

Активационная методика для бор-нейтроннозахватной терапии

Выполнила: Марина Бикчурина, ФП ФФ НГУ

Научный руководитель: Дмитрий Касатов, мнс л.9-0

Концепция методики БНЗТ

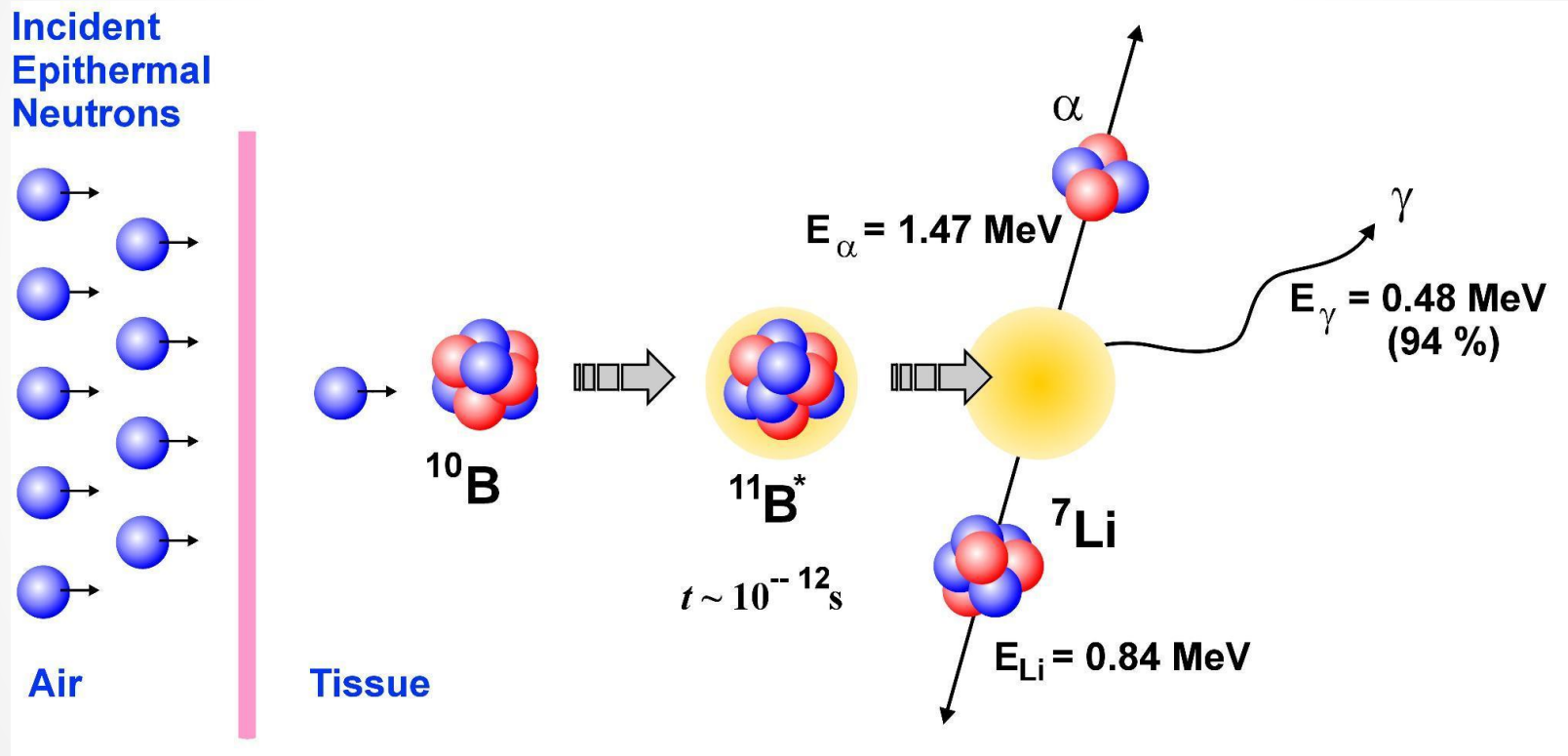
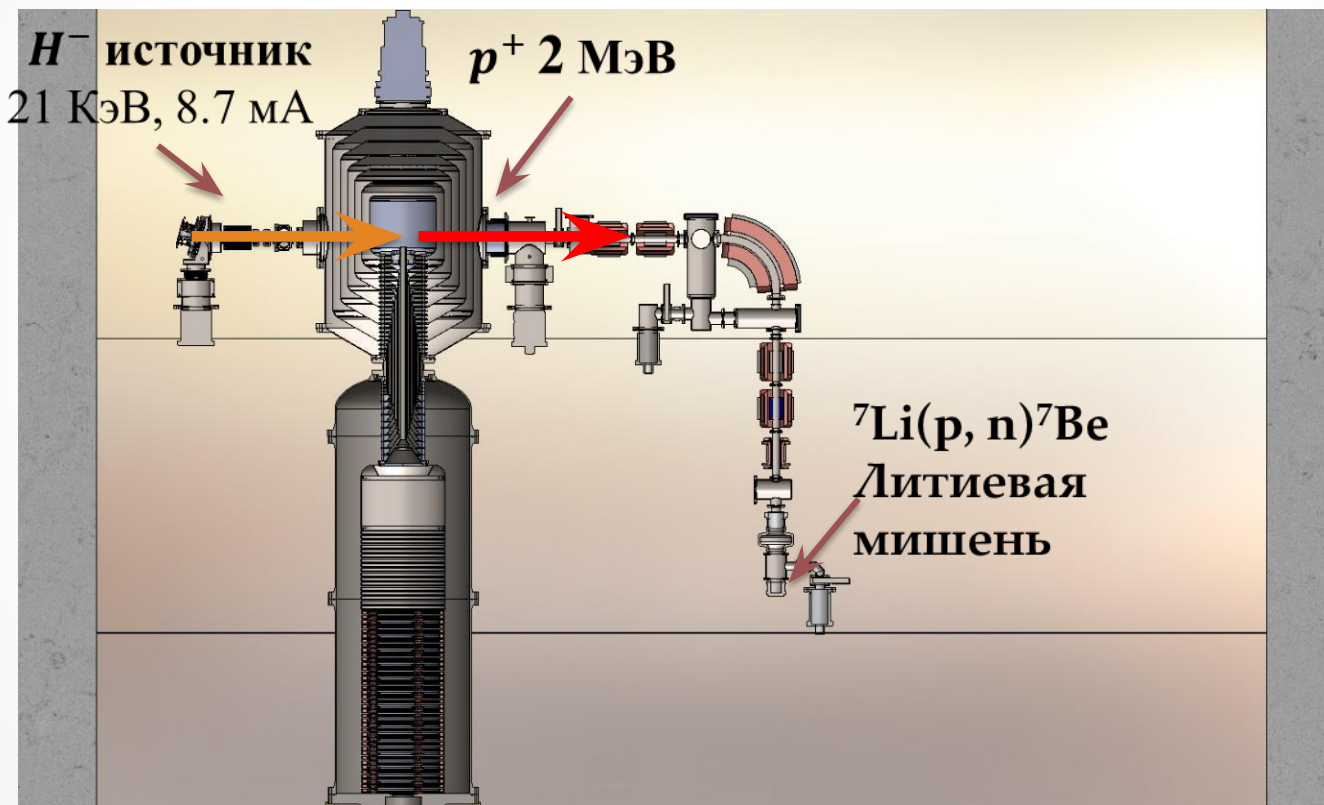
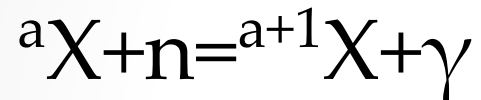


