



# Детекторы тепловых нейтронов



# **ПЕРВАЯ** премия

на конкурсе

«Лучшие работы ПИЯФ  
2009года»

за работу

«Разработка и создание  
двухкоординатного  
детектора тепловых  
нейтронов»

# Авторский коллектив

*А. Г. Крившич, В. А. Андреев, Д. С. Ильин,  
Е. А. Иванов, С. Н. Коваленко, Г. Д. Шабанов*

*А. В. Надточий,*

*В. В. Рунов,*

*В. А. Соловей, М. Р. Колхидашвили,*

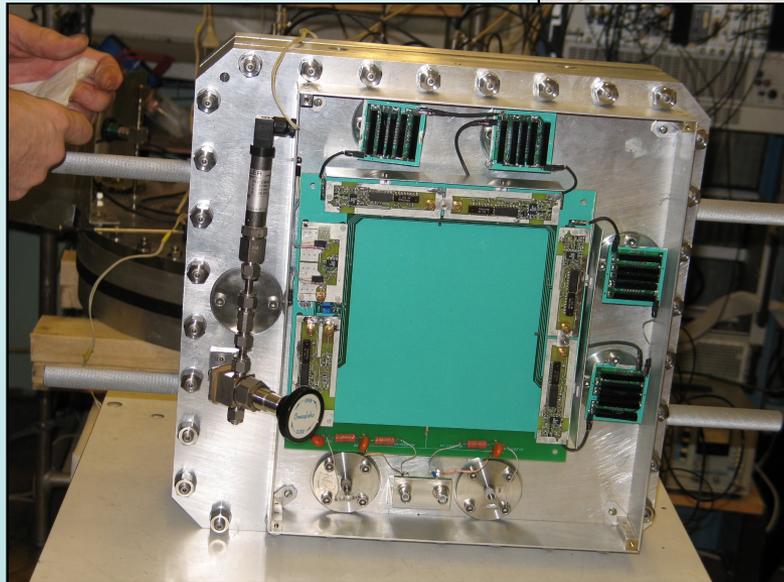
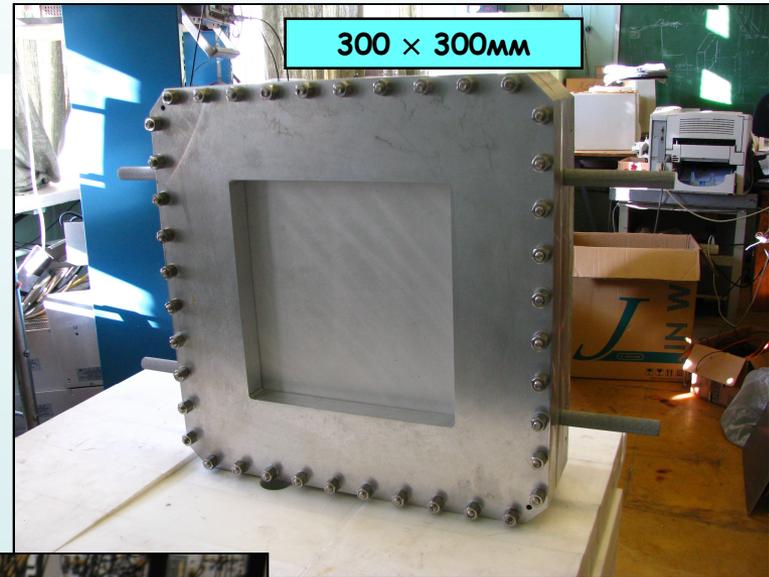
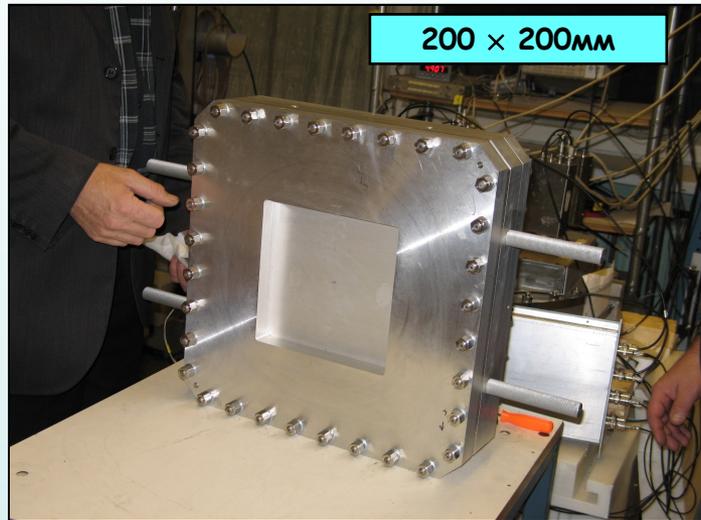
*Г. А. Ганжа*



**Активная поддержка работы**

*А.И.Окороков, В.В.Федоров, А.А.Воробьев*

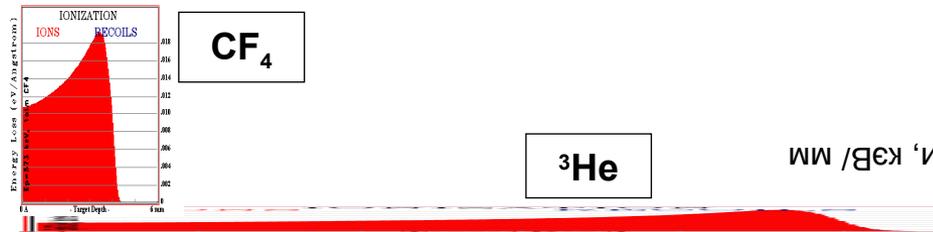
# Рабочие экземпляры детекторов тепловых нейтронов



