

ИМПУЛЬСНЫЕ НЕЙТРОННЫЕ ИСТОЧНИКИ И НЕЙТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ИЯИ РАН.

Рябов Ю.В. ИЯИ РАН

**В 1966г проф. Бортоламыю (Чок-Ривер, Канада) предложил использовать
сильноточные протонные ускорители для генерирования
высокоинтенсивных импульсных нейтронных потоков для использования
во времяпролетных исследованиях в области фундаментальной ядерной
физики, а позднее и в исследования физики твердого тела.**

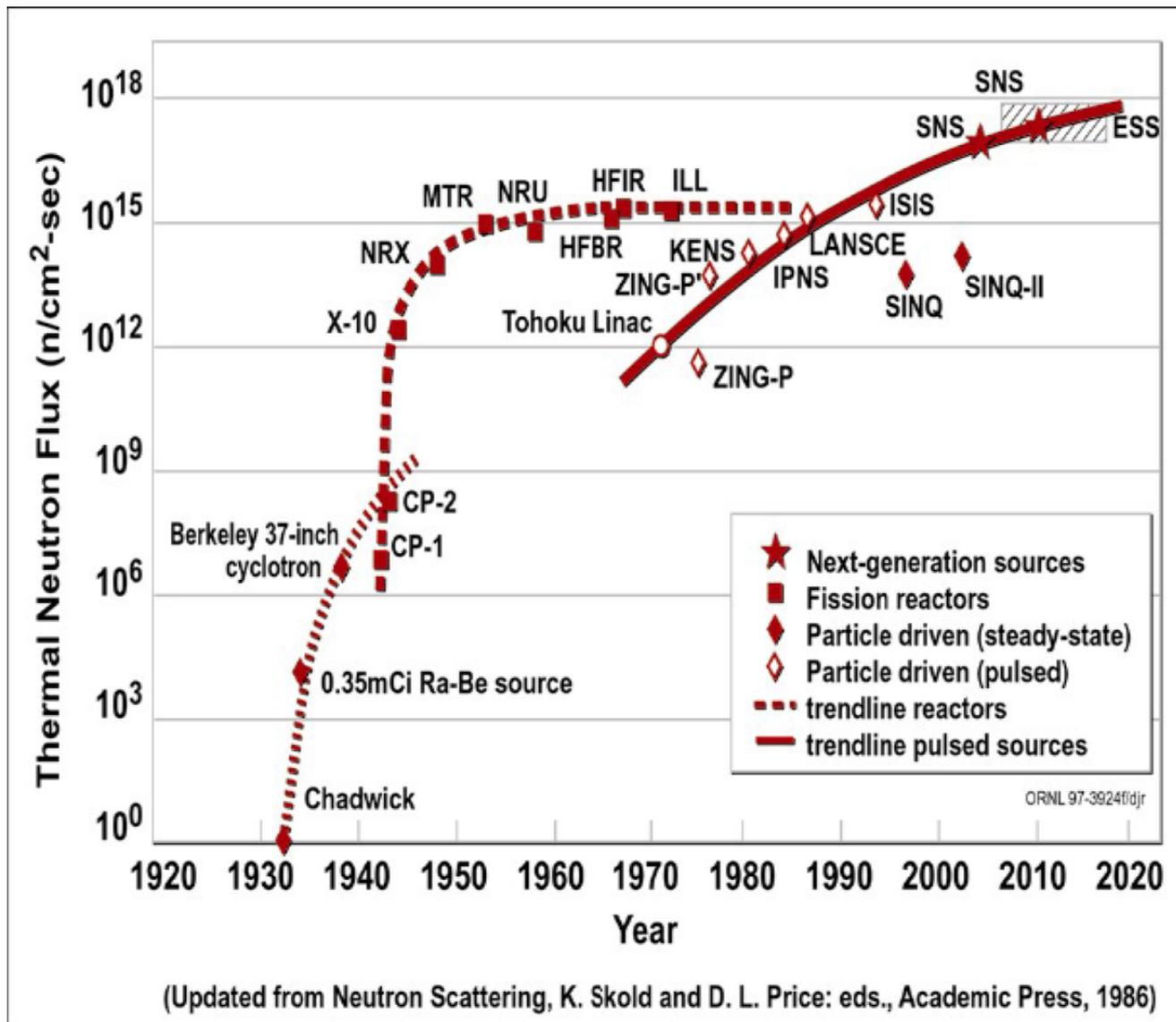
**Проект Нейтронного комплекса ИЯИ РАН был создан в конце
семидесятых и официально начал функционировать с 1998г. Предметом
гордости является то, что этот комплекс включает три импульсных
нейтронных источника разного типа: ИН-06, СВЗ-100 и РАДЭКС (ТРОНС).**

Год создания ЦКП 2000г. Распоряжение Президиума РАН №11300-123 от 28 февраля 2000 г.