Схема ускорительного источника эпитепловых нейтронов



Взаимодействие вещества с нейтронами

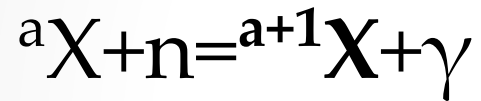
▪ Радиационный захват нейтрона



- Реакции с образованием протона
- Реакции с образованием α -частиц
- Реакции деления
- Неупругое рассеяние нейтронов

Взаимодействие вещества с нейтронами

- Радиационный захват нейтрона



HPGe-детектор

Энергетическое разрешение : до 2 МэВ

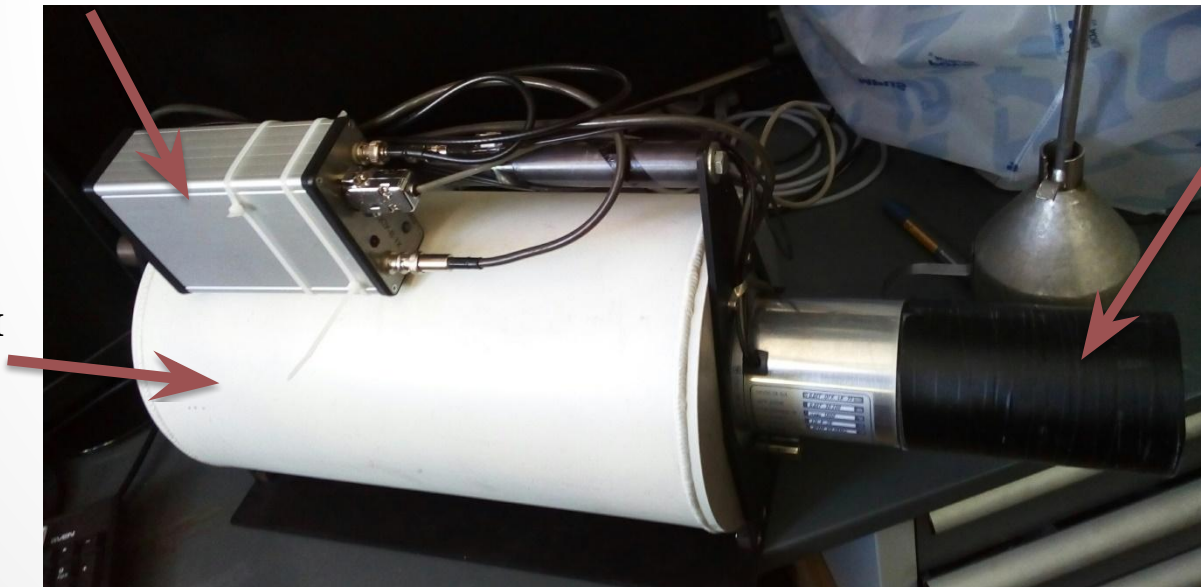
Оптимальное рабочее напряжение : 1450 В

Предел допускаемой основной погрешности : $\leq 0,1\%$

Система питания

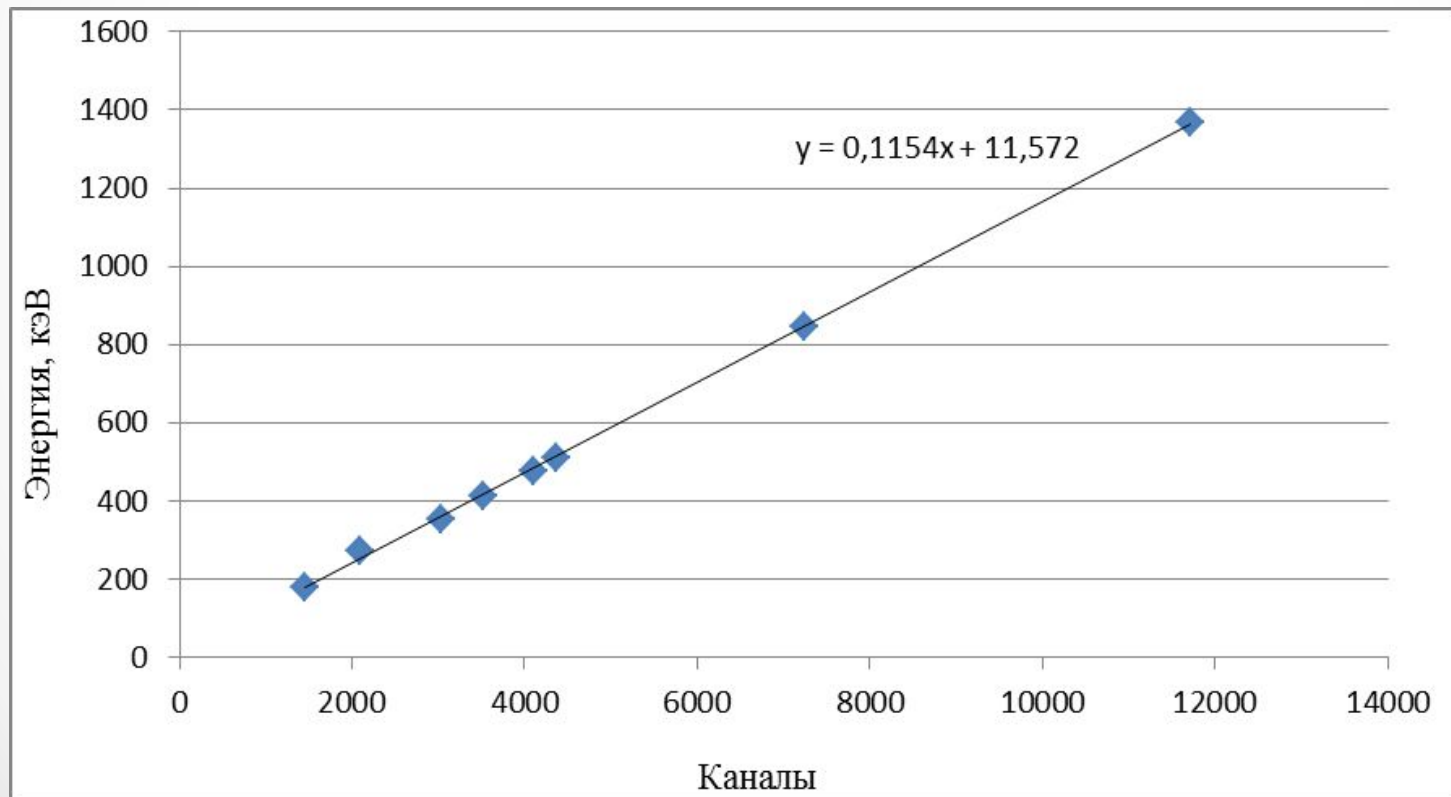
Высокоочищенный германий

Жидкий азот



Калибровка HPGe-детектора

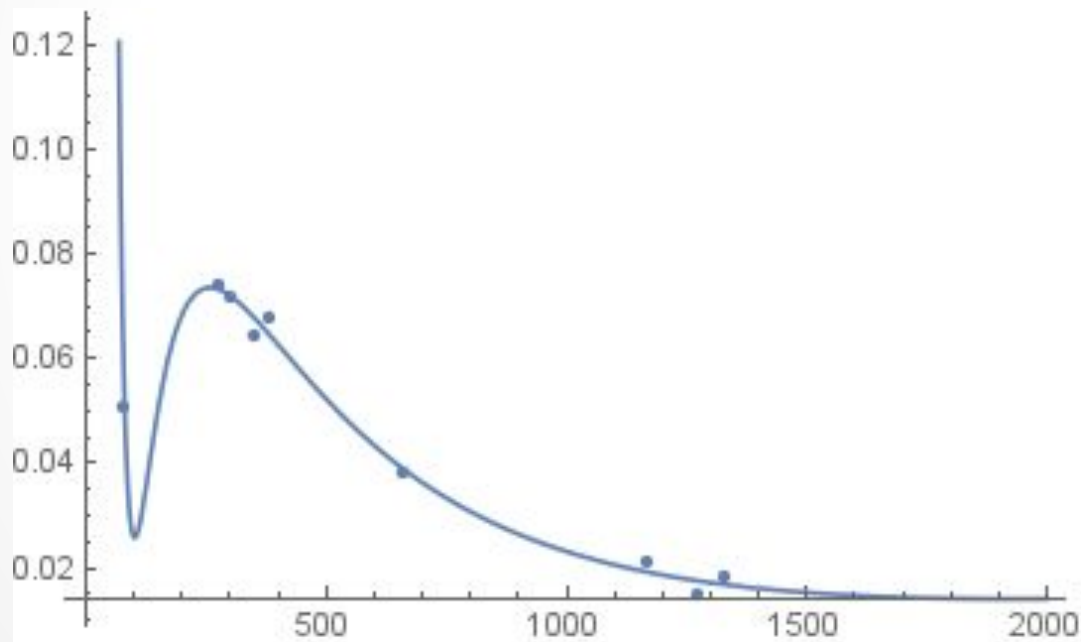
- Калибровка каналов по энергии



Калибровка HPGe-детектора

- Коэффициент чувствительности детектора

$$\varepsilon(E) = \frac{P_1 + P_2 \ln(E) + P_3 \ln(E)^2 + P_4 \ln(E)^3 + P_5 \ln(E)^4}{E}$$



New approach for calibration the efficiency of HPGe detectors

Cite as: AIP Conference Proceedings 1584, 38 (2014); <https://doi.org/10.1063/1.4866101>

I. A. Alnour, H. Wagiran, N. Ibrahim, S. Hamzah, W. B. Siong, and M. S. Elias

Восстановление спектра

$$S_i = \frac{m_i g_i N_a p_i \varepsilon K_i J_i}{A_i \lambda}$$