# Регистрация тепловых нейтронов



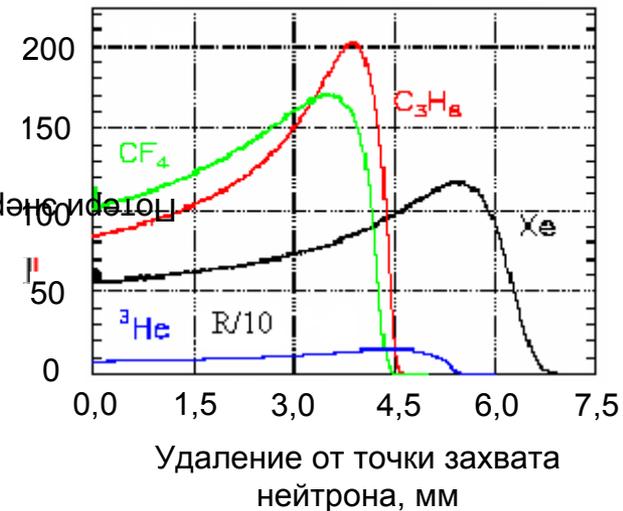
**Энергетические потери для протонов с энергией 573 кэВ в CF<sub>4</sub> (1атм) и в <sup>3</sup>He (1атм)**



Потери энергии протоном в различных газах при давлении 1 атм (для гелия пробег разделен на 10).

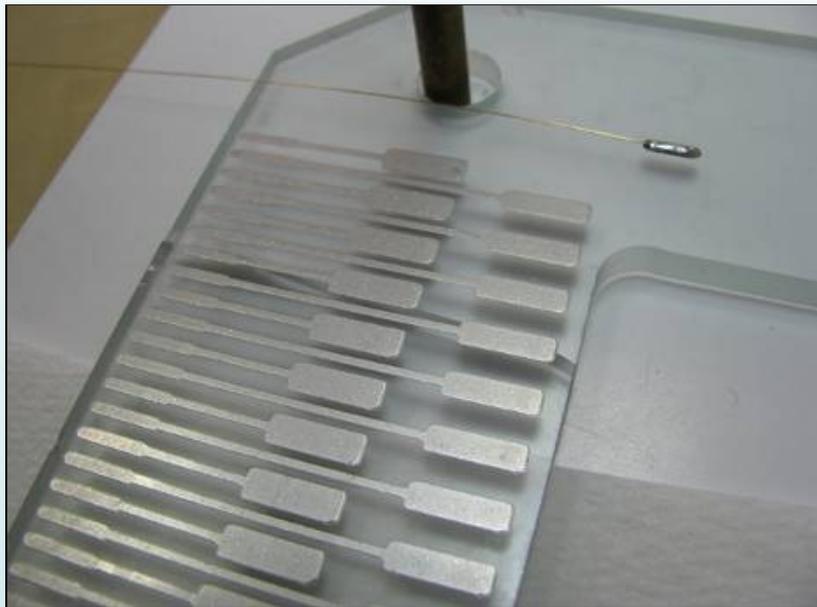
**25 000 электрон-ионных пар**

**КГУ ≤ 100**



# Герметичность детекторов и чистота рабочей смеси

Все электроды изготовлены из кварцевого стекла

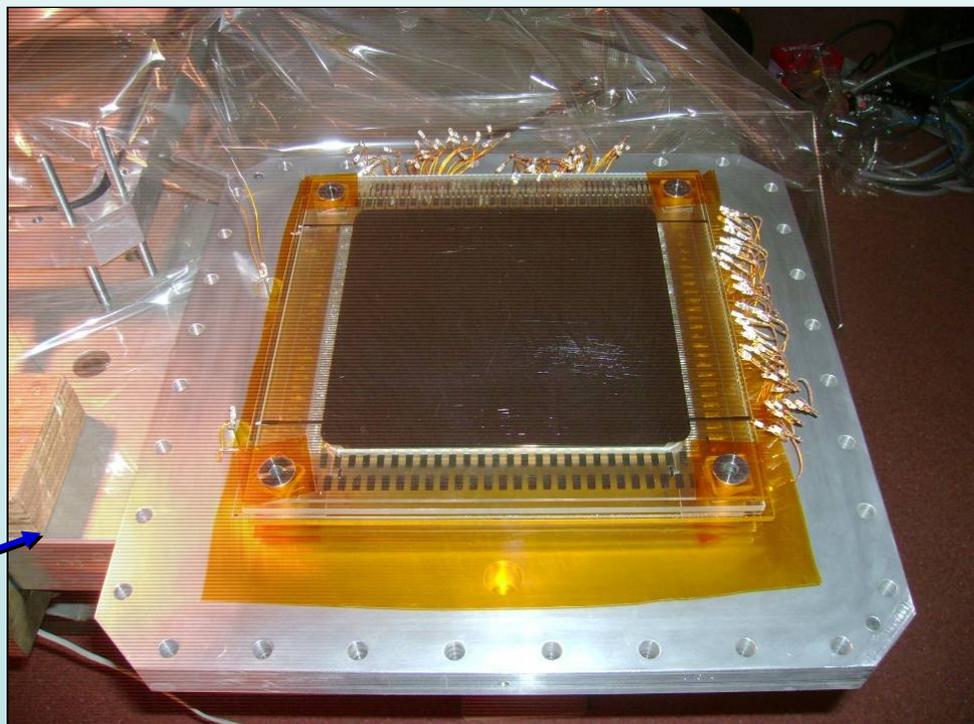


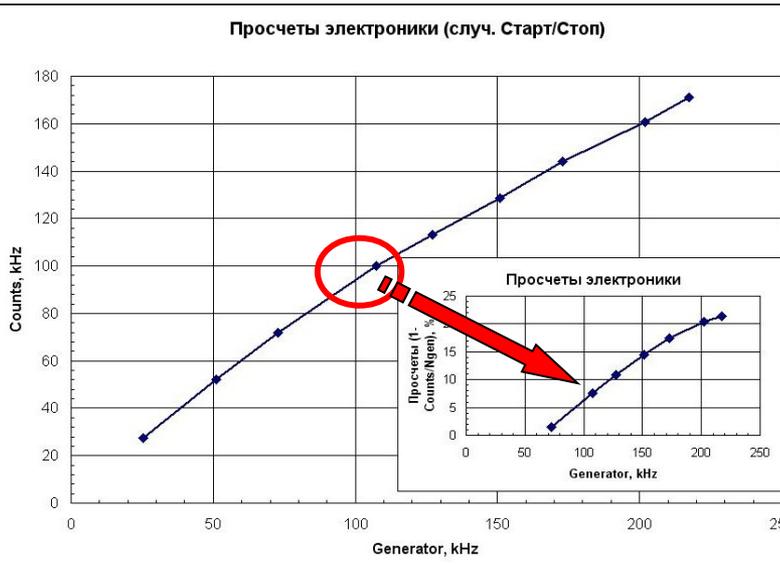
Применена технология изготовления электродов из кварцевого стекла

