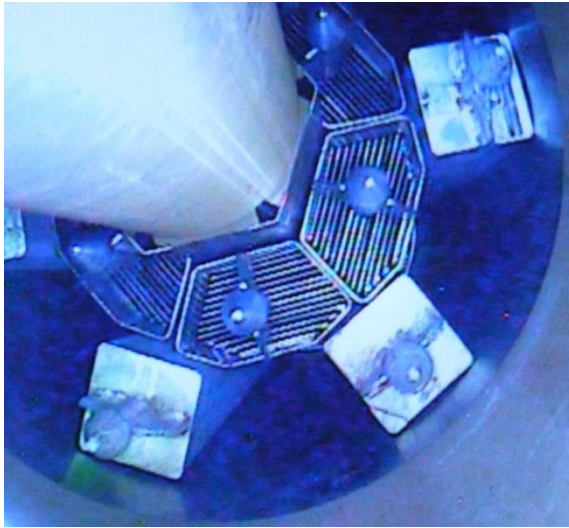




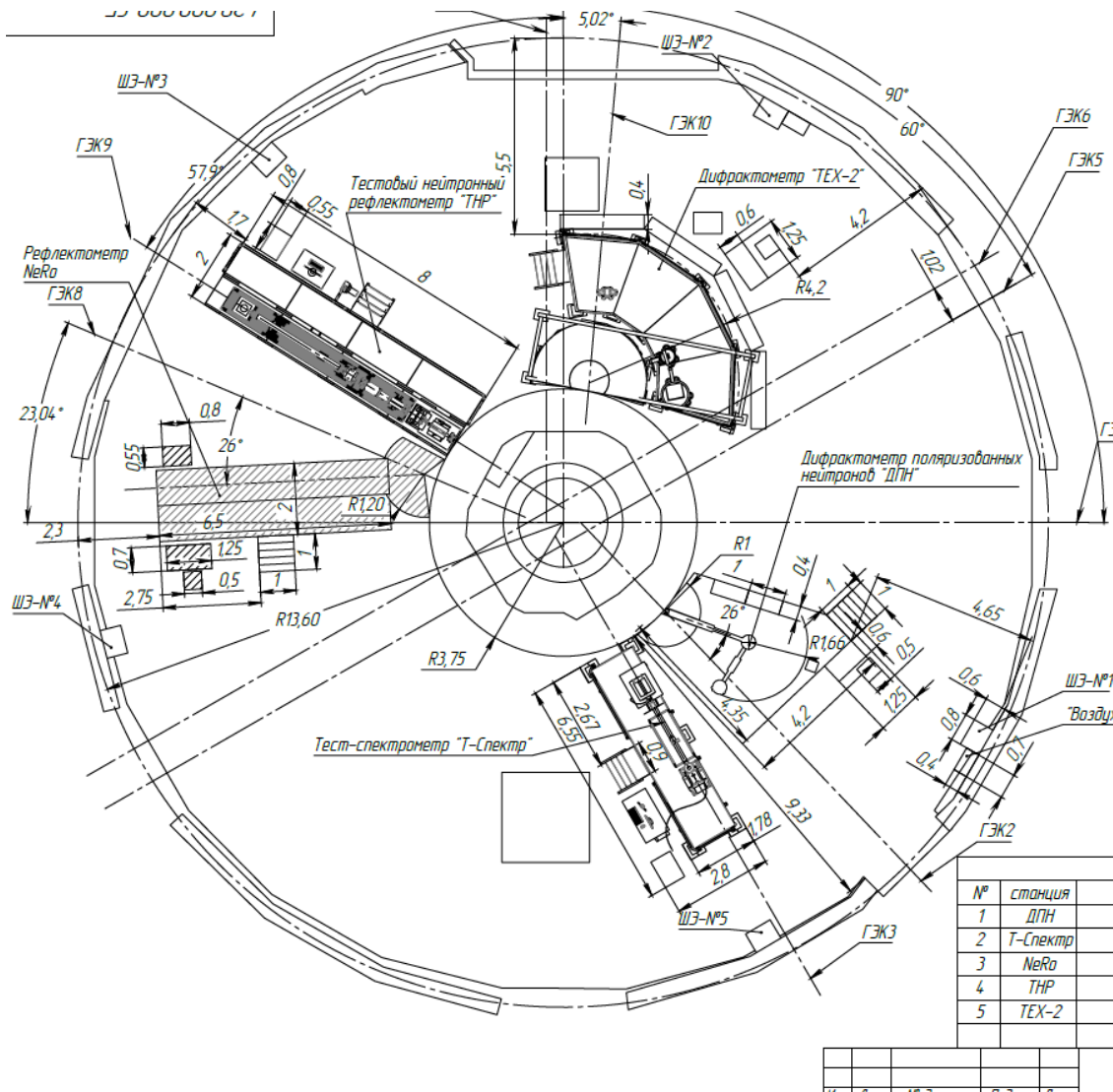
2011 – First neutrons at PIK



# 2022 год, Энергопуск, этап 3 – 10 МВт



Санкт-Петербург, 2022



Создание приборной базы ПИК в рамках Указа Президента РФ от 25.07.2019 "О мерах по развитию синхотронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры в Российской Федерации"

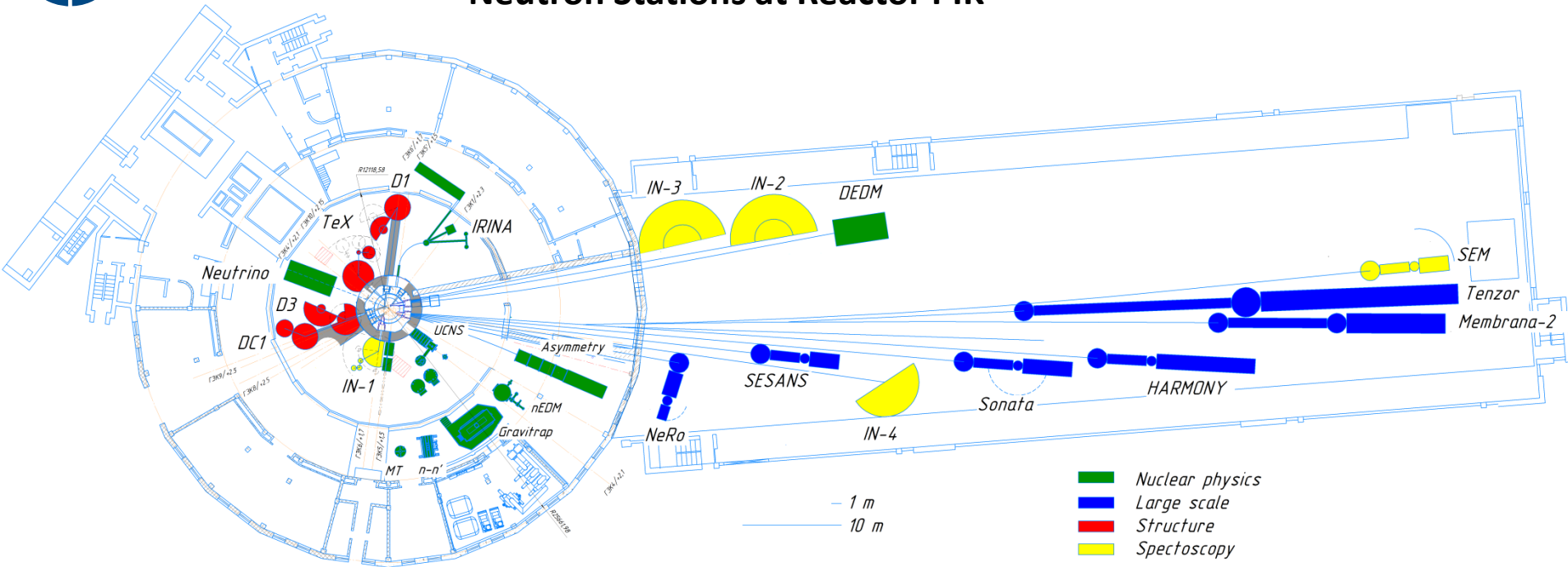
1 Этап – Создание 5 станций  
 2 Этап – 25 нейтронных станций, источников горячих, холодных, ультрахолодных нейтронов. Срок – 2024 год