$$K_i = (1 - e^{-\lambda_i t_a}) e^{-\lambda_i t_b} (1 - e^{-\lambda_i t_{и}})$$

S_i - число отсчетов в аналитическом пике изотопа i -го элемента

m_i - масса i -го элемента в детекторе

g_i - содержание аналитического изотопа i -го элемента в естественной смеси изотопов

N_a - число Авогадро

p_i - выход гамма-квантов на один распад образовавшегося радиоактивного изотопа

ε - эффективность регистрации излучения наведенной активности

J_i - скорость реакции

A_i - атомный вес i -го элемента

λ - постоянная радиоактивного распада

t_a - время активации

t_b - время выдержки после облучения

$t_{и}$ - время измерения

Восстановление спектра

$$J_i = S_i A_i \lambda / m_i g_i N_a p_i \epsilon K_i = 7,5 \cdot 10^{-13}$$

$$J_i = \int_0^{\infty} \sigma_i(E) \varphi(E) dE$$

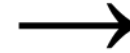
$\varphi(E)$ - спектральная плотность потока нейтронов

$\sigma_i(E)$ - сечение активирующей ядерной реакции в зависимости от энергии нейтронов

Восстановление спектра

$\Phi(E) = \varphi(E)\Delta E_j$ - плотность потока нейтронов

$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 = \int_0^{\infty} \sigma_1(E) \varphi(E) dE \\ \dots \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} J_k = \int_0^{\infty} \sigma_k(E) \varphi(E) dE \\ \dots \end{array} \right.$$