**Собранный пакет электродов**

Стабильность характеристик детектора:

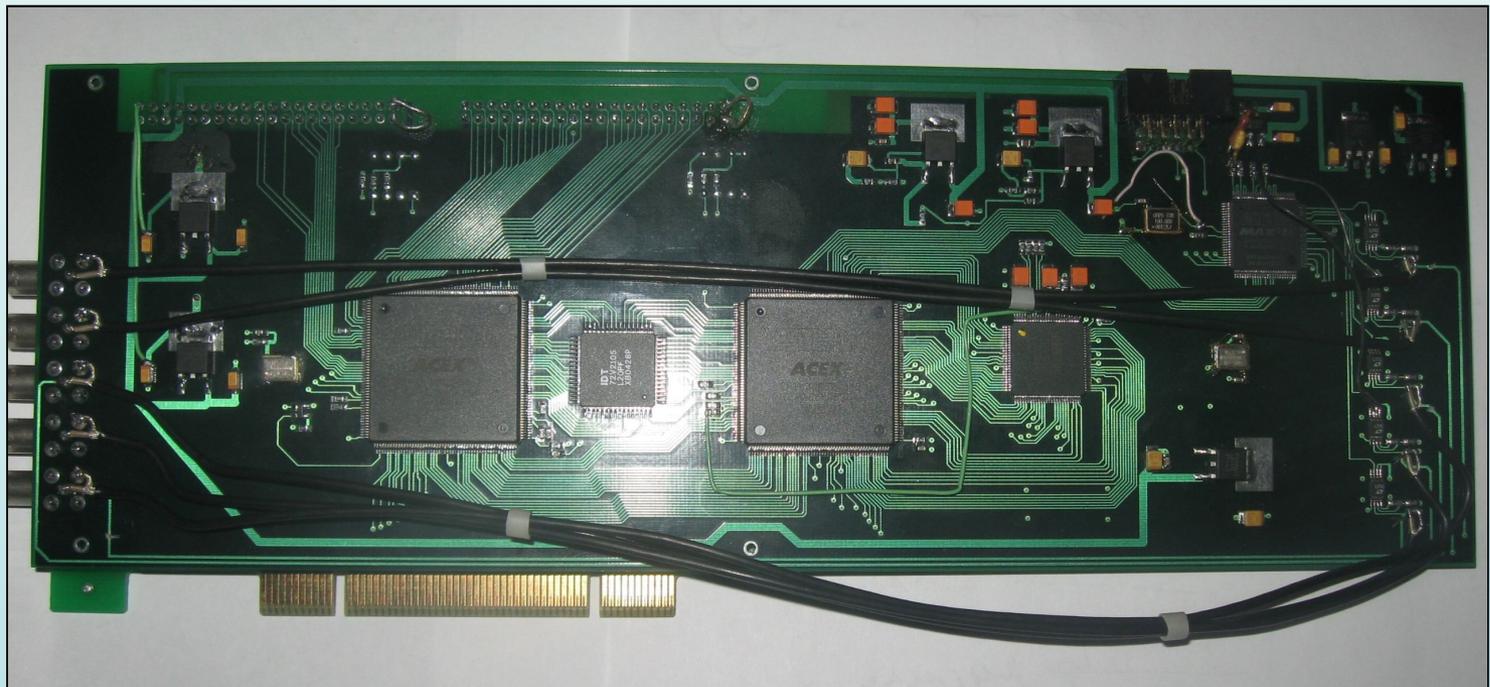
1. Минимальные утечки рабочей смеси (падение давления - менее 3% в год)
2. Минимальное газовыделение материалов детектора в его рабочий объем



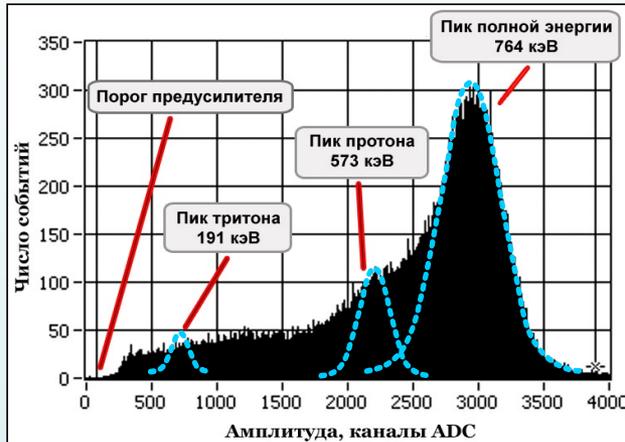


# Регистрирующая электроника

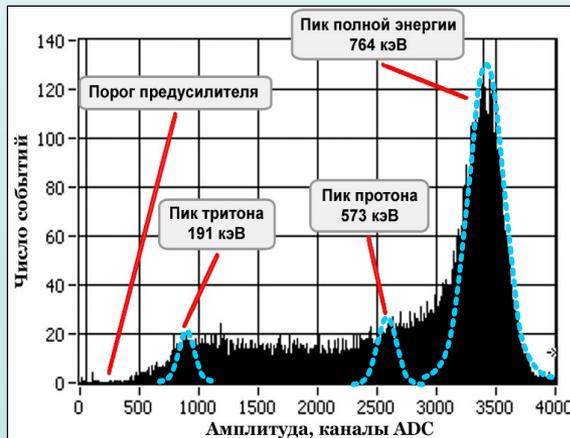
4-х канальный TDC  
 позволяет работать с интегральными  
 нагрузками до  $2 \times 10^5$  1/сек.