## Этап: 5 станций





## Neutron Stations at Reactor PIK

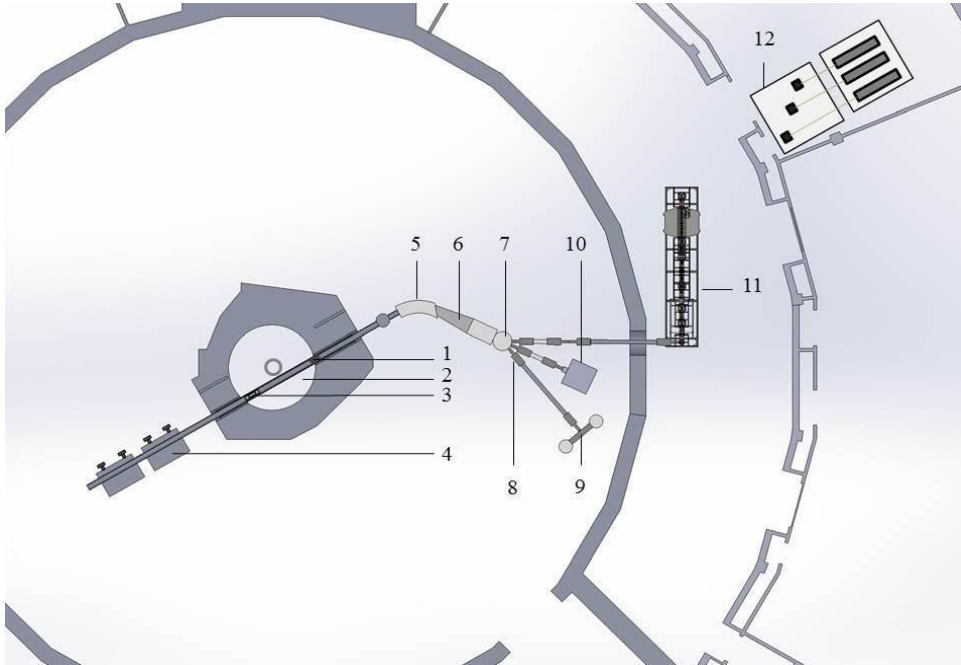


13 – Solid State Physics

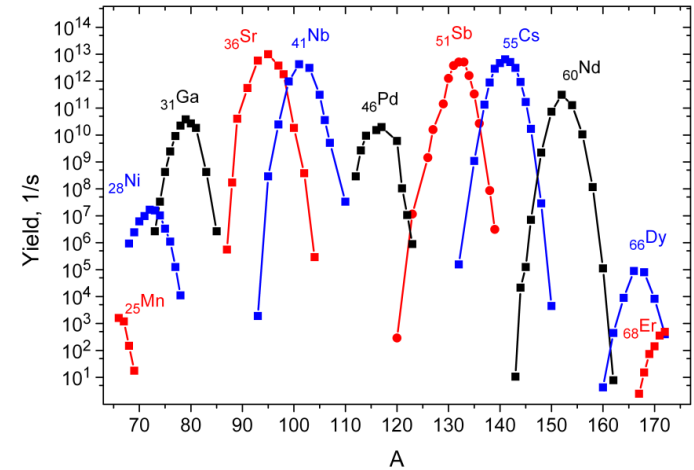
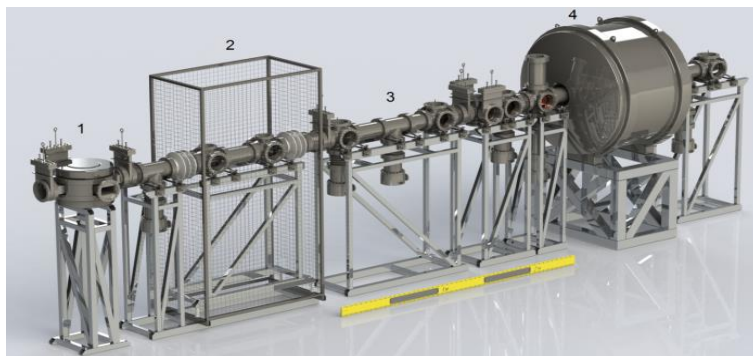
7 – Nuclear and Fundamental Physics

Also, Ultra Cold Neutron Source, Cold Neutron Source, Hot Neutron Source

## IRINA – Investigation of Radioactive Isotopes with Neutrons

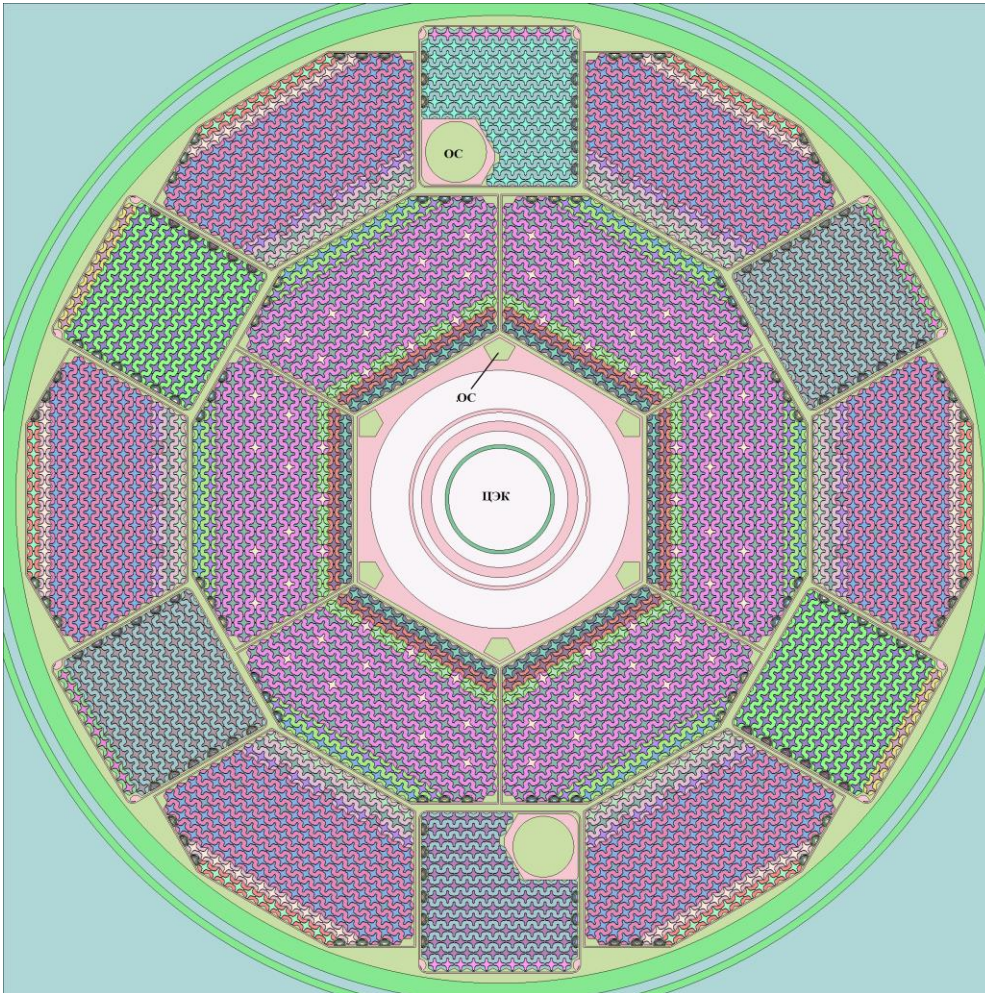


- 2 – D<sub>2</sub>O reflector
- 5 – Mass separator
- 11 – Penning trap
- 12 – Laser complex