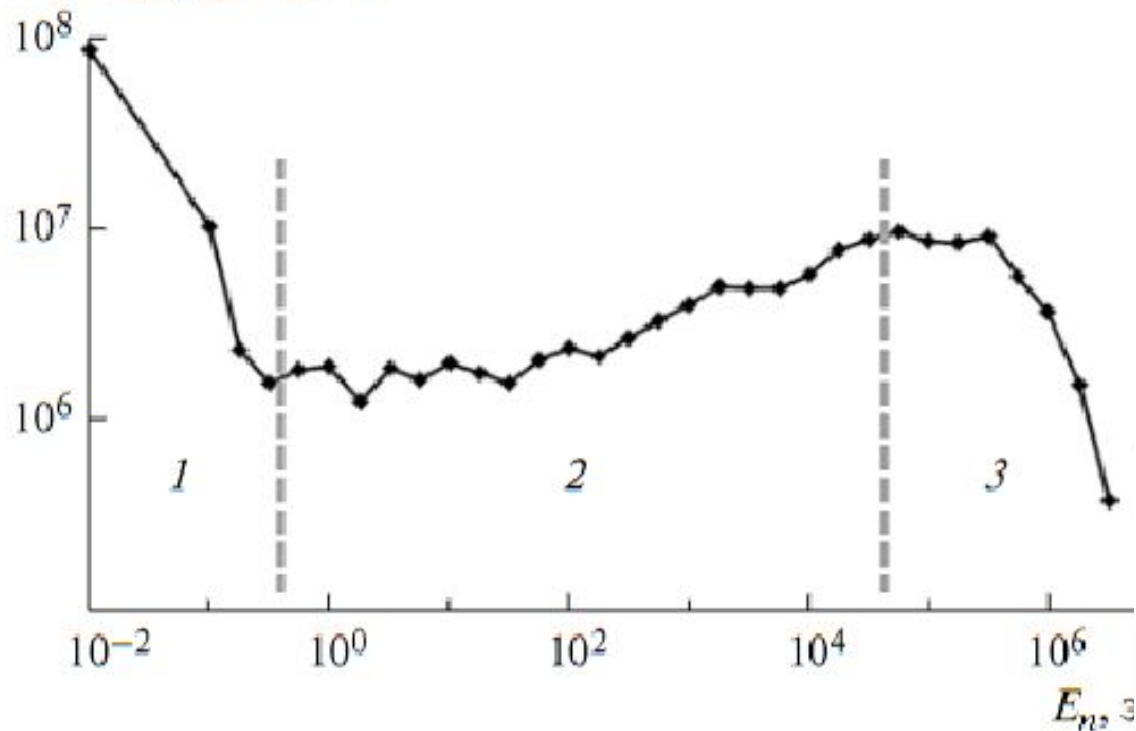
$$\left\{ \begin{array}{l} J_1 = \sum_0^m \sigma_1(E_j) \Phi(E_j) \\ \dots \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} J_k = \sum_0^m \sigma_k(E_j) \Phi(E_j) \\ \dots \end{array} \right.$$

Восстановление спектра

$$\Phi_j = AE_j^b$$

Φ_n , нейтрон \cdot см $^{-2}$ с $^{-1}$



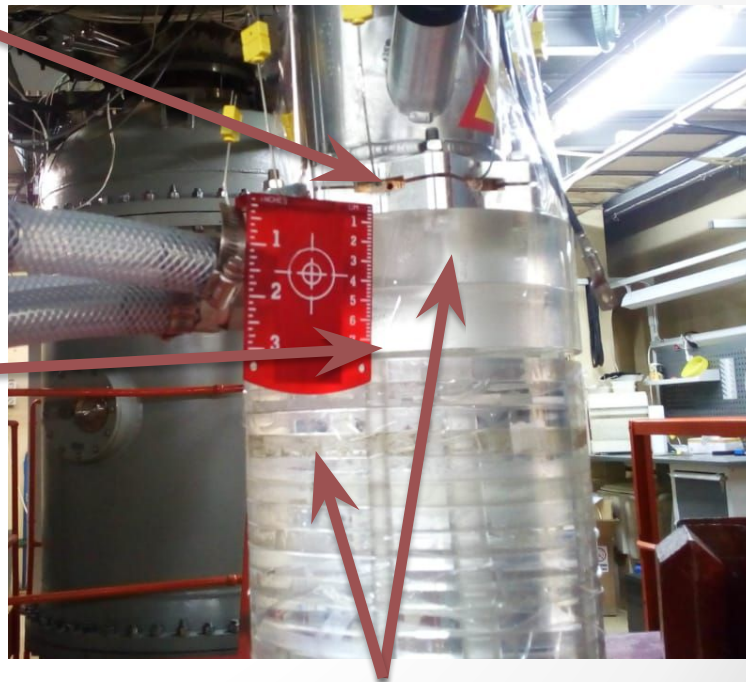
Активационные фольги

Стандартный набор фольг Shieldwerx:

2 ea. Au, Co, Cu, Fe, In, 5.2% Lu-Al, 81.3% Mn-Cu, Mo, NaCl, Sc, and W

Литиевая нейтроногенерирующая мишень с медной подложкой

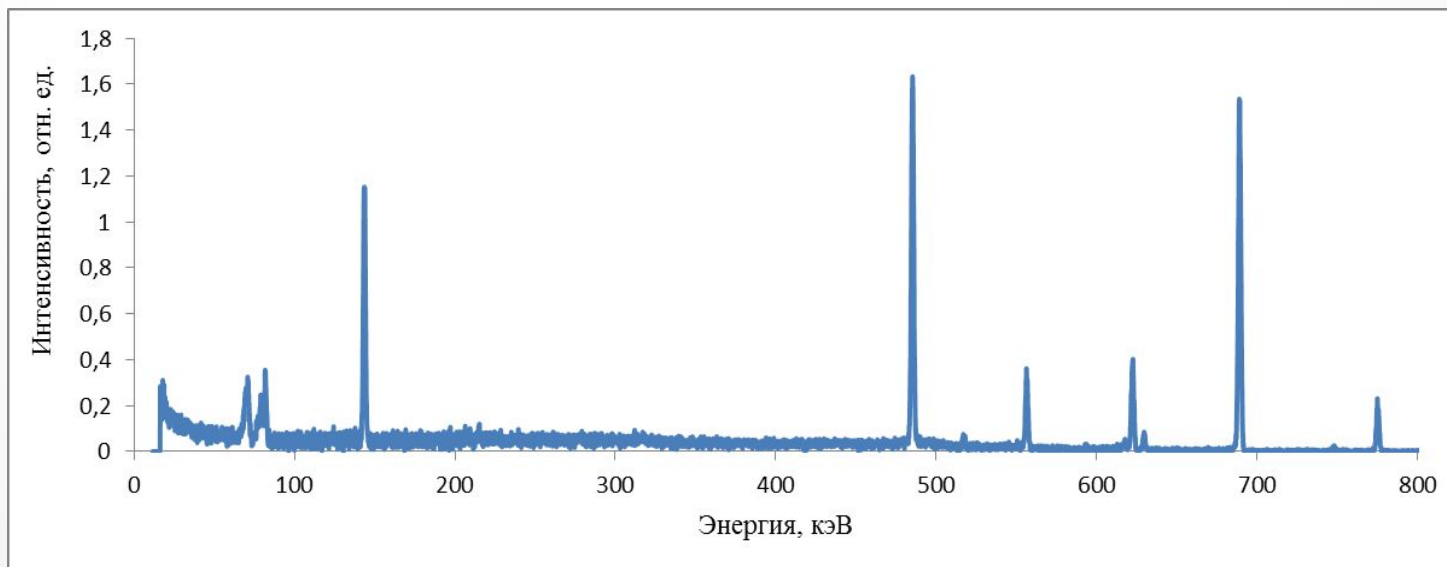
Место для облучения образцов



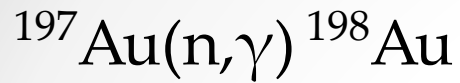
Замедлитель из органического стекла, фантом