# Амплитудные спектры



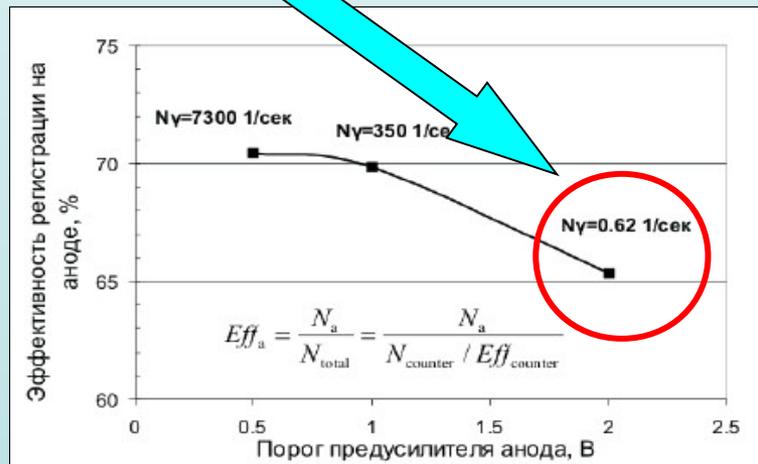
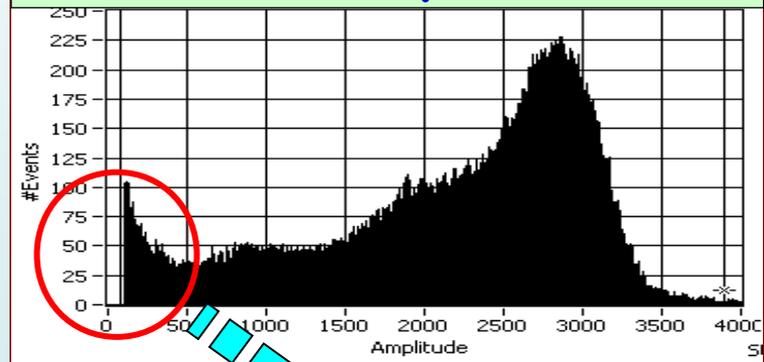
2D - детектор нейтронов



Пропорциональный счетчик нейтронов СНМ-50.

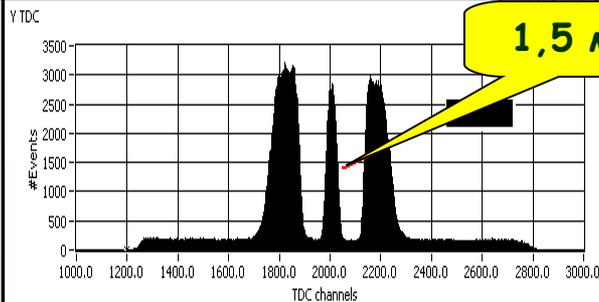
## Чувствительность к гамма-фону

Потеряли 5% эффективности, а гамма-фон подавили в 10000 раз.



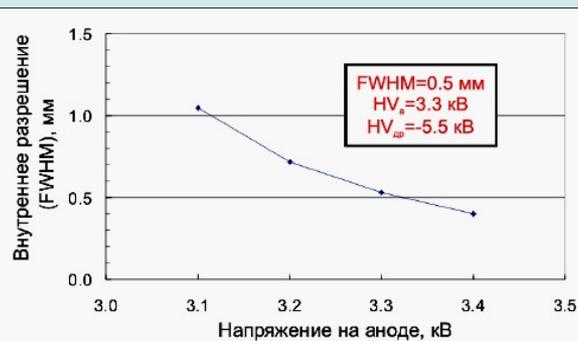
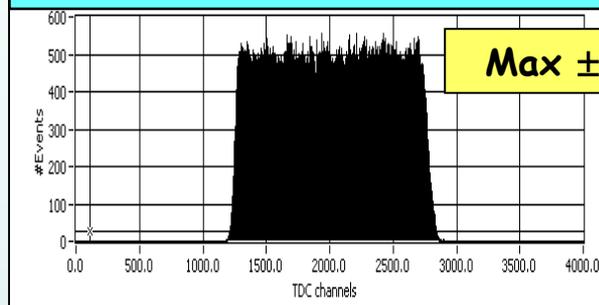
$$Eff_a = \frac{N_a}{N_{total}} = \frac{N_a}{N_{counter} / Eff_{counter}}$$

## Пространственное разрешение детектора $FWHM=1,5\text{мм}$



Внутреннее разрешение детектора - менее  $0,5\text{мм}$ .

## Дифференциальная нелинейность



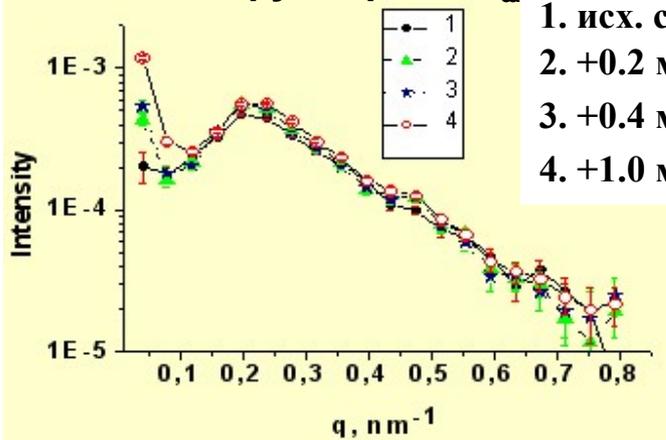
## Счетные характеристики

Детектор работает очень надежно:

- Плато по аноду  $3400-2800=600\text{В}$ ;
- Плато по дрейфовому промежутку  $6000-1500=4500\text{В}$
- Микро-пробоев и резкого роста шумов в конце плато **НЕТ**.