## Переход на ТВС ПИК-2,

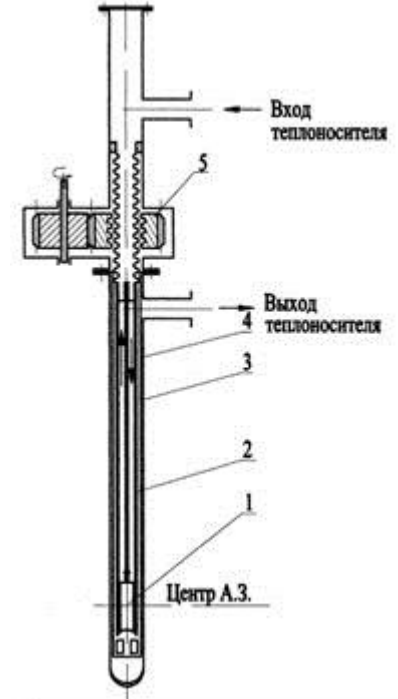
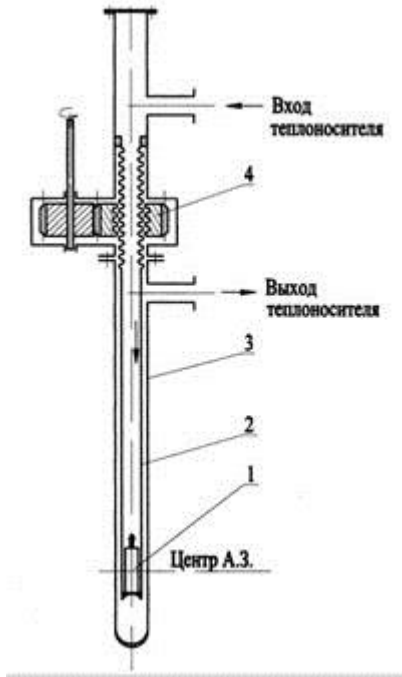
Длительность кампании – 20 – 25 суток, время между кампаниями – 7 суток



- В 2023 году планируется продолжение этапа 3 – 10 МВт, но с ТВС ПИК-2
- В 2024 году – строительство 25 станций
- С 2025 года нормальная эксплуатация



## Central Experimental Channel

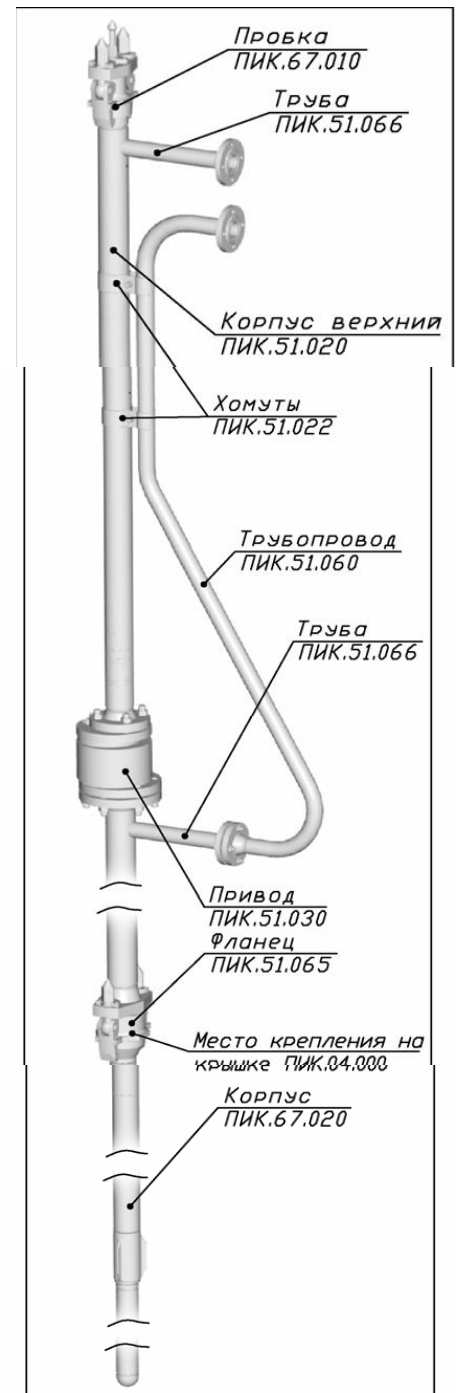


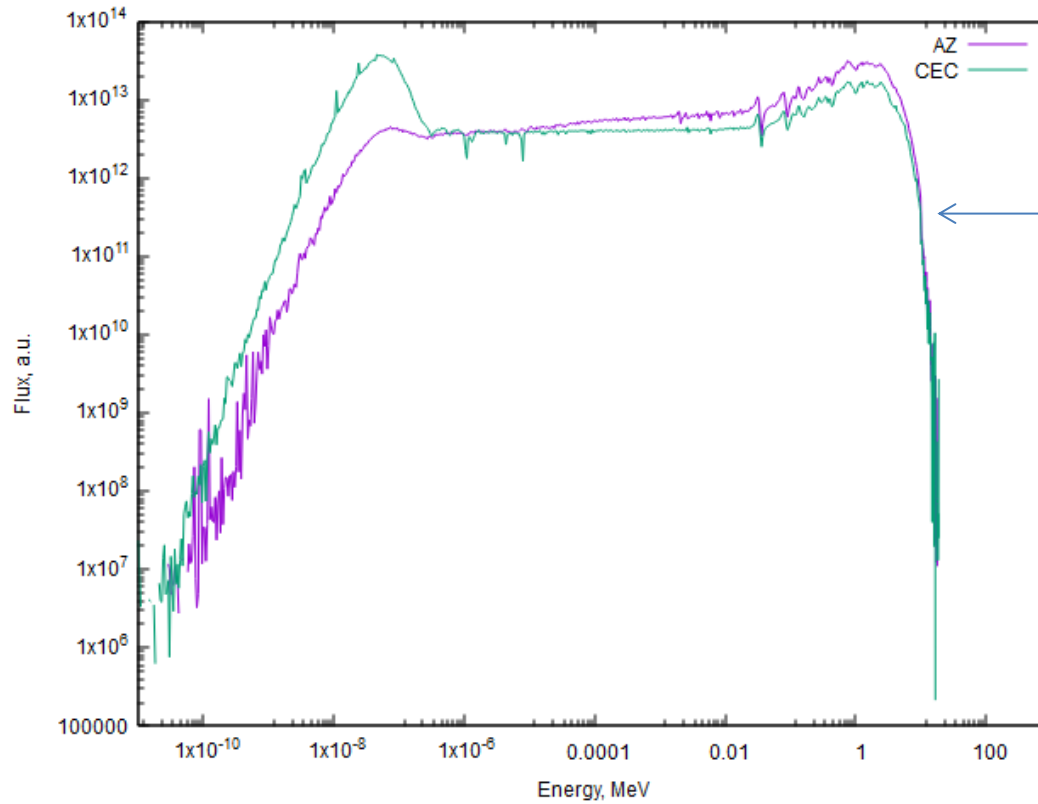
Power of CEC water cooling loop – 400 kW

Energy release:

1 g H<sub>2</sub>O - 105 W

1 g U-235 - 150 kW





Спектр нейтронов  
в ЦЭК и активной  
зоне реактора ПИК

Положение мишени	$\Phi_{th}, \text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$\Phi_{res}, \text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$\Phi_{tot}, \text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$
АЗ	$2,72 \cdot 10^{14}$	$4,73 \cdot 10^{14}$	$3,60 \cdot 10^{15}$
ЦЭК	$2,84 \cdot 10^{15}$	$6,36 \cdot 10^{14}$	<b><math>5,84 \cdot 10^{15}</math></b>