Активационные фольги

- Натрий-хлор
- Вольфрам
- Кадмий
- Марганец-медь
- Молибден

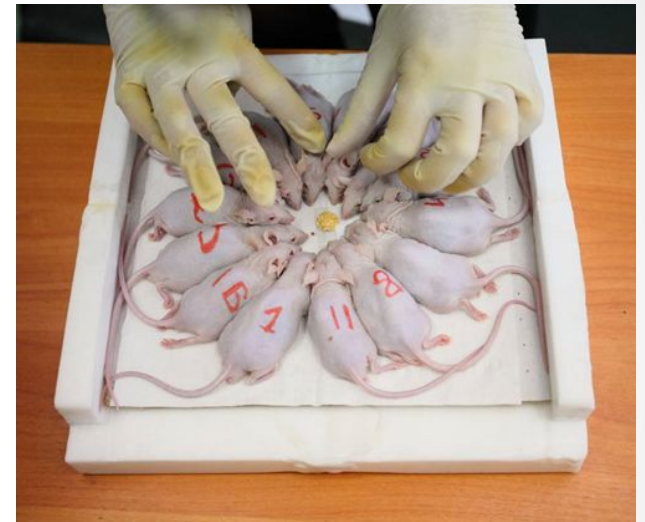
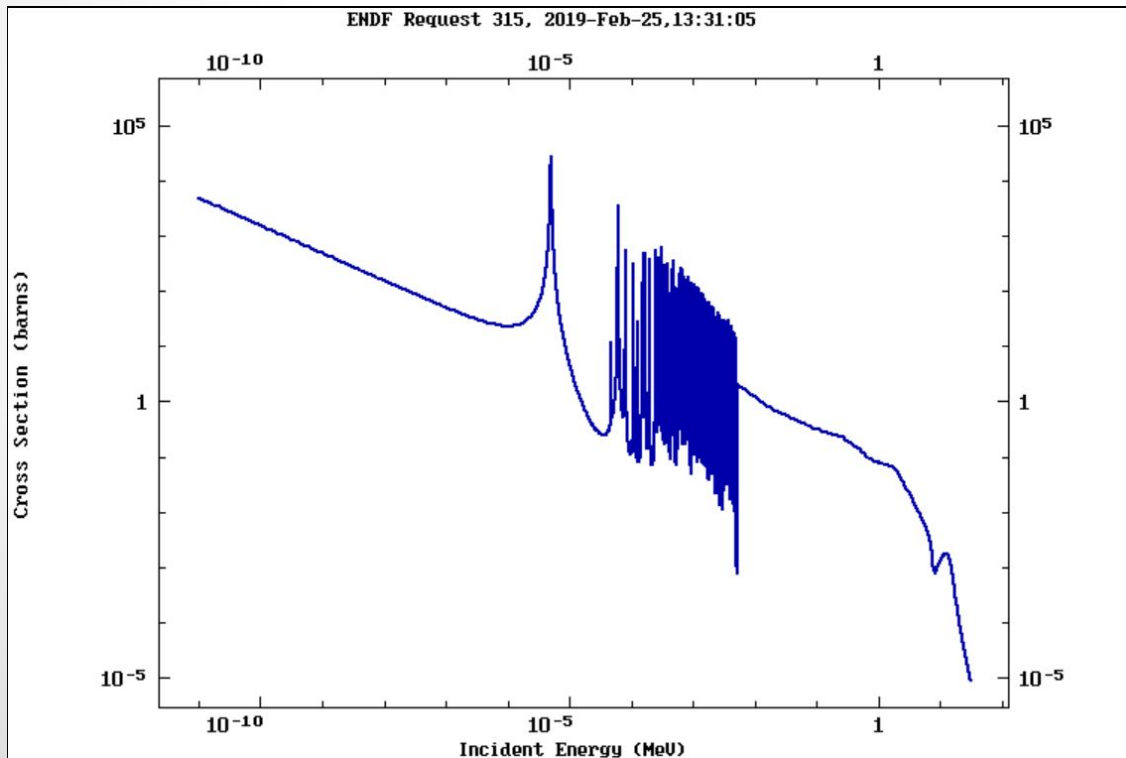