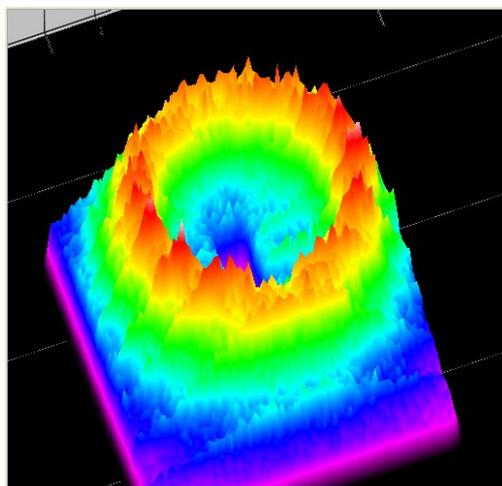
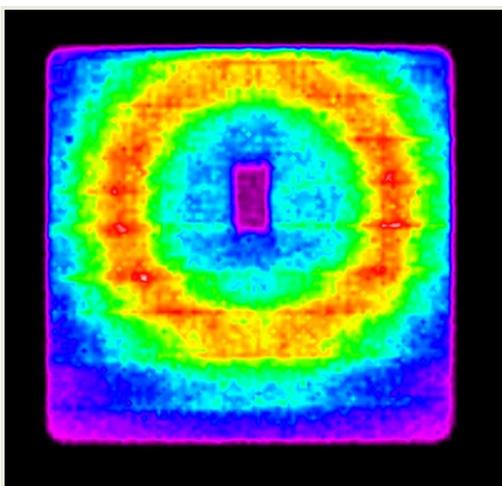
# Рассеяние тепловых нейтронов на образцах

**Мембрана-2 (многосчетчиковая система):**  
 пленки силиксана  $O_xC_ySi_z$  с различными  
 добавками фуллерена  $C_{60}$



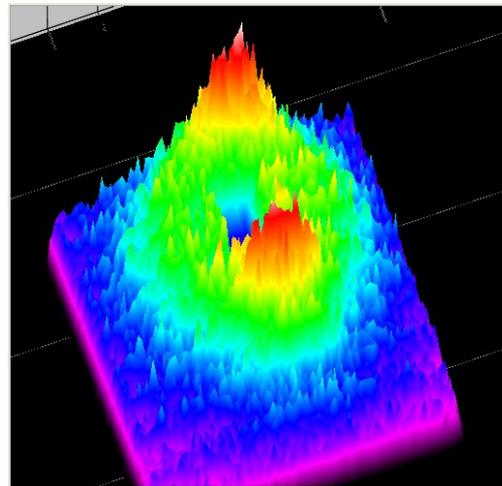
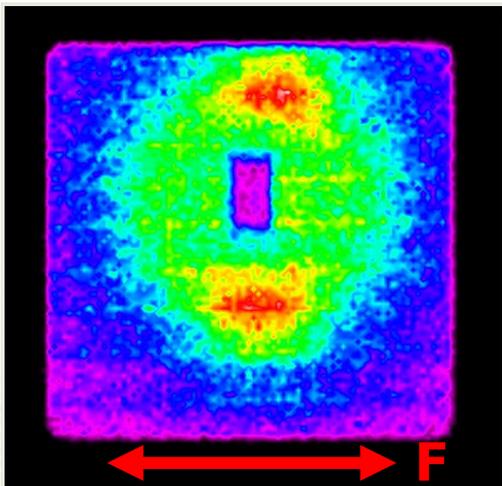
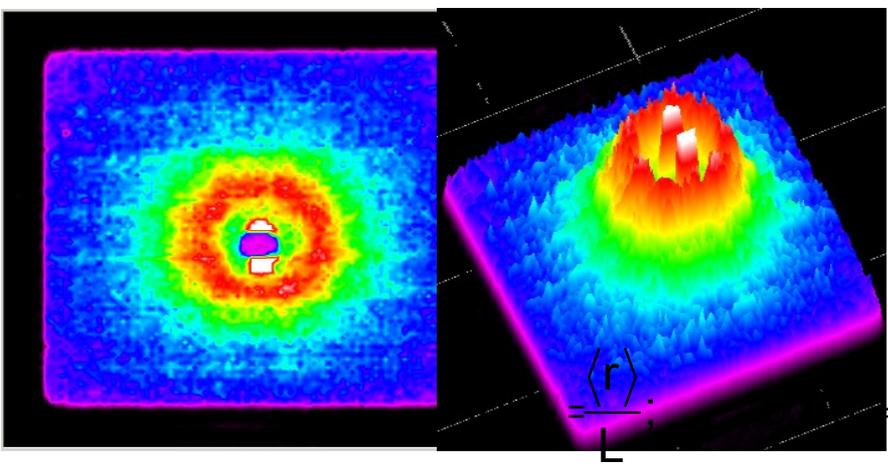
1. исх. силиксан
2. +0.2 мас. %  $C_{60}$
3. +0.4 мас. %  $C_{60}$
4. +1.0 мас. %  $C_{60}$

$$q = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}; \quad \theta = 0.62^\circ$$