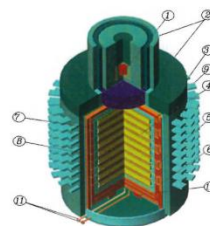
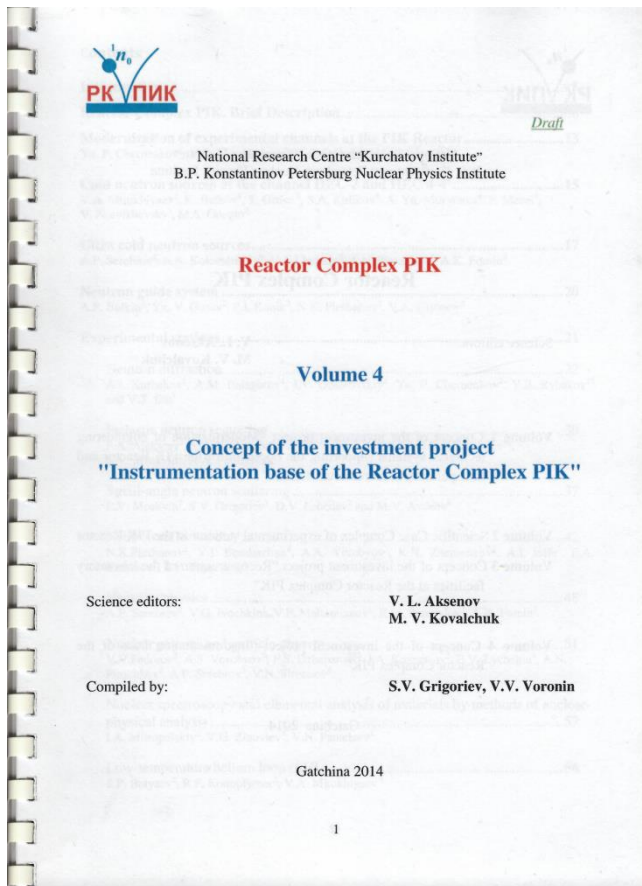


Fig.35. Scheme of the instrument "CHROMIUM" Neutrino source  $^{51}\text{Cr}$  in the transport box.  
 1. Neutrino source  
 2. Stationary shielding of the source.  
 3. Chamber body  
 4. Silicon detectors.  
 5. Inner layer of an extremely low background protection  
 6. External coolable layer of the passive protection  
 7. Non-coolable layer of copper shielding, located in the vacuum chamber.  
 8. External shielding of the instrument, made from lead blocks  
 9. Electronics for silicon detectors  
 10. Coolable copper plate.  
 11. Nitrogen cooling pipes

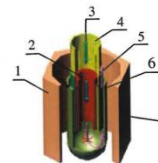


Fig. 36 Overview of the central channel (CEC) of the reactor PIK with  $^{51}\text{Cr}$  source.  
 1 – CEC body; 2 – irradiated sample; 3 – water coolant direction at the input; 4 – sample shell; 5 – water coolant direction at the output; 6 – Field's tube

**Target production for the synthesis of super-heavy elements**

The central channel of the PIK reactor has unique conditions for the production of isotopes  $^{254}\text{Es}$  and  $^{257}\text{Fm}$  that are used for the synthesis of superheavy elements.

The targets for the production of these isotopes can be a sample of the "pure"  $^{252}\text{Cf}$  of around 100 mg or the target, which contains the mixture of isotopes from  $^{249}\text{Cf}$  to  $^{251}\text{Cf}$  with comparable masses.

The nuclear transitions scheme, resulting in the creation of the  $^{254}\text{Es}$  nucleus in the reactor, is shown in the figure.



This topic is of particular interest since the modern experimental possibilities of the transuranium elements synthesis have approached the so-called "island of stability", predicted for elements with the atomic numbers  $Z=114$  and  $126$ . The isotope life time on the island of stability can be a few years, making possible the synthesis of such elements in macroscopic quantities.

**The production of rare isotopes for nuclear medicine**

High neutron flux in the central channel of the PIK reactor allows the production of rare isotopes, whose synthesis requires two-stage process. The product yield increases as the square of the neutron flux, i.e. the 3-times increase of the flux increases the radionuclides yield approximately in an order. In particular, it is possible to considerably increase the isotope  $^{186}\text{W}$  yield, which is used in the  $^{187}\text{Re}$  generators. This rhenium isotope has a capacity for complexation and is very promising from the point of view of diagnosis and therapy of malignant tumors, osseal metastasis, rheumatoid arthritis and other diseases.

Согласно концептуальному проекту реакторного комплекса ПИК ЦЭК предполагалось использовать для:

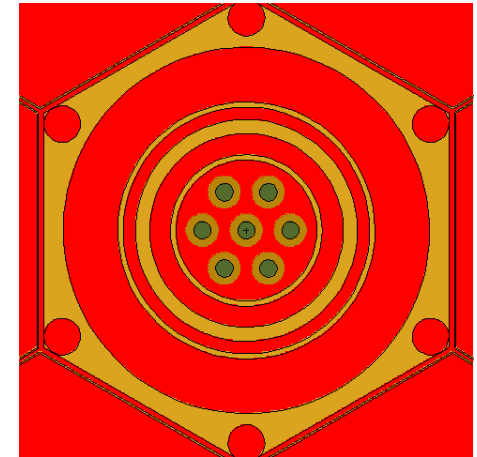
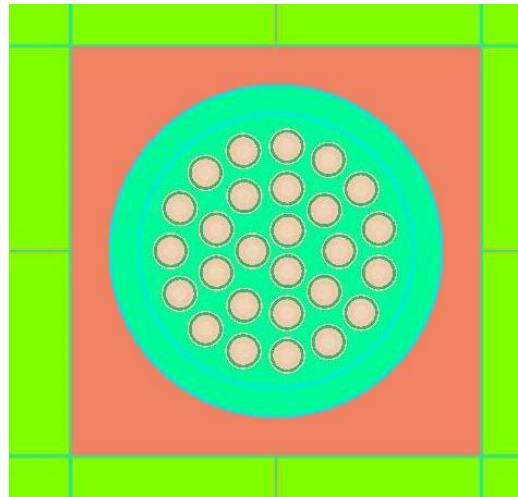
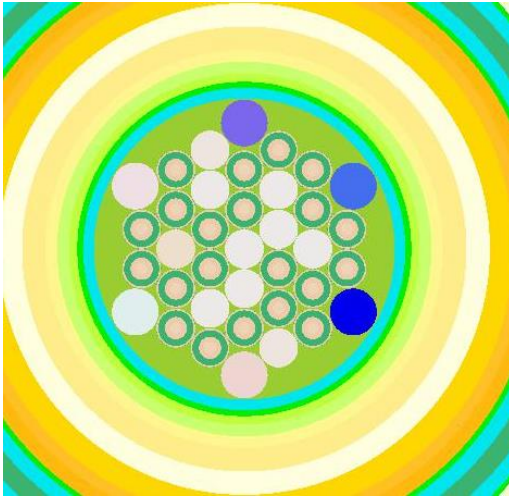
- Измерения магнитного момента нейтрино при помощи моноэнергетичного высокоинтенсивного источника нейтрино на основе  $^{51}\text{Cr}$
- Нарботки изотопов  $^{254}\text{Es}$  и  $^{257}\text{Fm}$  с использованием калифорниевой мишени
- Нарботки редких изотопов для ядерной медицины



HFIR

SM-3

PIK



## Central Experimental Channel

**PIK**

Dimensions: Diameter – 40 mm; Lengths – 500 mm

Volume – 630 cm<sup>3</sup>



## Production of Cm heavy isotopes

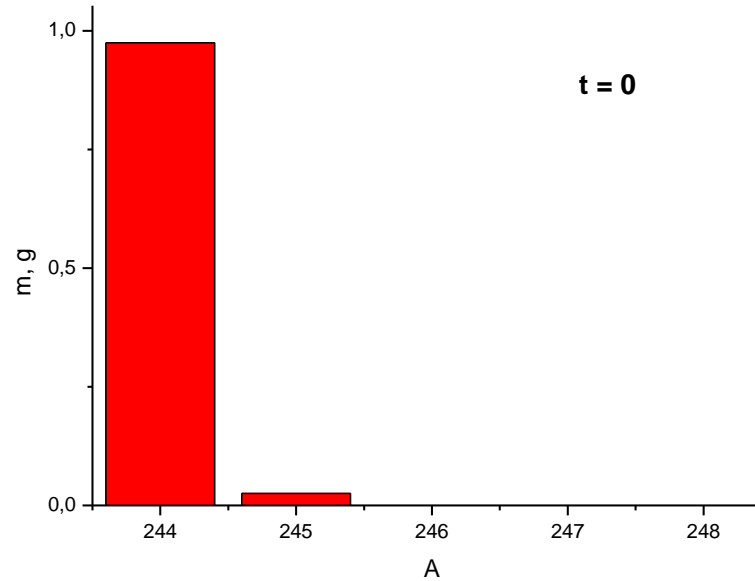
Mass of Cm in discharged fuel: WWER-440 – 150 g/t; WWER-1000 – 200 g/t,