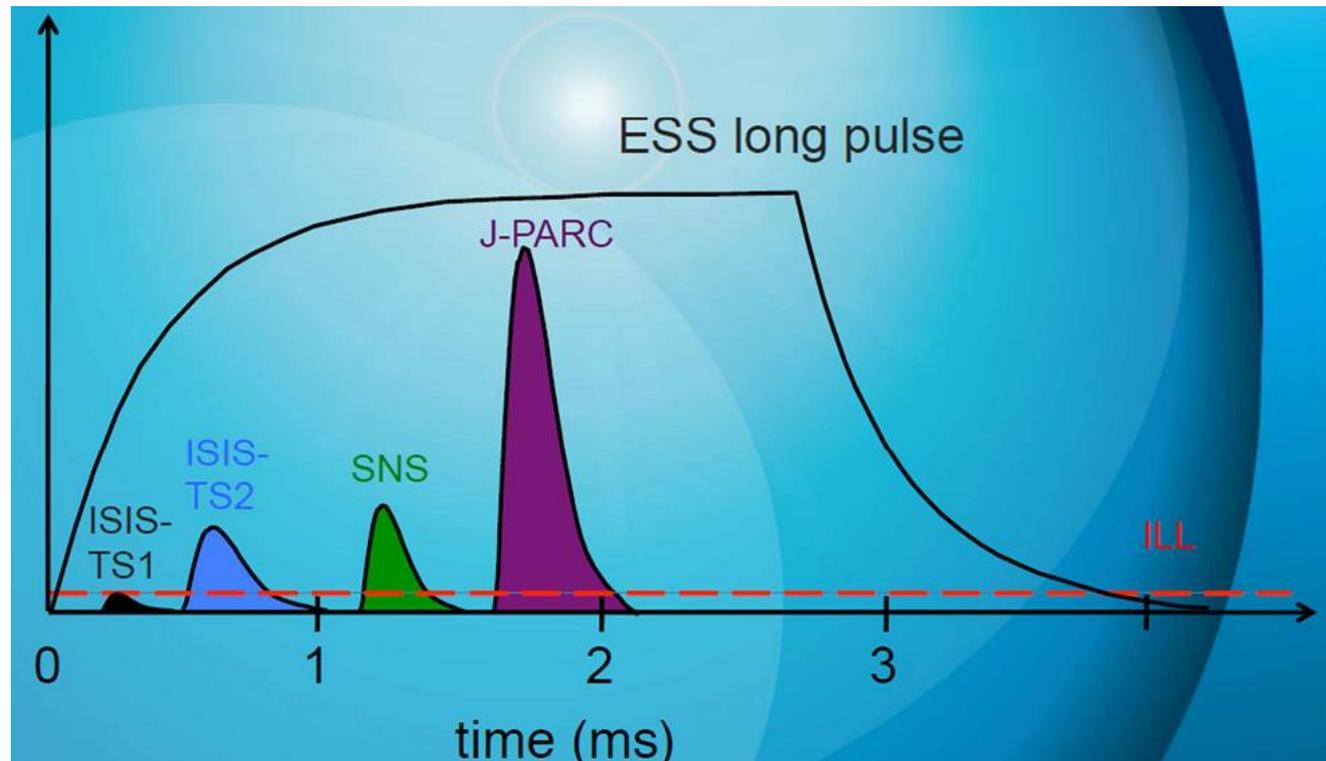
Участники ЦКП: Физический институт РАН; Институт физики высоких давлений РАН; Институт физических проблем РАН; Институт кристаллографии РАН; Институт физики твердого тела РАН; Санкт-Петербургский институт ядерной физики; Институт общей физики РАН; Институт химической физики РАН; Лаборатория нейтронной физики ОИЯИ; Московский государственный университет; Российский научный центр "Курчатовский институт"; Государственный научный центр Российской Федерации "Физико-энергетический институт".

ЦКП ИЯИ РАН обеспечивает экспериментальные работы в области физики конденсированных сред, нейтронной и радиационной физики

Достижимые потоки тепловых нейтронов



*Ширина пиков на рисунке
показывает длительность банча*



- **ИМПУЛЬСНЫЙ НЕЙТРОННЫЙ ТОФ-СПЕКТРОМЕТР**
 - **ММФ ИЯИ РАН.**
- **26 августа 2001г Приказ о сооружении ТОФ-спектрометра.**
- **15 декабря 2001г был закончен монтаж W-мишени, выходной камеры, двух вакуумных каналов, общего шибера, ловушек нейтронного пучка и основной защиты каналов и источника.**
- **В декабрьском сеансе исследована работоспособность новой мишени при закрытом шибере пучков и измерена радиационная обстановка в экспериментальном зале при среднем токе пучка 1 мкА.**
- **С.Г.Лебедевым был измерена плотность нейтронного потока на поверхности W-мишени активационным методом. Плотность потока оказалась равной $2.5 \cdot 10^9$ н/см²*с , что соответствует интегральной интенсивности $\sim 7.5 \cdot 10^{12}$ н/с.**

• ,

Расчеты

Таблица 2. Выход нейтронов с энергией < 14,5 МэВ из вольфрамовой мишени радиусом 5 см

E_p , МэВ	L, см	Полный выход, п/р	Выход Назад, п/р	Выход в сторону, п/р	Выход вперед, п/р
200	3	1.19 (1)	0.51 (43%)	0,22(19%)	0. 46(39%)
300	6	2.68 (1)	0.92 (34%)	1.10(41%)	0.66(25%)
500	12	6.63 (1)	1.47 (22%)	4.44(67%)	0.72(11%)
1000	32.4	18.32 (1)	2.66 (15%)	15.54(85%)	0.12(0.6%)

Основная часть нейтронов (более 90%) в каскадно-испарительном процессе выделяется на длине пробега протонов R и аппроксимируется выражением:

$$R(E_p) = 233 \times Z^{0.23} \times (E_p - 0.032)^{1.4} / \rho, \quad \text{для } Z > 10, \quad 0.1 < E < 1 \text{ ГэВ}$$

где E_p – энергия протонов, Z – заряд ядра материала мишени, ρ – плотность материала мишени г/см³.