**Фторопласт (Teflon),** расстояние до детектора  
 10 см. Характерный размер решетки  
 $D=2\pi/q=0.56$  нм.

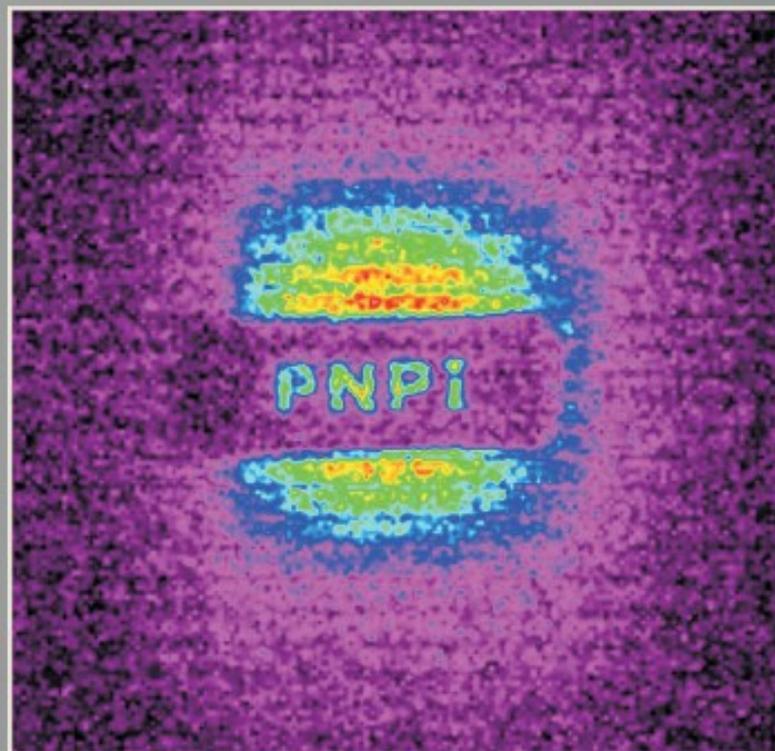
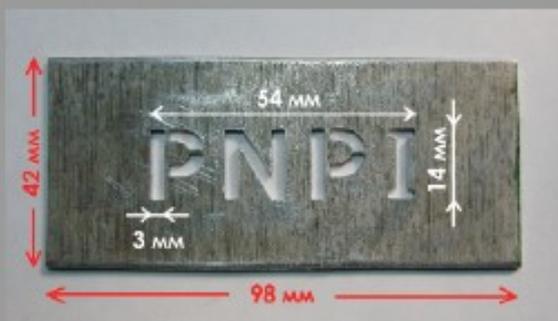
**Мембрана-2 с ПЧД 200×200:** расстояние  
 до детектора  $L=253$  см. Характерный  
 размер  $D=2\pi/q=28$  нм.



**Растянутая пленка фторопласта:** деформация  
 решетки в выделенном направлении  $F$ .

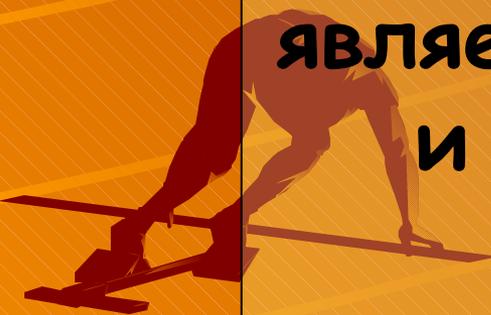
## Двухкоординатные спектры

На рис. - изображение, полученное при облучении рассеянным пучком нейтронов ( $^{252}\text{Cf}$ ) пластины кадмия с аббревиатурой "PNPI".



**Совместными усилиями двух  
Отделений (ОНИ и ОФВЭ)**

**в институте создан  
двухкоординатный детектор  
тепловых нейтронов, который  
является законченным прибором  
и он начал применяться в  
реальных физических  
экспериментах**

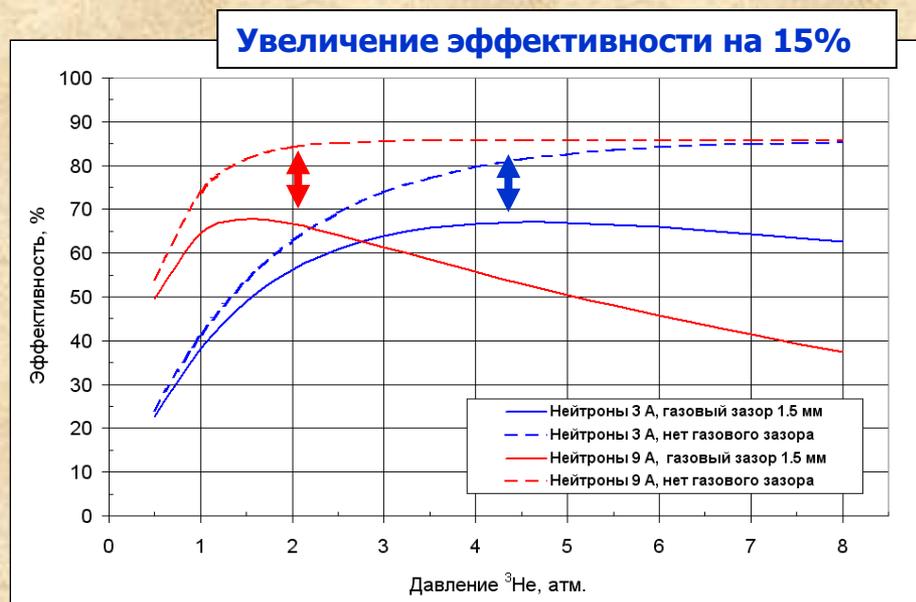


**Стратегия развития  
детекторов тепловых  
нейтронов в ПИЯФ**

# **Двухкоординатный монитор пучка:**

- высокая трансмиссия нейтронов (95-98%) ,
- возможность работы при высоких интенсивностях пучка ( $I > 10^5$  н/см<sup>2</sup> с),
- пространственное разрешение 3-4 мм