Isotopic composition of discharged WWER-1000 fuel (burnup – 60 GW/THM),

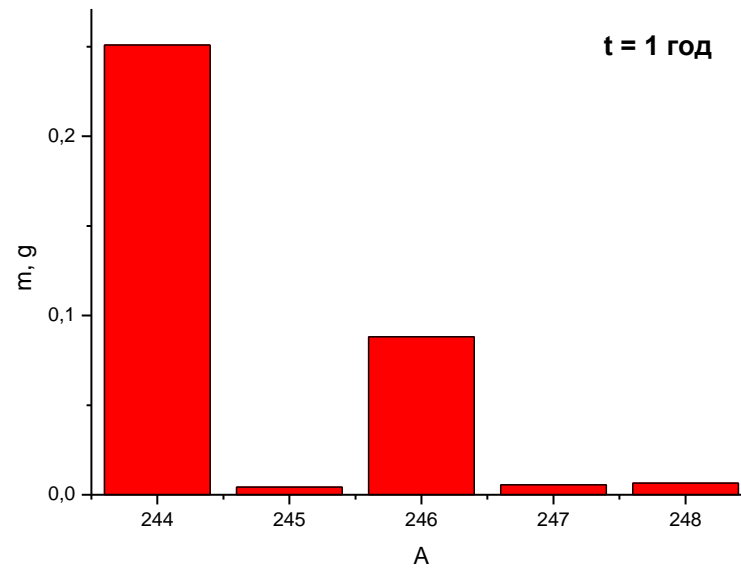
Isotope	Mass, g	Content, %	Content after 5 years of decay, %
Cm-242	26,94	26,94	0,018
Cm-243	0,79	0,79	1,148
Cm-244	67,1	67,1	<b>90,690</b>
Cm-245	4,60	4,60	<b>7,526</b>
Cm-246	0,372	0,372	0,608
Cm-247	$5,33 \cdot 10^{-3}$	0,0053	0,009
Cm-248	$3,25 \cdot 10^{-4}$	0,00033	0,001

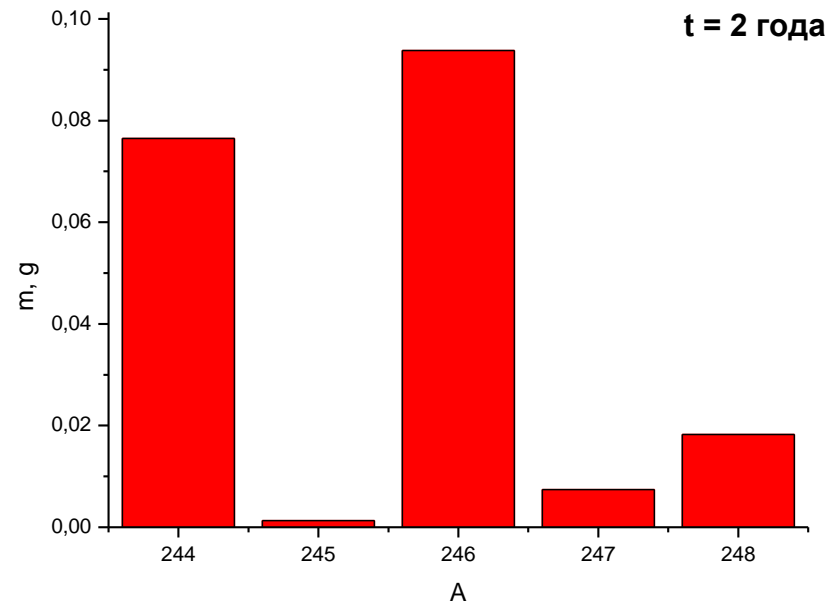


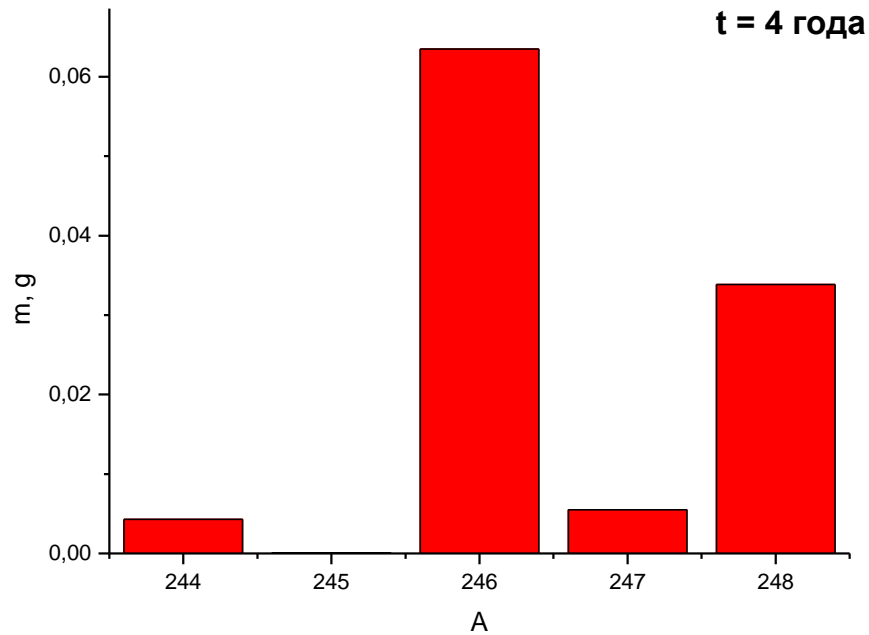
## Облучение кюрия в ЦЭК реактора ПИК



**Первоначальная масса кюрия – 1 грамм, Содержание изотопа  $^{245}\text{Cm}$  – 5%**  
Основа – изотоп  $^{244}\text{Cm}$







Наработка за 4 года: 34 мг  $^{248}\text{Cm}$  на 1 г сырьевого материала  
Дополнительно 27 мг  $^{252}\text{Cf}$ ; 0.7 мг  $^{249}\text{Bk}$