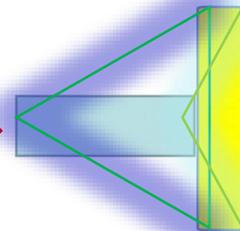
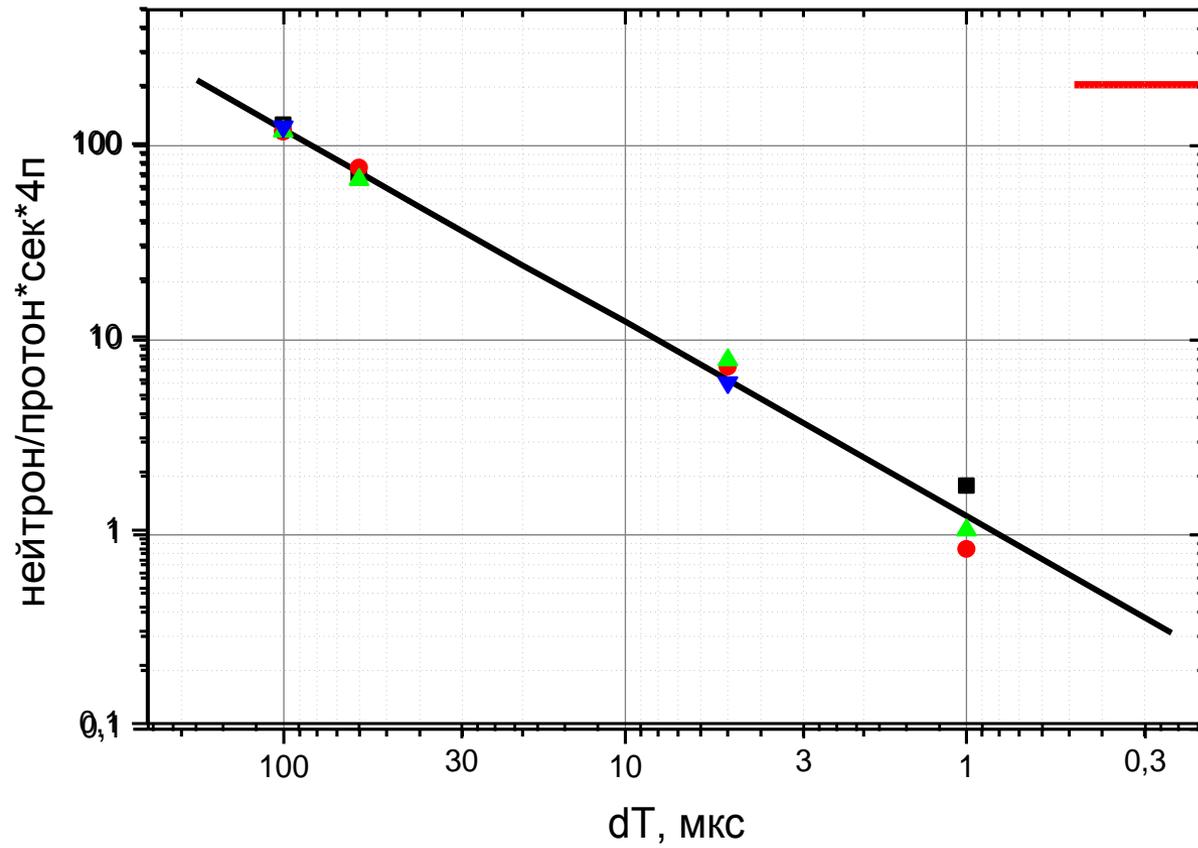
Для мишени РАДЭКСа $R(250 \text{ МэВ}) = 3.86 \text{ см}$, Полная толщина мишени 7 см.

Полный выход нейтронов под действием протонов зависит от материала и размеров мишени и от энергии падающих протонов.

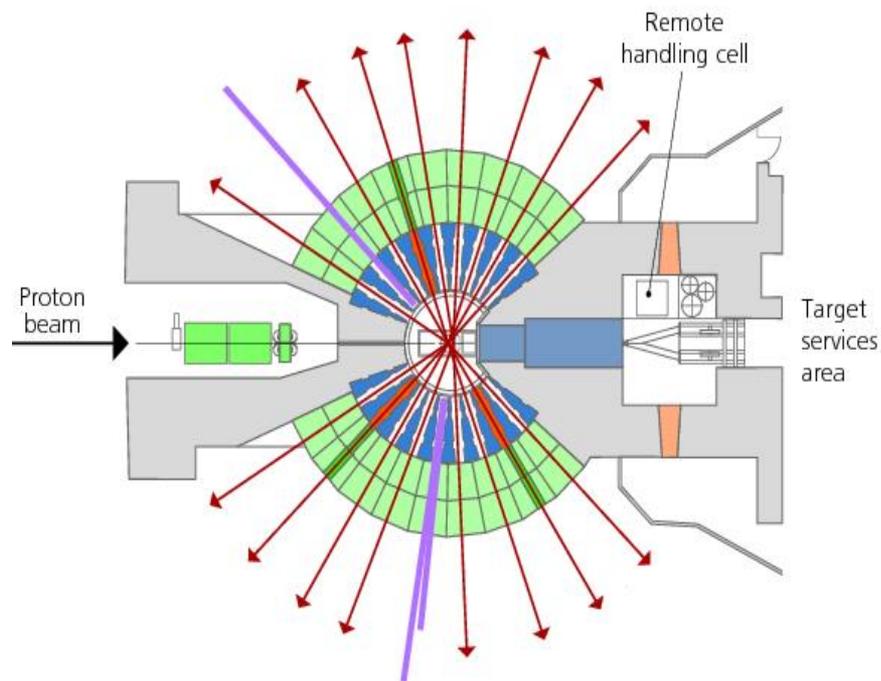
Для толстых мишеней с размерами больше длины пробега протонов экспериментально получена эмпирическая зависимость выхода нейтронов на один падающий протон для различных материалов в зависимости от энергии:

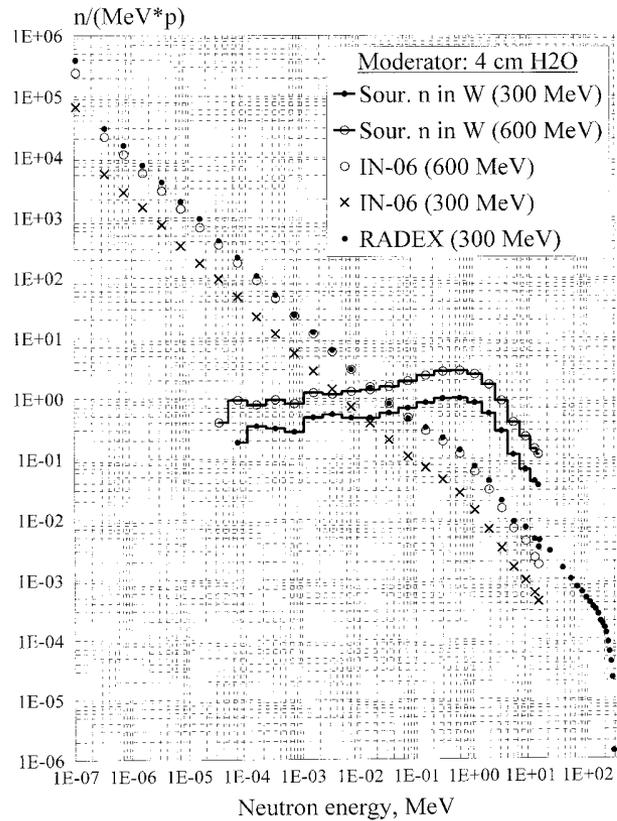
$$N_p = 0.1(A + 20)(E_p - 0.12), \quad \text{для } A > 9, \text{ и } 0.2 < E_p < 1.5 \text{ ГэВ}$$

**Для мишени РАДЭКСа $N_p = 2.65$ нейтронов на протон
(Экспериментальная величина 2.38 ± 0.37)**

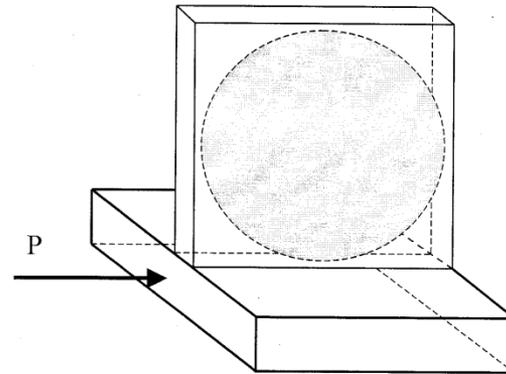


Пример мишени и разводки пучков на одном из зарубежных центров





Neutron spectra after water moderator of 4 cm in thickness.



ИН-06

6

$E_p=600$ MeV
Источник – 9.4 n/p

H ₂ O	$n_{<14.5/p}$
2 cm	0.39
4 cm	0.50

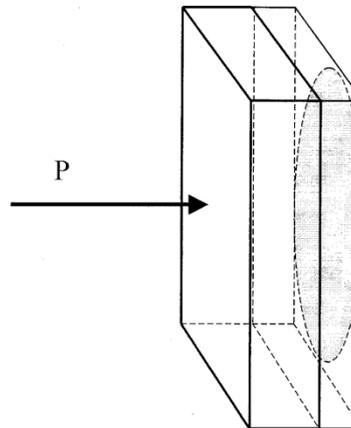
.4 n/p
p
)
)

$E_p=300$ MeV
Источник – 3.1 n/p

H ₂ O	$n_{<14.5/p}$
4 cm	0.12

.1 n/p
/p
?)