# Модернизация существующей конструкции детектора

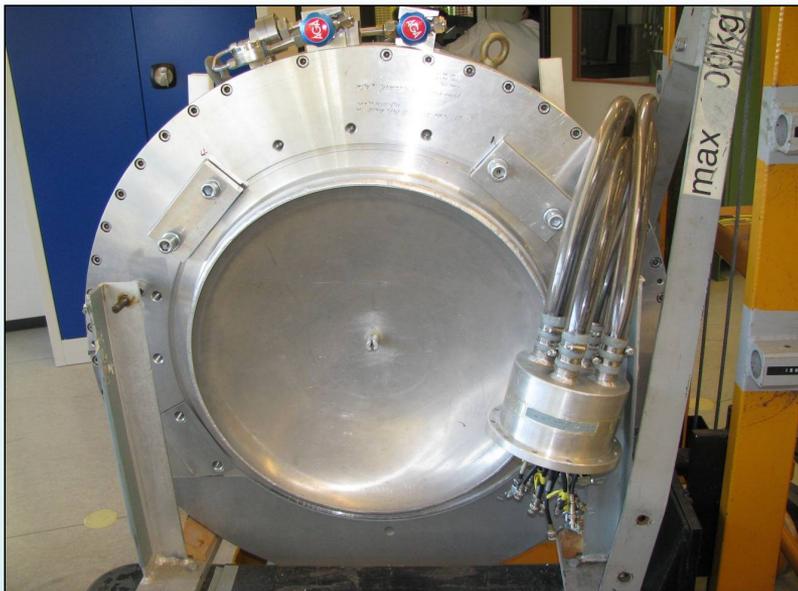


# Типы детекторов нейтронов, которые планируются к применению в различных экспериментальных установках реактора ТИК

		Пропорциональные счетчики	Газонаполненные 2D-детекторы	Сцинтилляторы	ППД
1	Порошковые дифрактометры	3			
2	Кристаллические дифрактометры		6		
3	Спектрометры неупругого рассеяния		3	3	
4	Малоугловые инструменты		10		
5	Прочие установки		2		1
	<b>ИТОГО</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Апертура	Пространственное разрешение, мм	Количество
<b>100×100</b>	2	1
<b>200×200</b>	2	3
<b>250×250</b>	2	2
<b>300×300</b>	2	8
400×400	4	1
500×500	4	3
1000×1000	8	2
	<b>ИТОГО</b>	<b>21</b>

# Детекторы нейтронов из GKSS

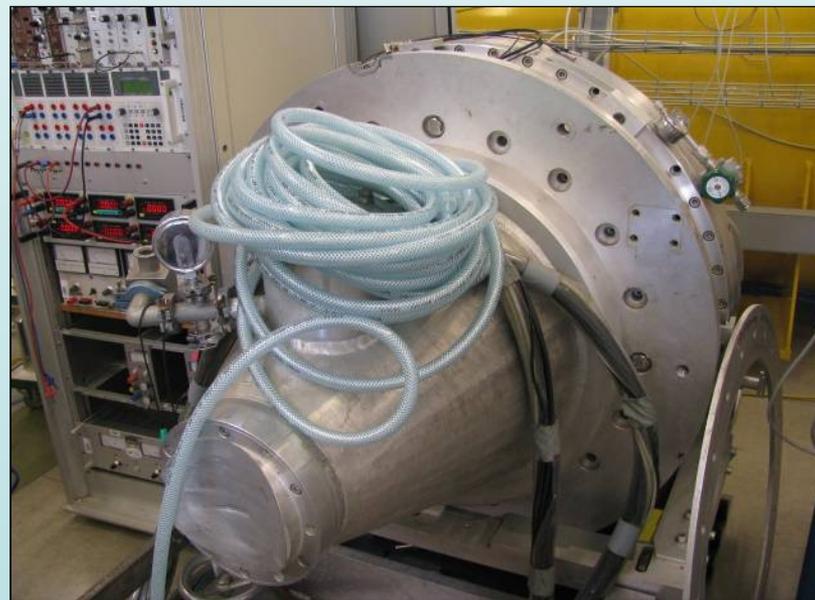
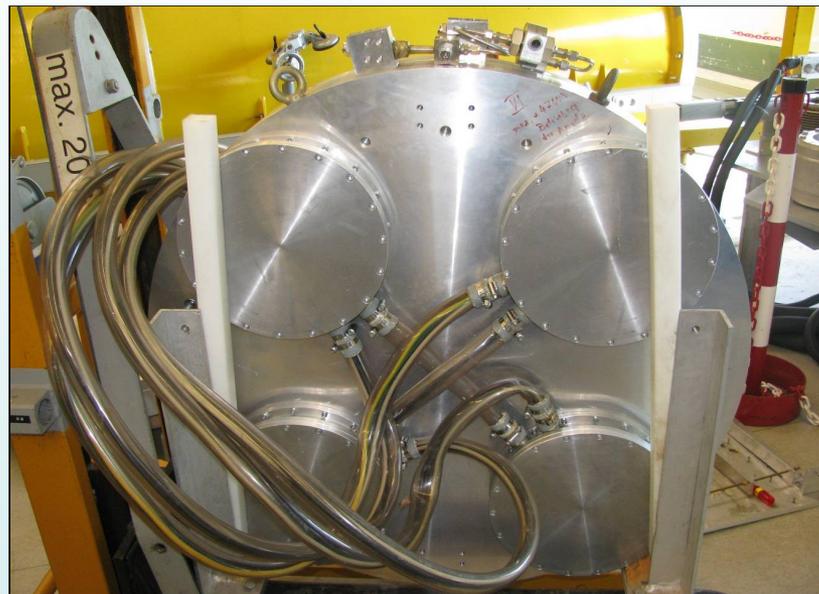


**Сверху – детектор для малоугловых измерений (с буферным объемом).**

**Справа – детектор для работы на больших углах рассеяния (с дополнительным вакуумным объемом).**

**Метод съема информации – Charge division.**

**Пространственное разрешение – 8мм.**



**Разработка технологии  
детекторов нейтронов с  
аппертурой до 100×100см.**

**Возможность работы  
детектора в вакууме.**

# Увеличение загрузочной способности детекторов с $1 \times 10^5$ 1/сек до $1 \times 10^6$ 1/сек

Ограничение по скорости счета для детекторов с линией задержки:  
"multi-hit events" невозможно для данного типа read-out.



- Если, например, длина линии задержки для REFSANS-Detector:  $\Delta t_d = 423$  ns
- Тогда для имеющегося read-out это и будет временной интервал между сигналами для одного события  $\Delta t = \Delta t_d$



Максимальная нагрузка составит  $I_{g\text{max}} \ll 1/\Delta t_d$   
Для REFSANS-Detector:  $I_{g\text{max}} \ll 1/423 \text{ ns} = 2.3 \cdot 10^6 / \text{s}$  или  $I_{g\text{max}} \sim 10^5 / \text{s}$

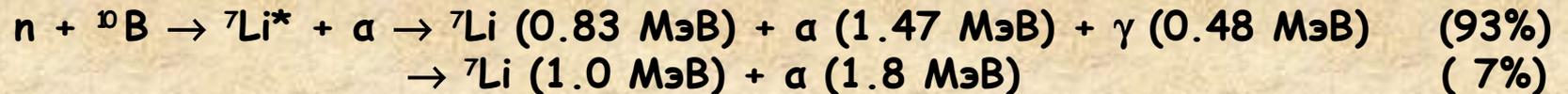


Для того, чтобы достигнуть  $I_{g\text{max}} \sim 10^6 / \text{s}$  система регистрации и детектор  
должны регистрировать

**более, чем одно событие внутри интервала  $\Delta t = \Delta t_d$**

# Перспективные разработки

5. Начинаются работы по исследованию иных конверторов (10В):



6. Газонаполненные детекторы с твердотельными конверторами (гибриды).
7. Газонаполненные детекторы на базе GEMов.
8. Твердотельные детекторы.