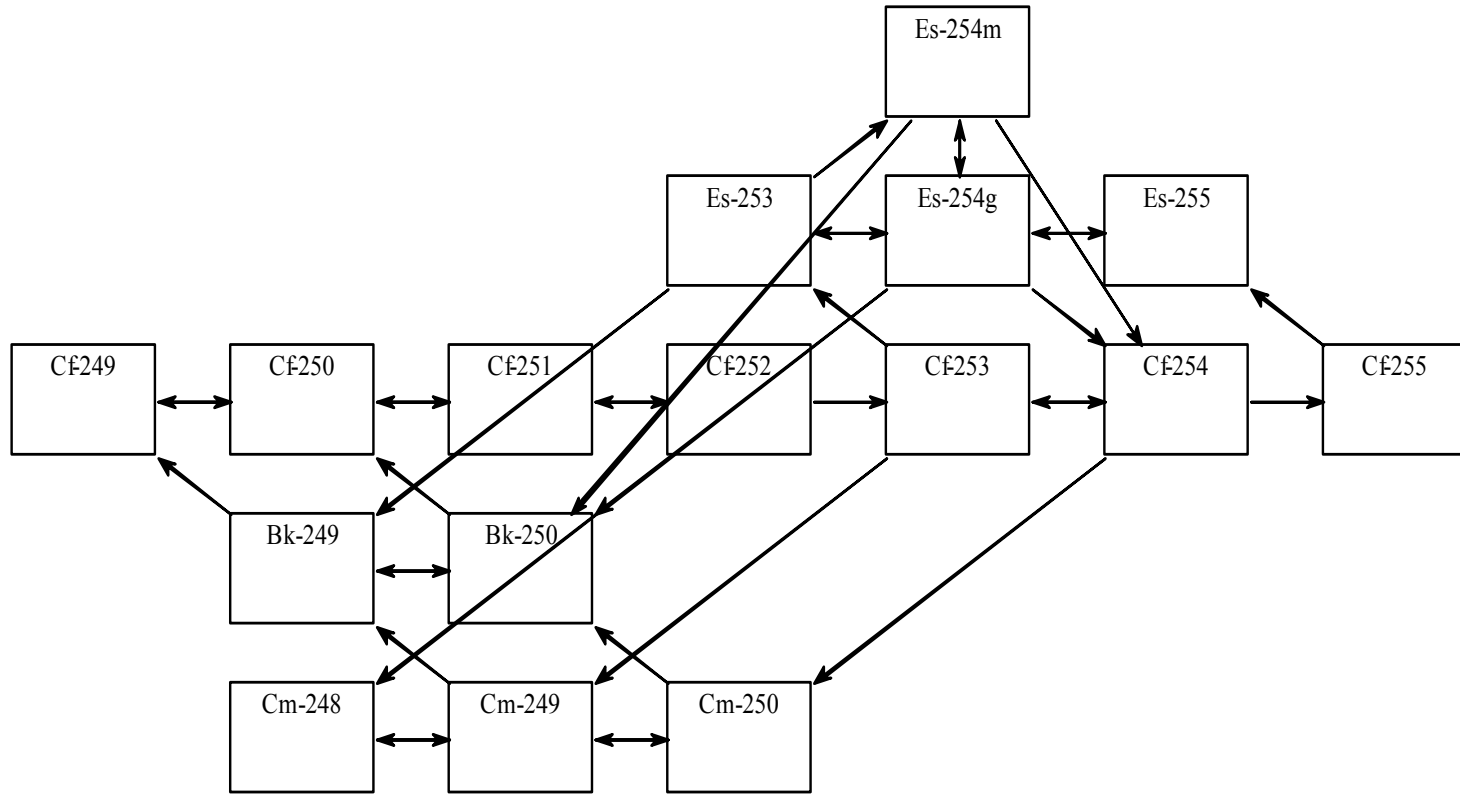
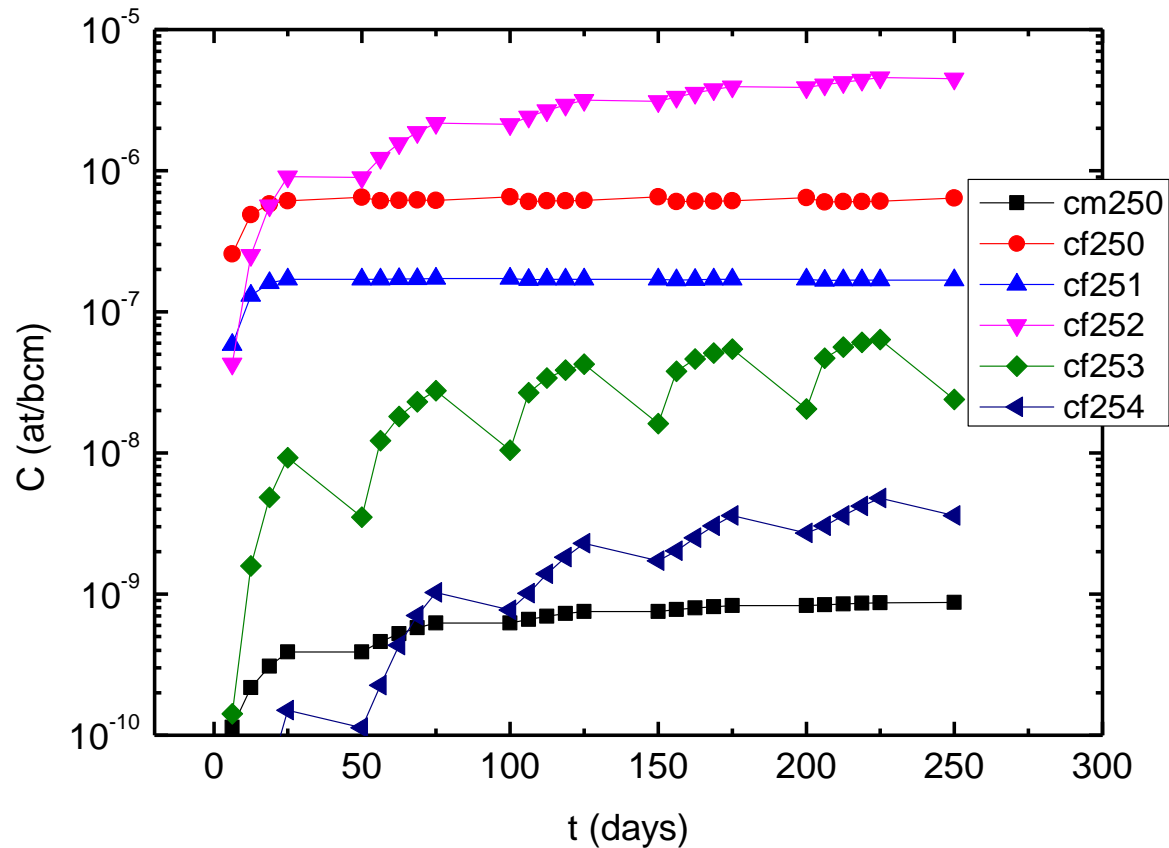
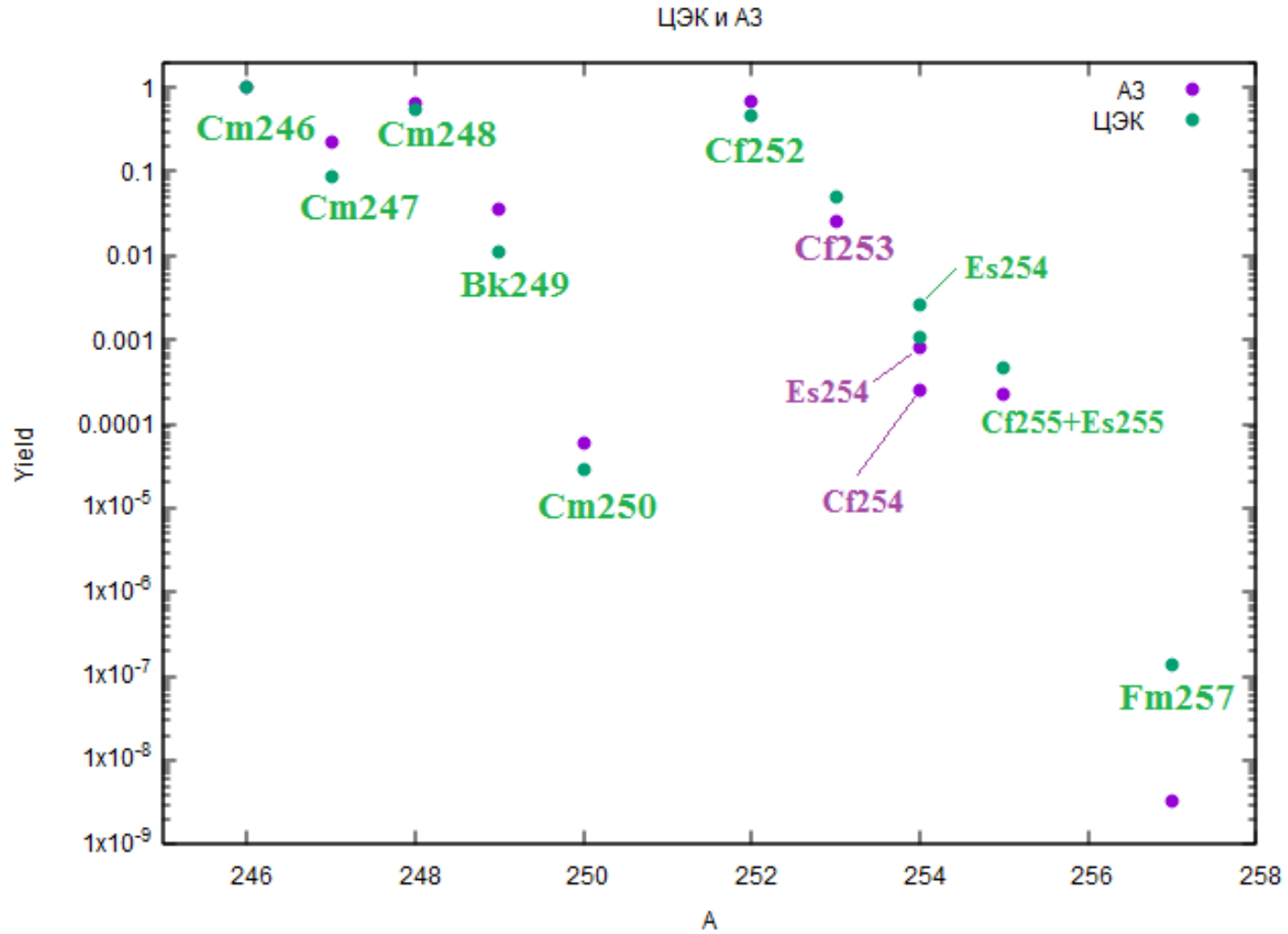