Мишень: 6×22×22 см, 90%W+10%H₂O
Замедлитель: d×22×22 см H₂O



РАДЭКС

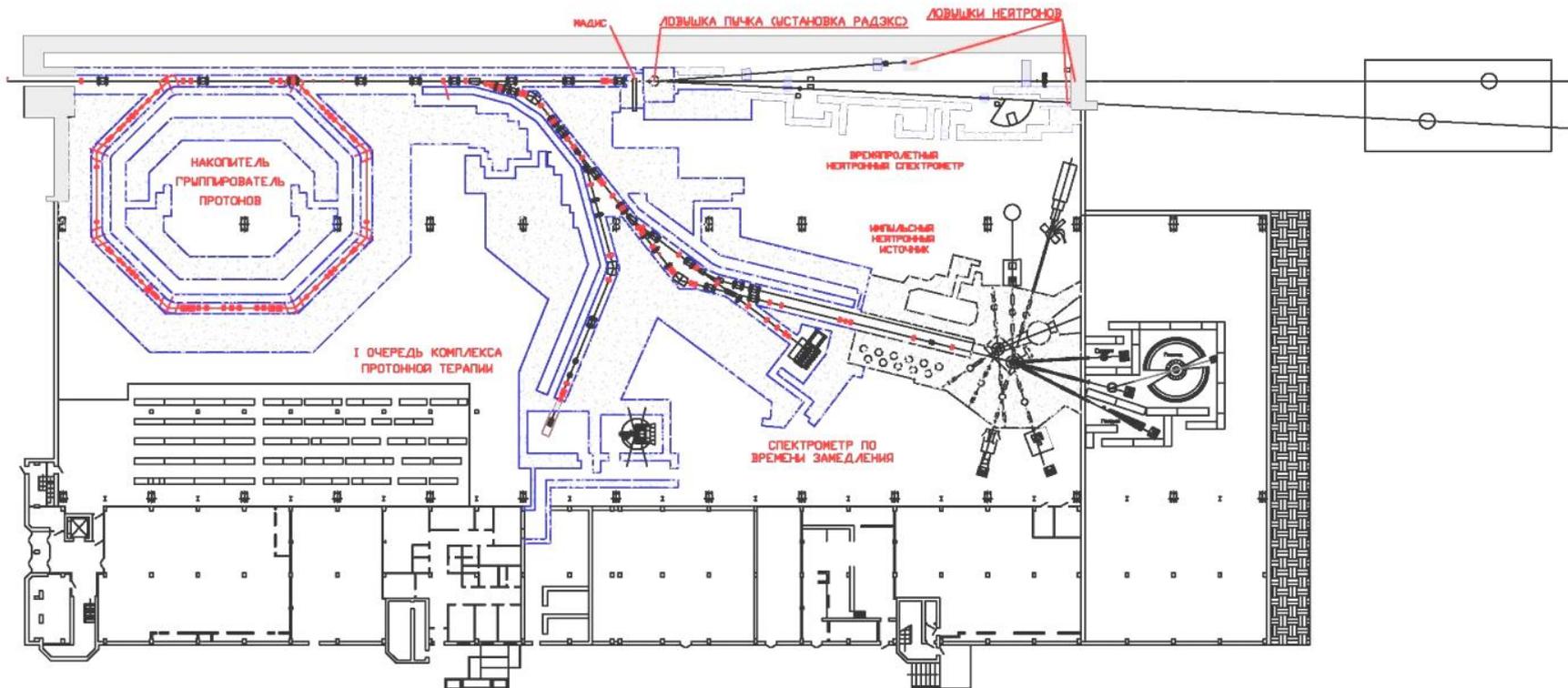
$E_p=300$ MeV
Источник – 3.0 n/p

H ₂ O	$n_{<14.5/p}$	$n_{>14.5/p}$
1 cm	1.0	0.19
2 cm	0.88	0.17
4 cm	0.63	0.15

4.5/p
19
17
15

Мишень: 6×22×22 см, вольфрам
Замедлитель: d×22×22 см H₂O

$I_{мкв} = 6.24 \cdot 10^{12}$ пром/сек γ от/сек

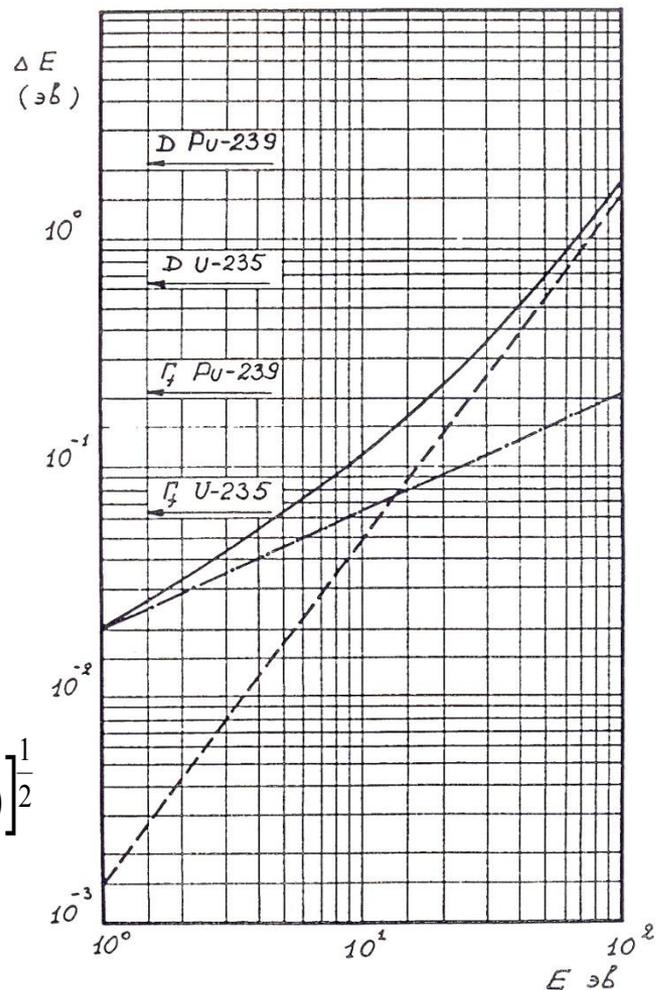


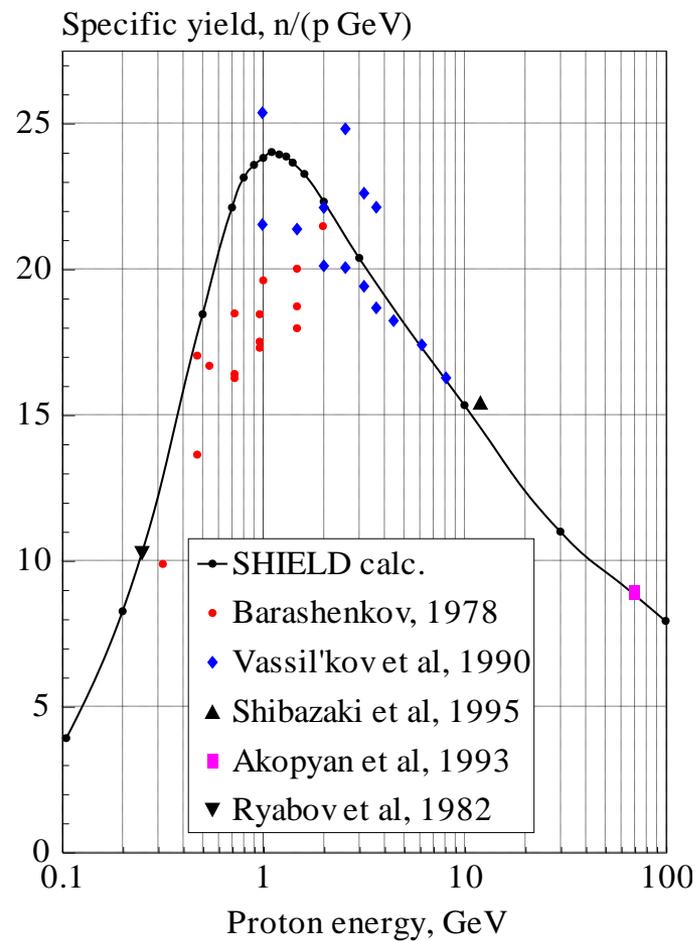
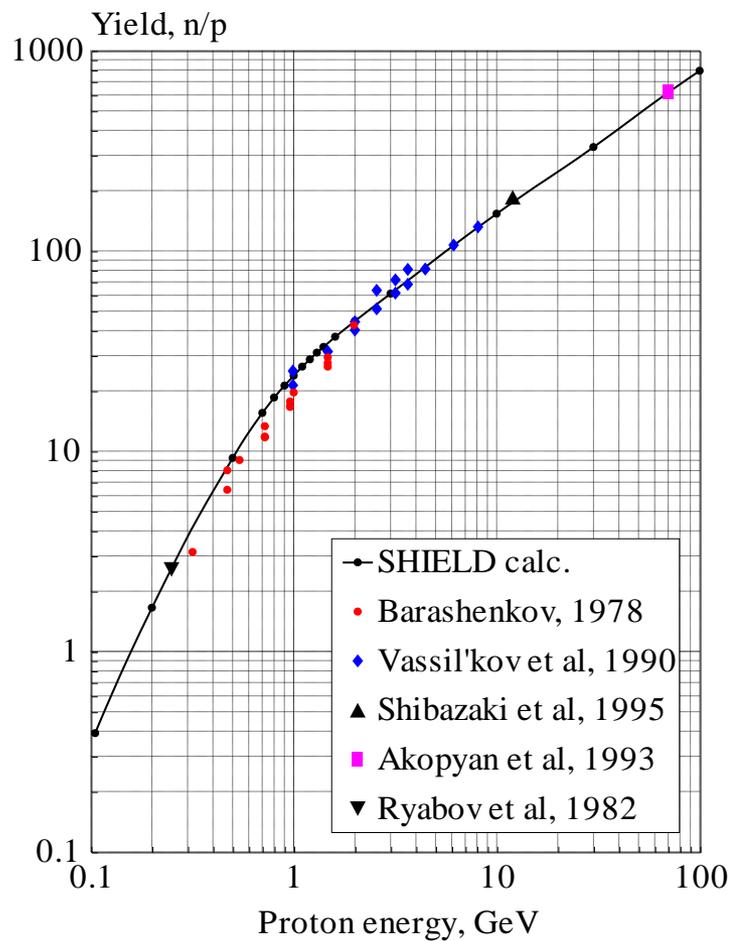
Расчет энергетического разрешения исходя из длительности банча и комнатной температуры мишени