# Заключение

1. ПИЯФ располагает технологией создания двух-координатных детекторов тепловых нейтронов. Разработана придетекторная и регистрирующая электроника с высокими функциональными параметрами.

2. На основе этих разработок были созданы и успешно испытаны детекторные системы с апертурой входного окна 200\*200мм и 300\*300мм.

3. В течении 2011года ПИЯФ получит комплекс малоугловых установок из GKSS (Германия) оснащенных детекторными системами с апертурой 500мм, что позволит в кратчайшие сроки установить и запустить их на пучках реактора ПИК

4. На основании полученного нами опыта и знаний:

4.1. Мы ведем модернизацию существующих детекторов.

4.3. Прорабатываем перспективные направления развития новых технологий и новых типов детекторов нейтронов.









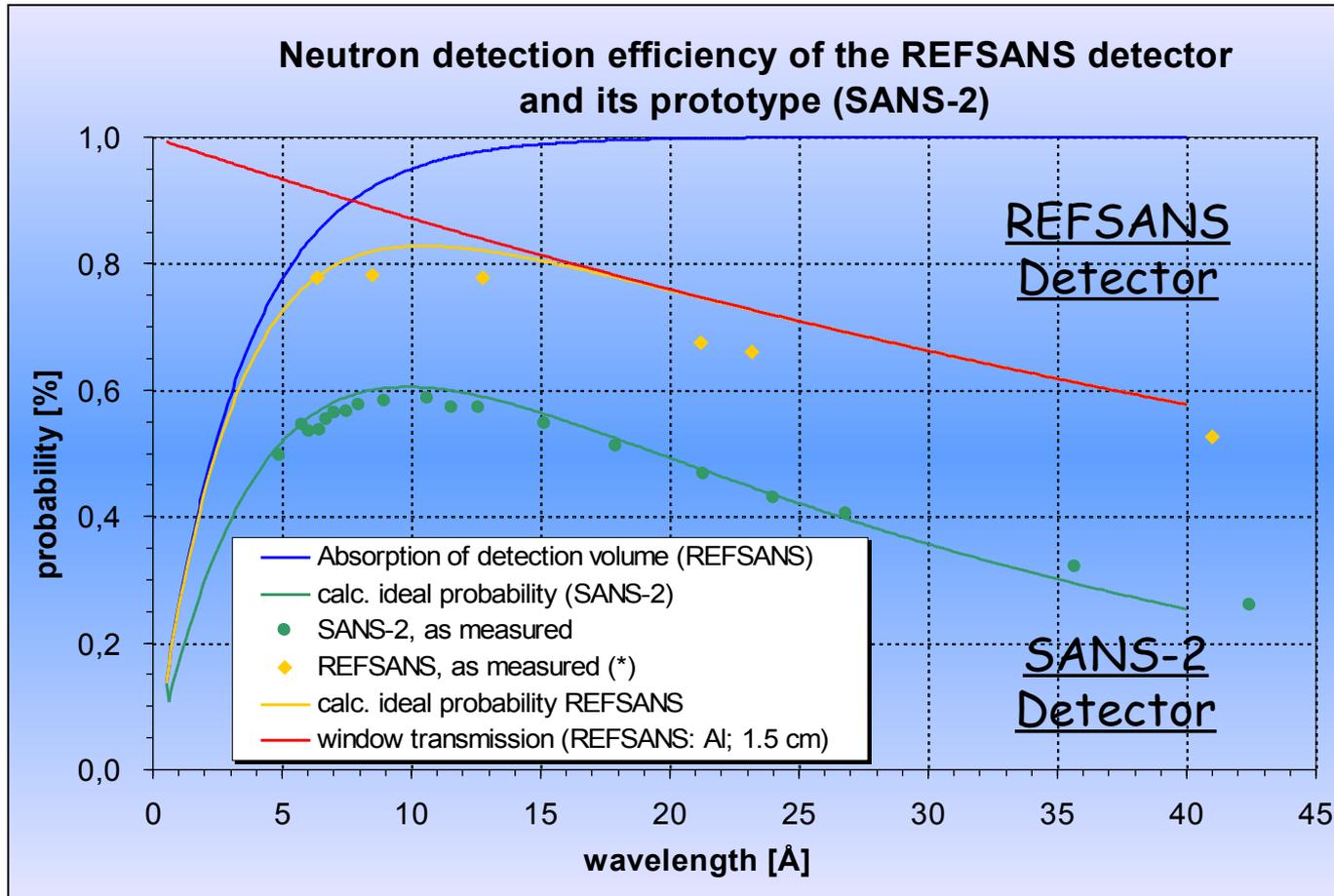








# Повышение эффективности детекторов нейтронов в диапазоне 0,4÷10Å



Measurement of detection efficiency (comparison with a "black"  $^3\text{He}$ -detector)

REFSANS detector  
 - Al-window (15mm)  
 -  $\text{CF}_4$  (1.5 bar)  
 -  $^3\text{He}$  (1.25 bar)

SANS-2-detector  
 - Al-window (20mm)  
 - dead volume (2mm)  
 -  $\text{CF}_4$  (1bar)  
 -  $^3\text{He}$  (0.8 bar)

(depth of detection volumes: 30mm)

Detection probability SANS-2 detector: > 50 % for  $0,5\text{nm} < \lambda < 1.8 \text{ nm}$ ; max.: ~60  
**REFSANS detector: > 60 % for  $0,3 \text{ nm} < \lambda < 3.5 \text{ nm}$ ; max.:**

~80%