Схема превращений транскюриевых изотопов в интенсивном потоке нейтронов



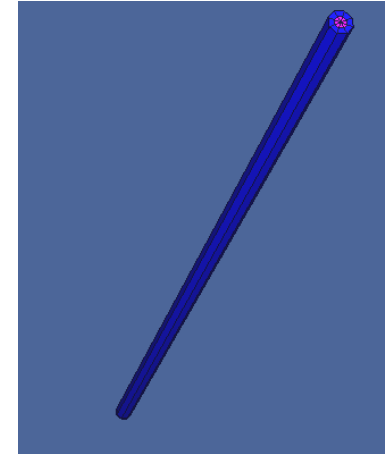
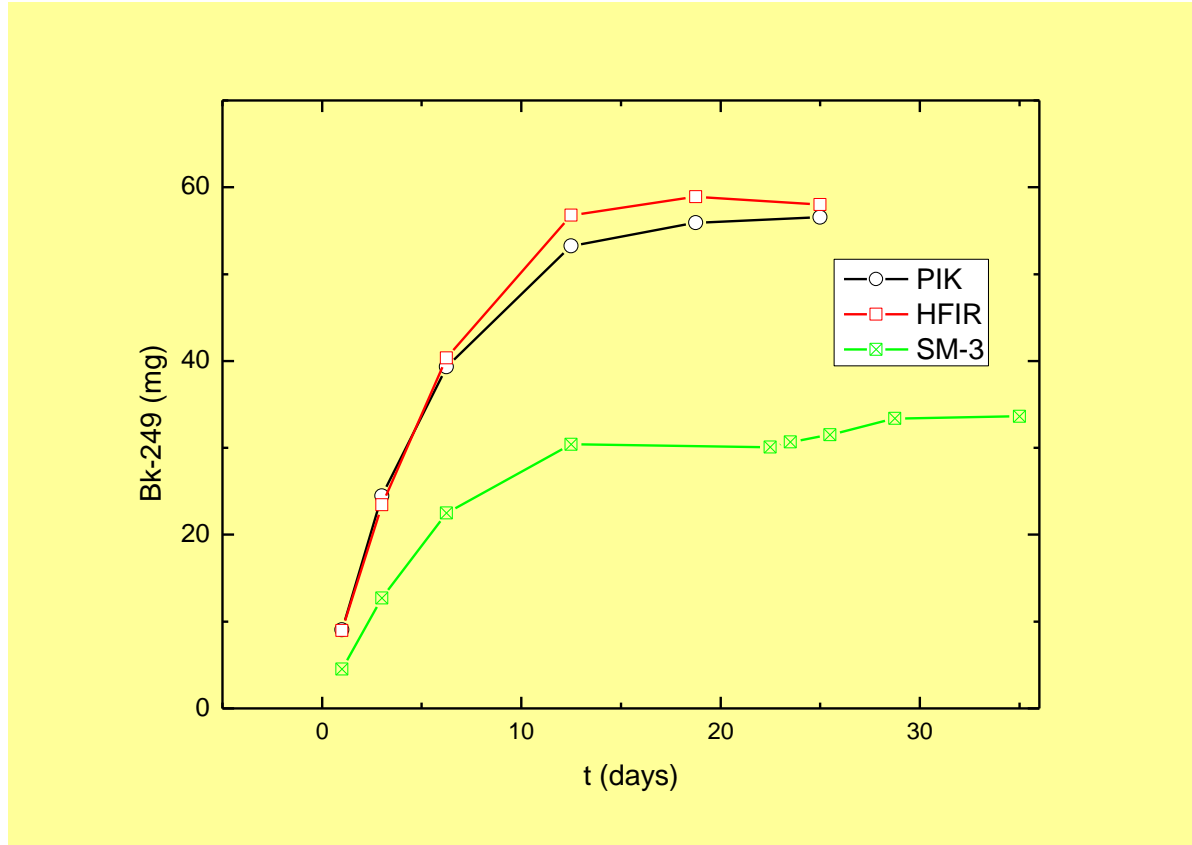
### Long term production of Cf isotopes at PIK







### Production of Bk-249 isotope from Cm-248 in the CEC



~7 g of Cm-248 in 7 ampoules

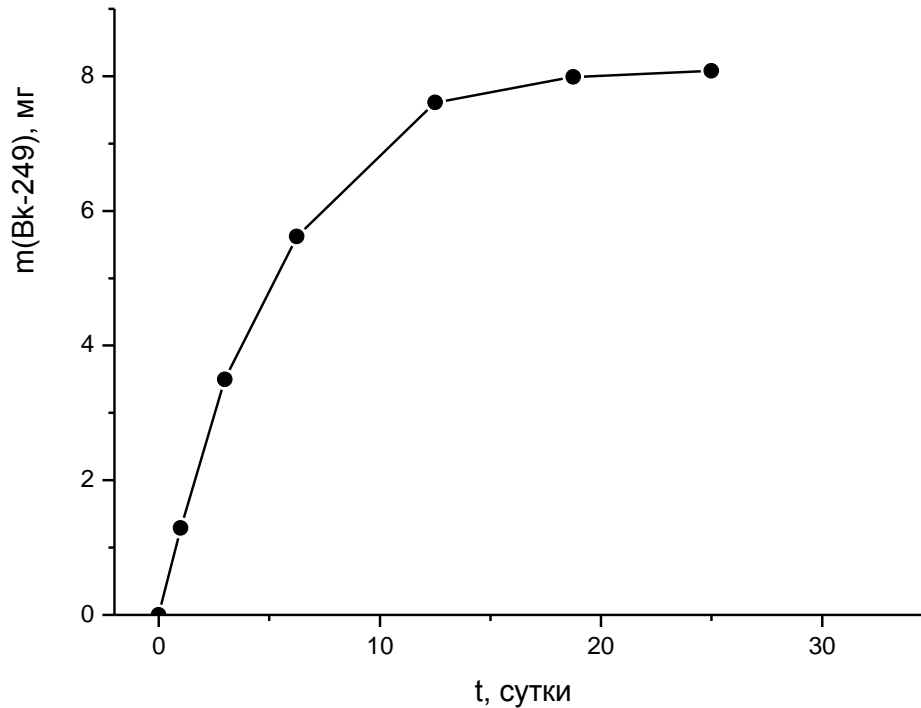
Core height: PIK, HFIR ~ 50 cm, and SM-3 – 35 cm