Золотая фольга

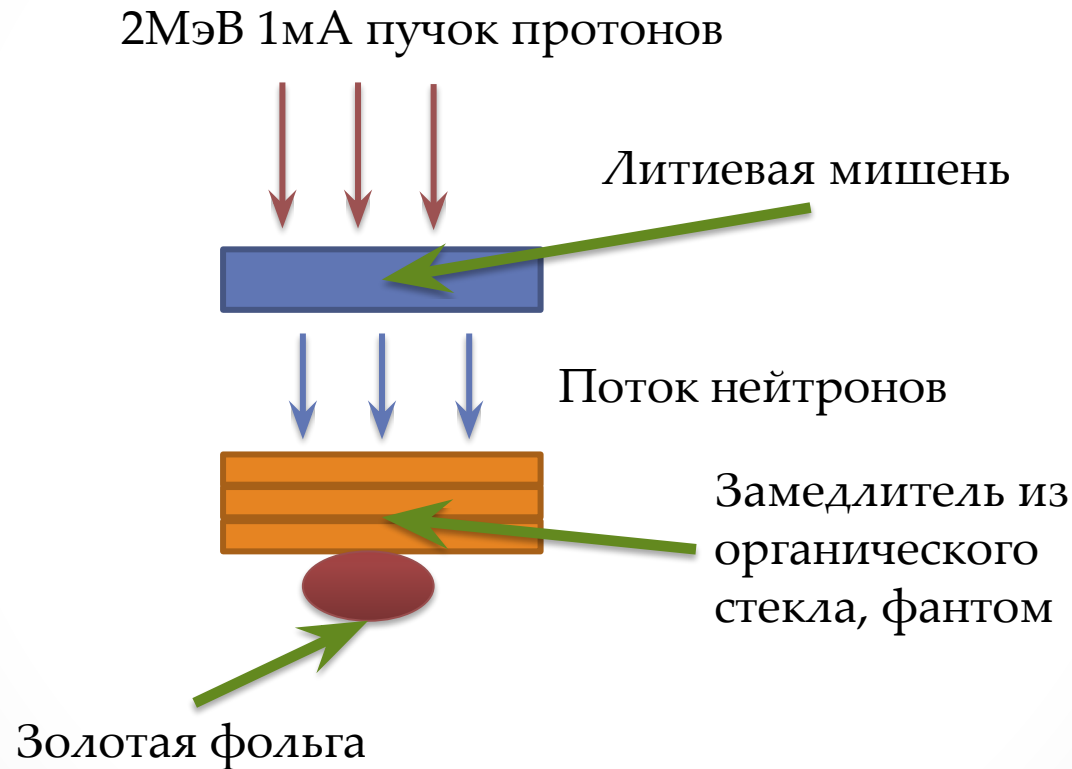


$\tau = 2,7$ дня

$\sigma = 26000$ барн



Золотая фольга



«Борная» доза

$$D = \frac{k * N * n}{m}$$

D – «борная» доза

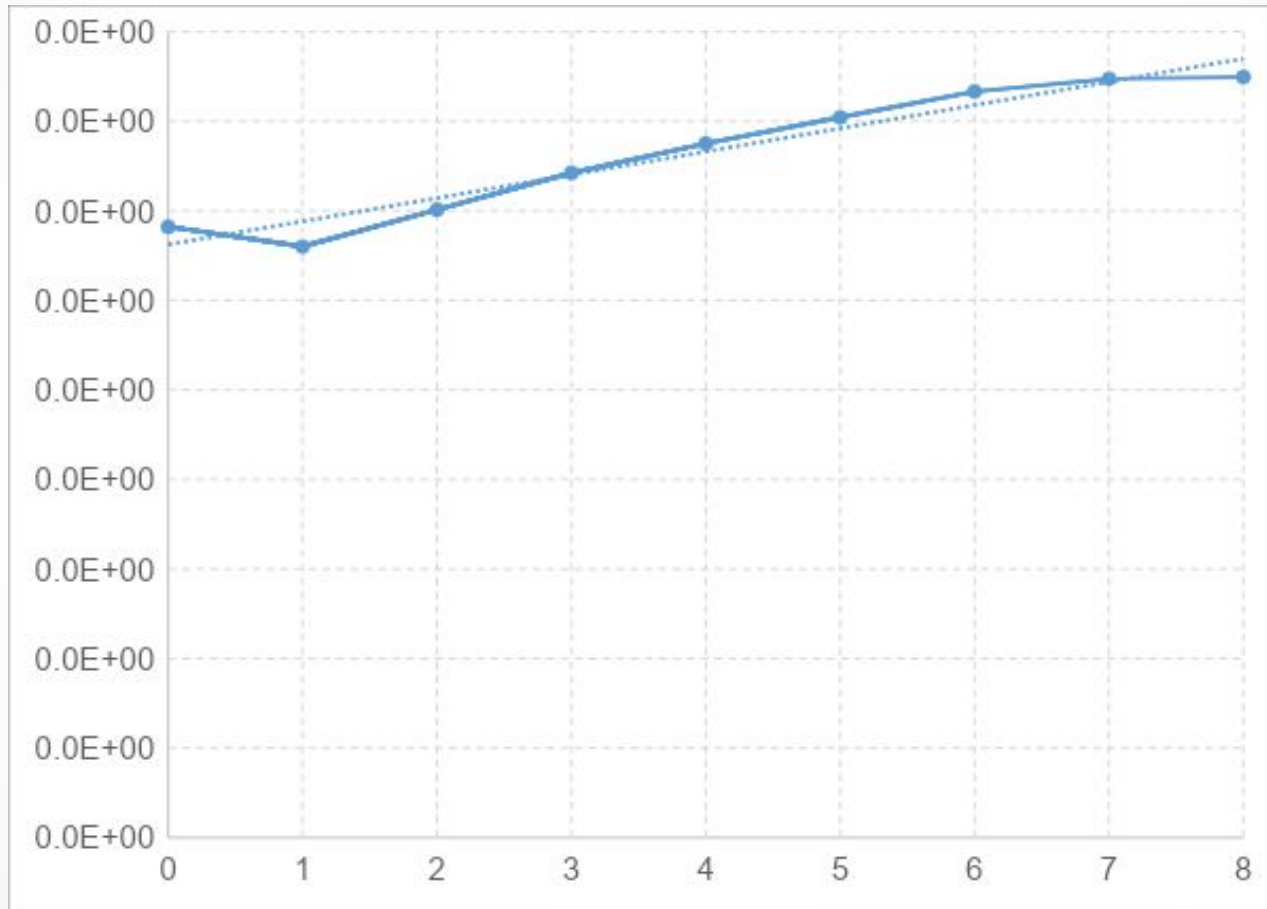
N – количество активированных атомов золота