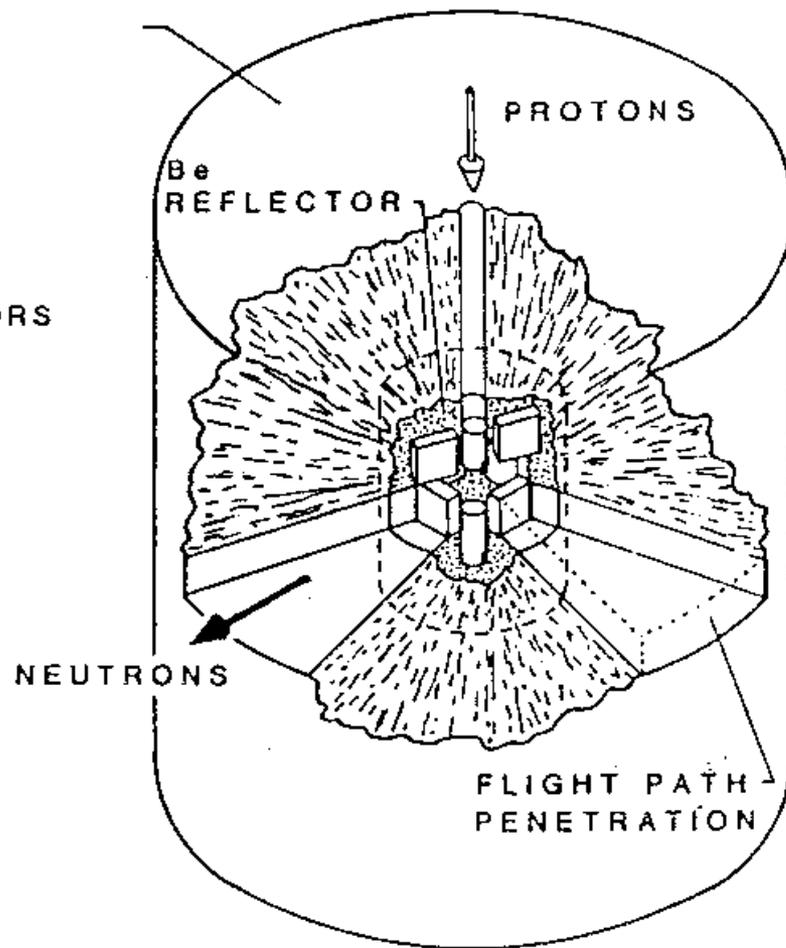
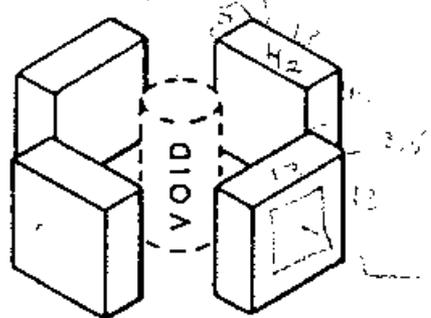
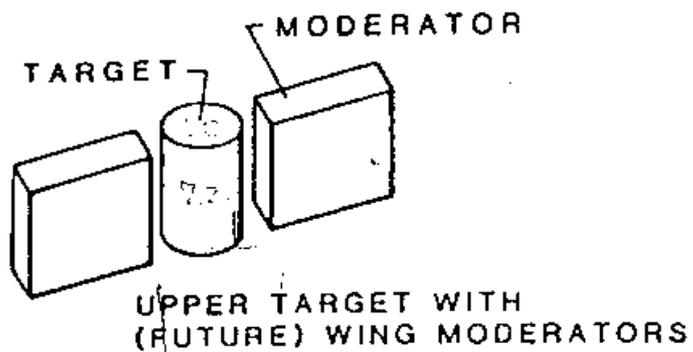
$$\Delta E = 2.78 \cdot 10^{-2} \frac{\Delta \tau(E)}{l} E_n^{\frac{3}{2}}$$

$$\tau_{\Delta}(E) = 2 \sqrt{\frac{m_0 k T E}{M}}$$

$$\tau(E) = \left[\tau_a^2(E) + \tau_i^2(E) + \tau_i^2(E) + \tau_l^2(E) + \tau_d^2(E) + \tau_{\Delta}^2(E) \right]^{\frac{1}{2}}$$