## Наработка в ЦЭК изотопа $^{249}\text{Bk}$ из кюрия

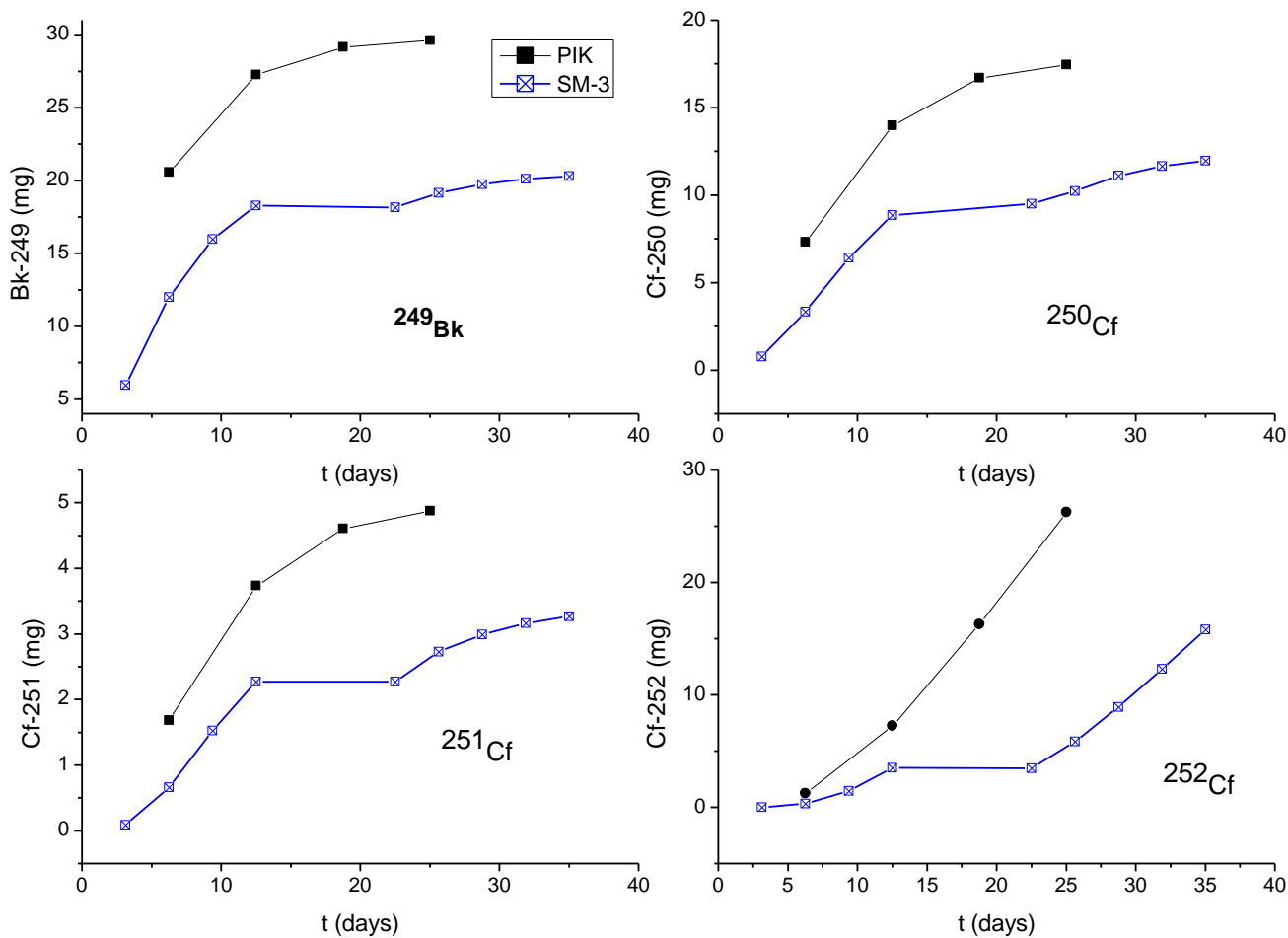
Масса  $^{248}\text{Cm}$  в исходной мишени – 1 грамм



Изотопный состав:

Изотоп	Содержание, %
Cm-244	27.67
Cm-245	0.115
Cm-246	58.73
Cm-247	1.71
Cm-248	11.47

### Comparing of production rate of Cf isotopes in PIK and SM-3



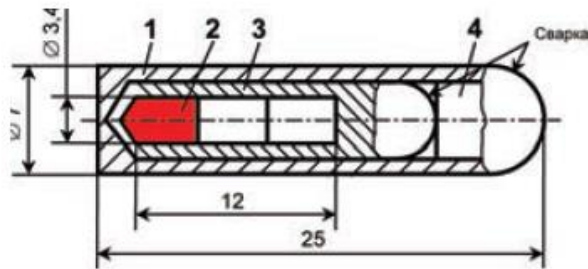
## Источники Нейтронного излучения

Тел.: +7 (495) 981-96-16

Адрес: 119435, Москва, ул. Погодинская, д.22

E-mail: isotop@isotop.ru Сайт: www.isotop.ru

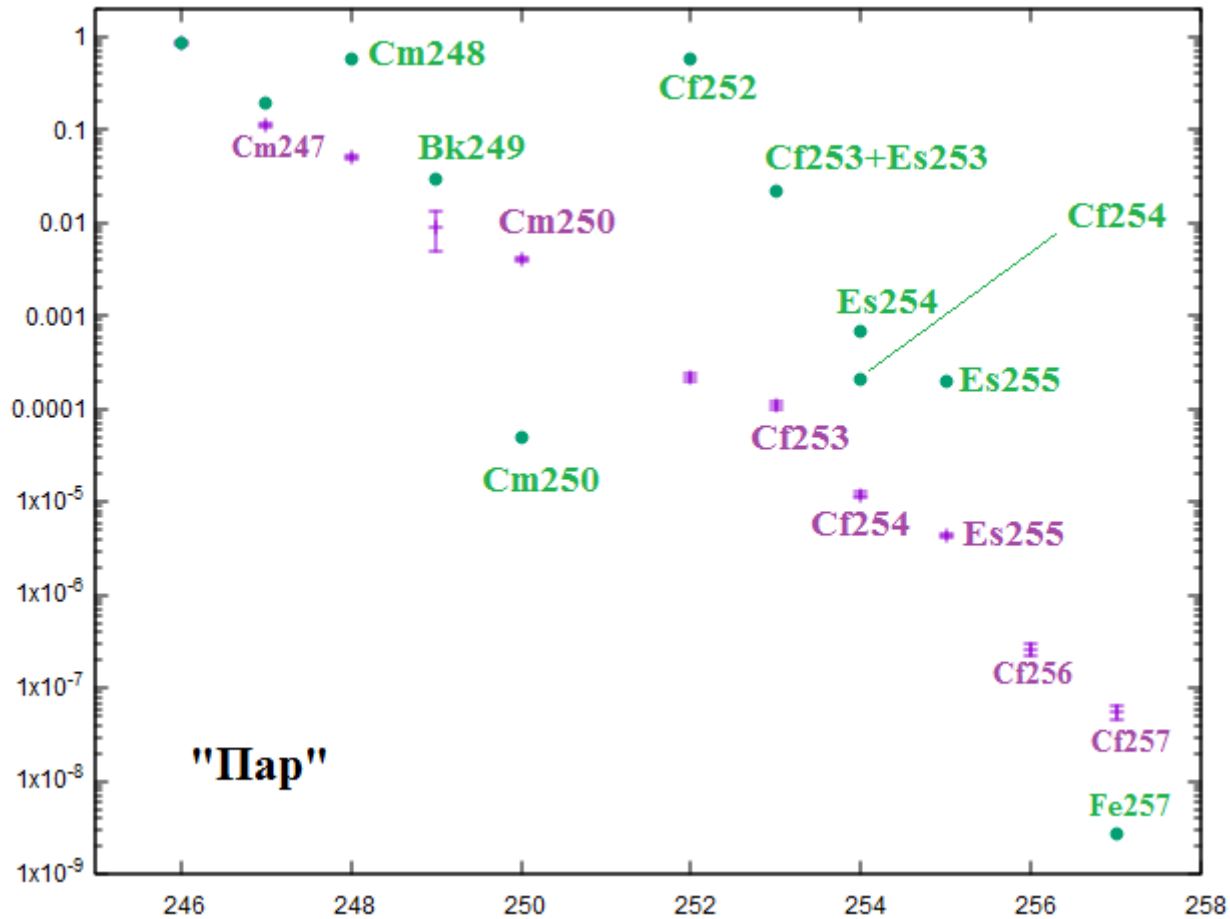
### 2. Источники тип НК252М12



Расчет показывает, что в ЦЭК за время одной кампании (25 суток) можно накопить порядка 2  $\mu\text{г}$  изотопа  $^{254}\text{Es}$

*Онегин М.С. ВАНТ. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2020, вып.1, стр.14*

Мишень содержит 8.658 мг  $^{252}\text{Cf}$   
Активность –  $1.7 \cdot 10^{11}$  Бк



Флюенс в эксперименте "Пар"  $\sim 4,5 \cdot 10^{24} \text{ см}^{-2}$  (Phys.Rev.Lett. **14**, p.440 (1965))

Стартовый материал – U-238

Флюенс набранный в АЗ ПИК -  $3,9 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-2}$  (около 4 лет облучения  $^{244}\text{Cm}$ )

Выход  $^{246}\text{Cm}$  на грамм – 0,051



**Спасибо за внимание!**