k – коэффициент зависимости от толщины образца

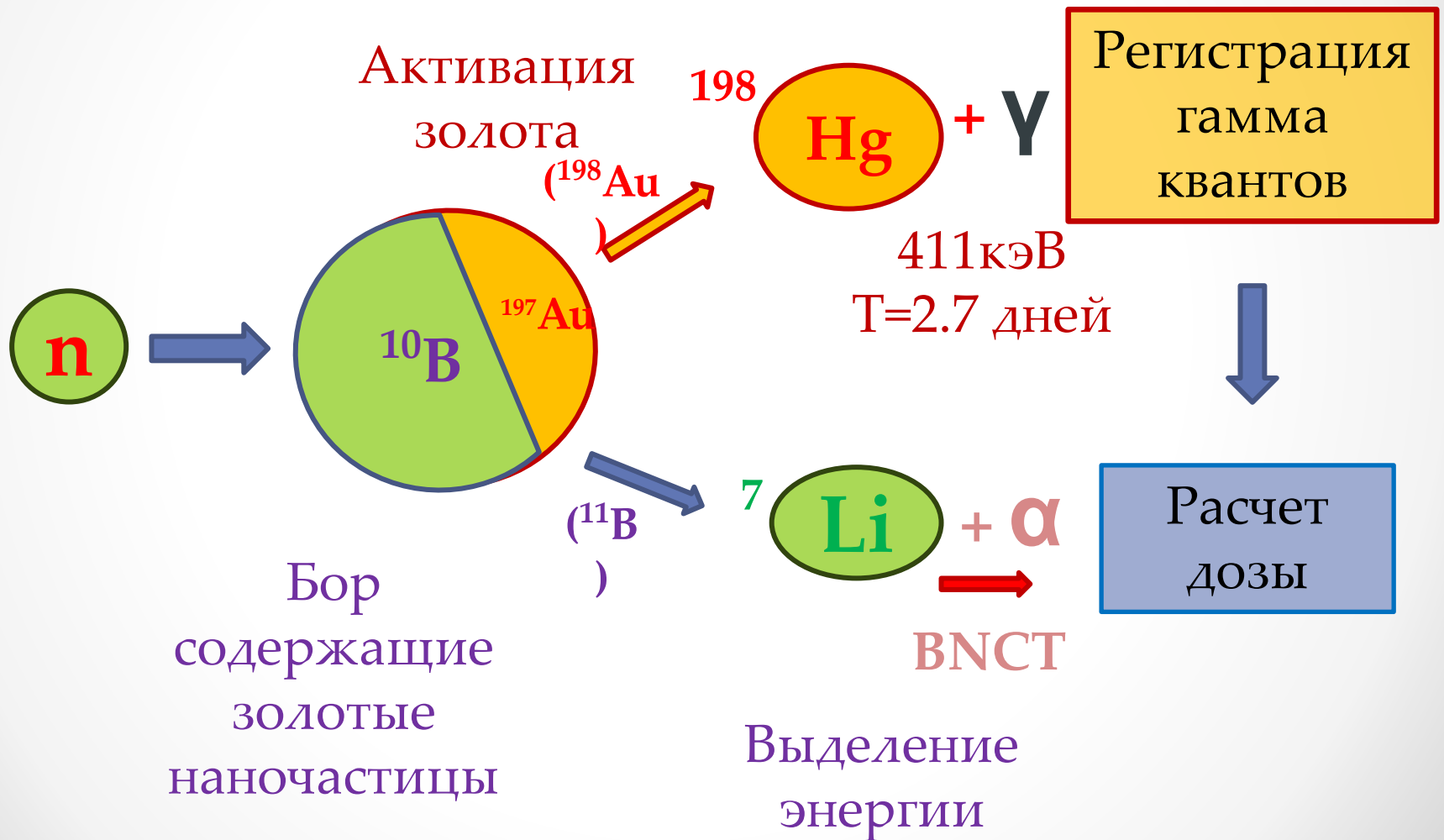
n – концентрация бора, ppm

m – масса золота

Зависимость коэффициента от ТОЛЩИНЫ



Новая концепция



Испытания нового вещества

доставщика

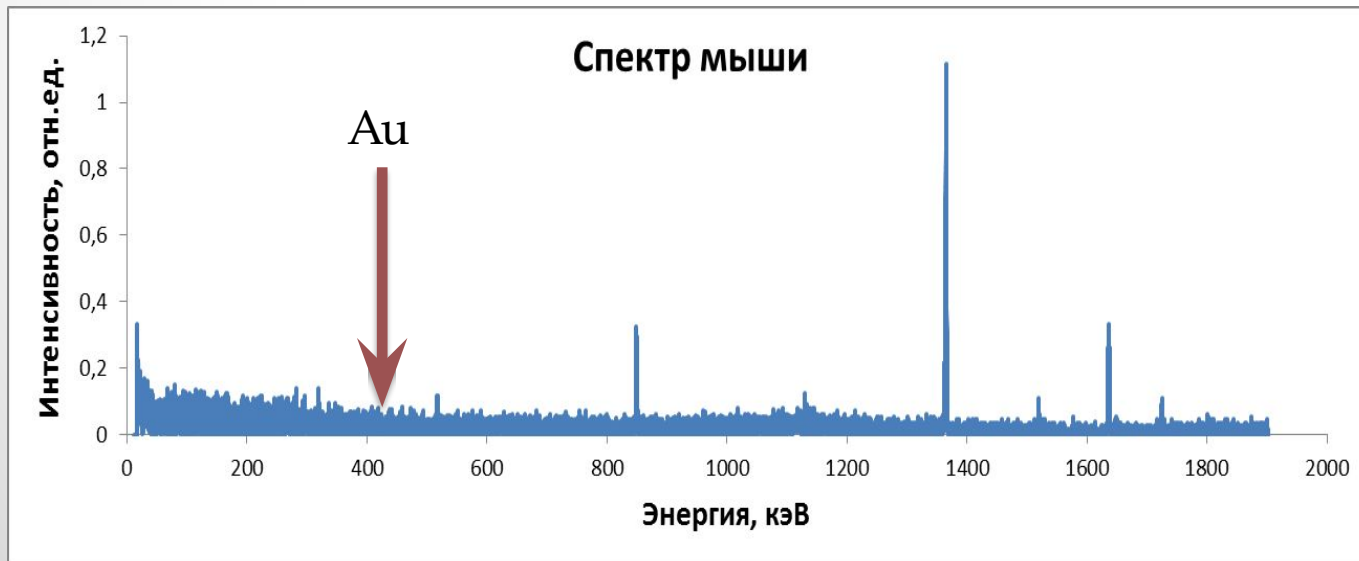
In vivo эксперименты 22 ноября 2018

Золотые наночастицы с бором



Измерение спектра мышей, способ для расчета потока нейтронов

Линии спектра: ^{24}Na , ^{40}K , ^{38}Cl , ^{42}K , ^{54}Mn



Автоматически комплекс сканирования образцов



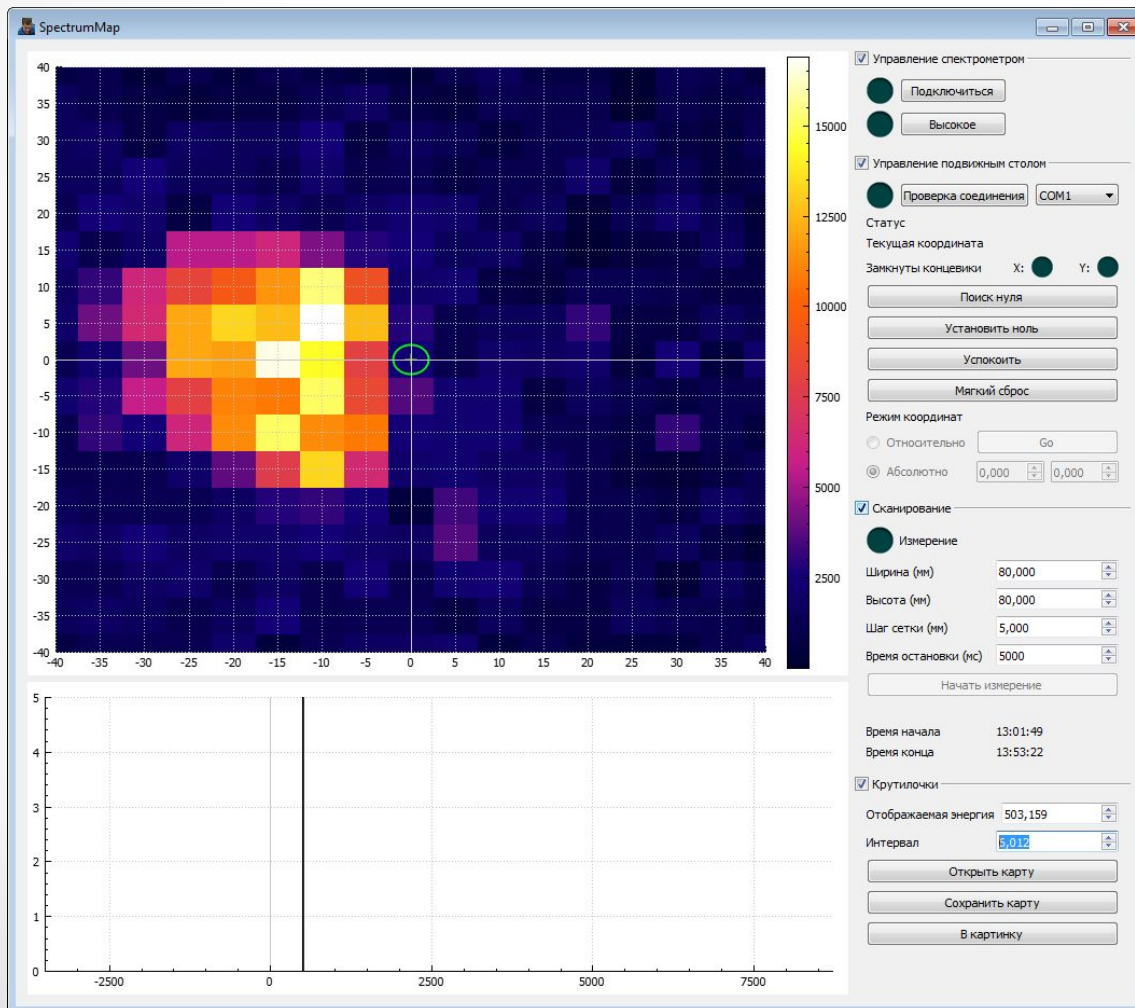
Компьютер с
программным
обеспечением

HPGe-детектор

Свинцовый коллиматор
(размер отверстия можно
изменять)

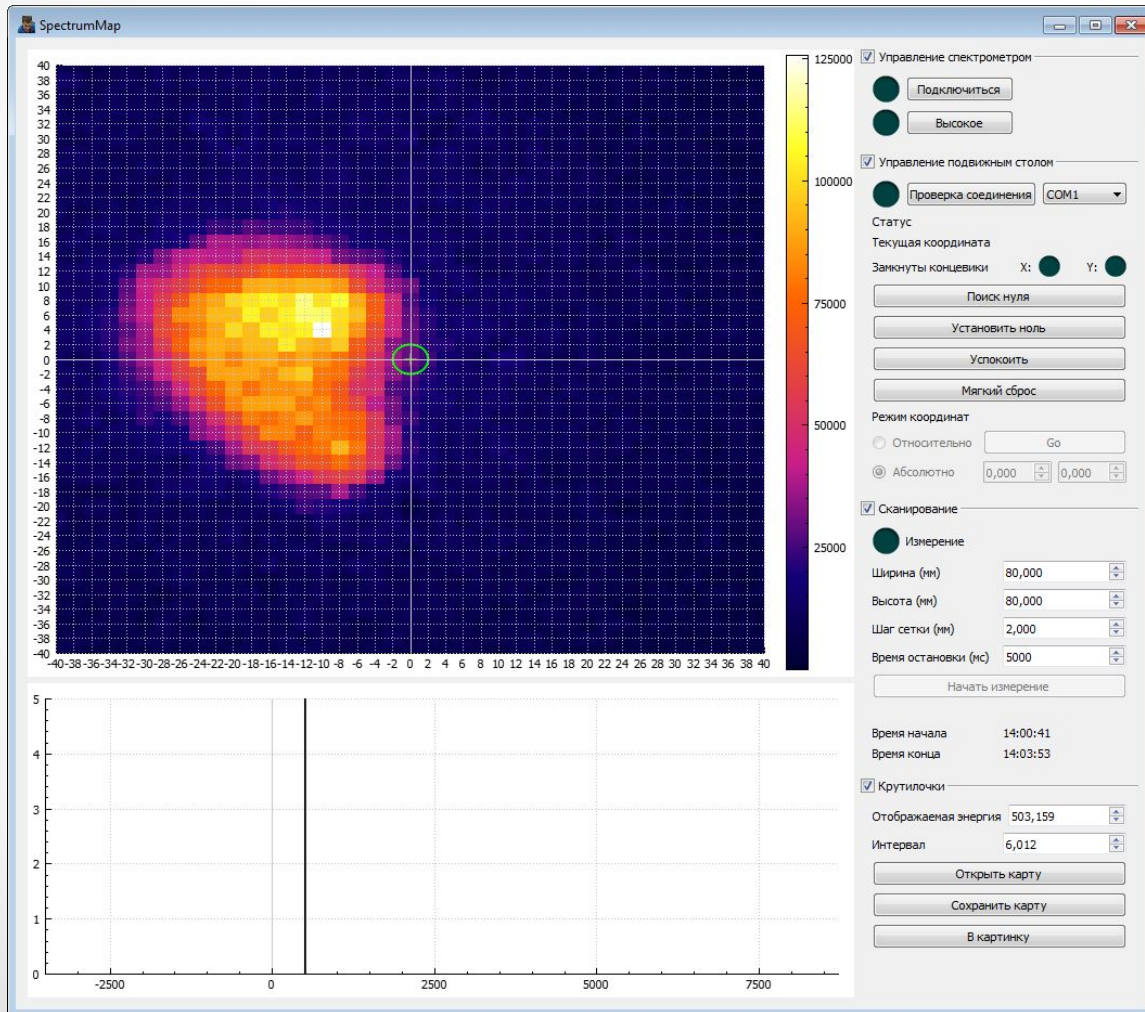
2D подвижный стол

Автоматически комплекс сканирования образцов



Время сканирования
1 час

Автоматически комплекс сканирования образцов



Время сканирования
1 сутки

Планы на будущее

- Изготовить активационные фольги подходящие для наших условий.
- Дальнейшее усовершенствование автоматического комплекса сканирования образцов.
- Испытание вещества доставщика бора с золотом на мышах.



Восстановление спектра

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2018, том 82, № 6, с. 814–818

УДК 539.12...164,539.125.5,543.522

ВОЗМОЖНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ ФОТОНЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА МЕТОДОМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

© 2018 г. А. А. Афонин, С. В. Зуев*, Е. С. Конобеевский

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва*

**E-mail: zuyev@inr.ru*

S_i - число отсчетов в аналитическом пике изотопа i -го элемента = 15542

m_i - масса i -го элемента в детекторе = 0,3255 г.

g_i - содержание аналитического изотопа i -го элемента в естественной смеси изотопов = 0,28

N_a - число Авогадро = $6 \cdot 10^{23}$

p_i - выход гамма-квантов на один распад образовавшегося радиоактивного изотопа = 0,27

ε - эффективность регистрации излучения наведенной активности = 0,05

J_i - скорость реакции

A_i - атомный вес i -го элемента = 186

Λ - постоянная радиоактивного распада = $0,693 / (23,9 \cdot 60 \cdot 60)$

t_a - время активации

t_b - время выдержки после облучения

$t_{и}$ - время измерения = 600 с.