ИЯИ РАН

Neutron Facilities

WNR – Weapons Neutron Research (8 channels)

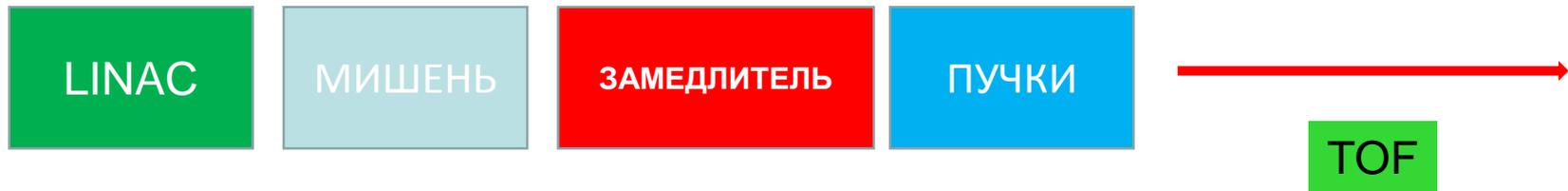
Lujan Neutron Scattering Center (18 channels)



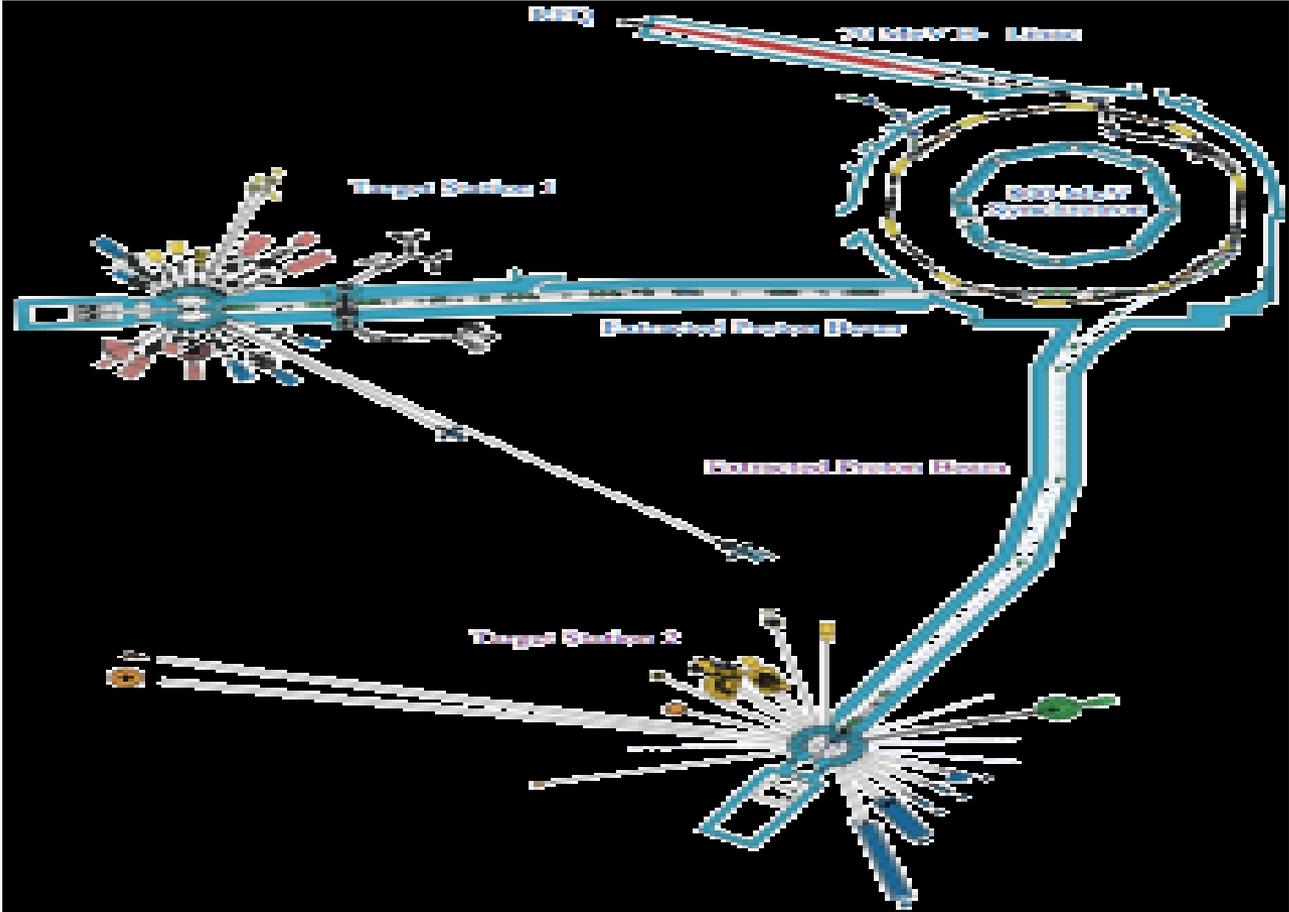
Мишень нейтронов
расщепления



СТРУКТУРА ИМПУЛЬСНЫХ НЕЙТРОННЫХ СИСТЕМ



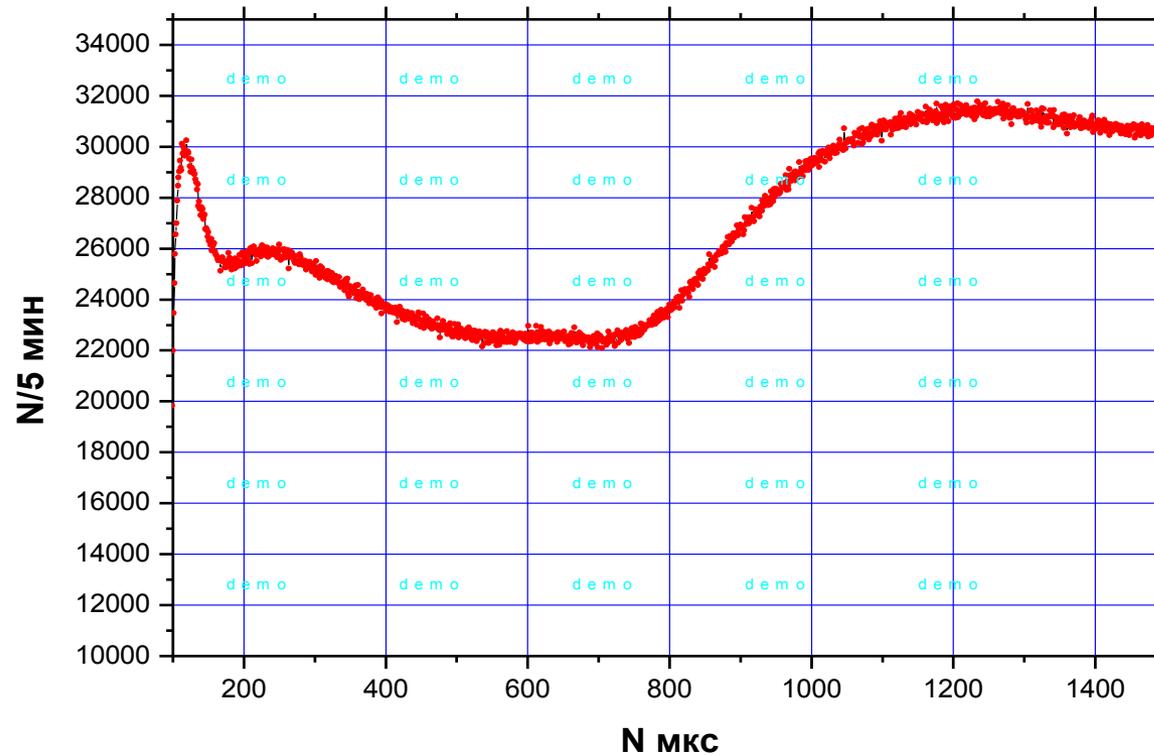
1. ЭНЕРГИЯ, ИМПУЛЬСНЫЙ И СРЕДНИЙ ТОК ПРОТОНОВ -
2. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ НЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА -
3. ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ МИШЕНИ -
4. ПОТОК НЕЙТРОНОВ В ИМПУЛЬСЕ -
5. ГЕОМЕТРИЯ МИШЕНЬ – ЗАМЕДЛИТЕЛЬ -
6. ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ЗАМЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ ($1/E$) ?
7. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСТОЧНИКА (---)
8. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА (Компактность) -
9. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ НЕЙТРОНОВ В НЕЙТРОНОПРОИЗВОДЯЩЕЙ МИШЕНИ =
10. ФОН ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ?
11. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАЗРЕШЕНИЕ ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА ?
12. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЙ ?

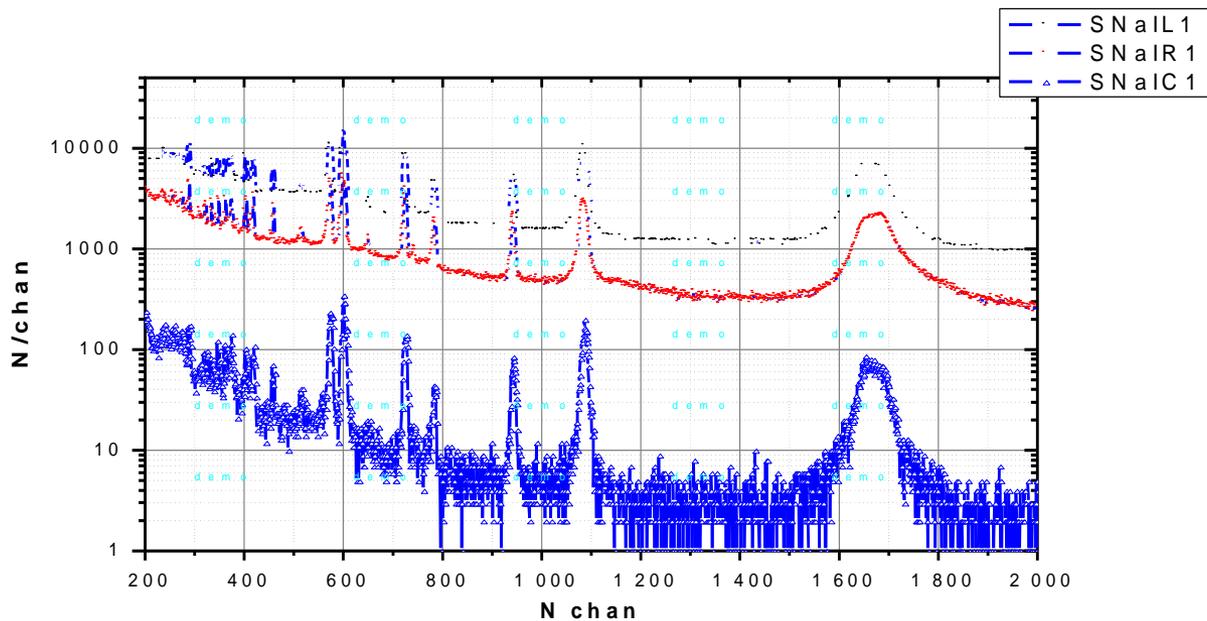


Два фото ИЯИ и пример компактного размещения за рубежом



Время-пролетный спектр нейтронов с РАДЕКС





*Реальные время-
пролетные спектры
на совпадения при
работе с одной из
мишеней*

