

# **Создание детекторов тепловых нейтронов в ПИЯФ**

**А.Г.Крившич**

**10 февраля 2009г.**

**Тепловые нейтроны:**  $1 \div 10 \text{ \AA}$  ( $1000^\circ \div 10^\circ \text{K}$ ).

$$\lambda = 1 \text{ \AA} \quad (\sim 0.06 \text{ эВ})$$

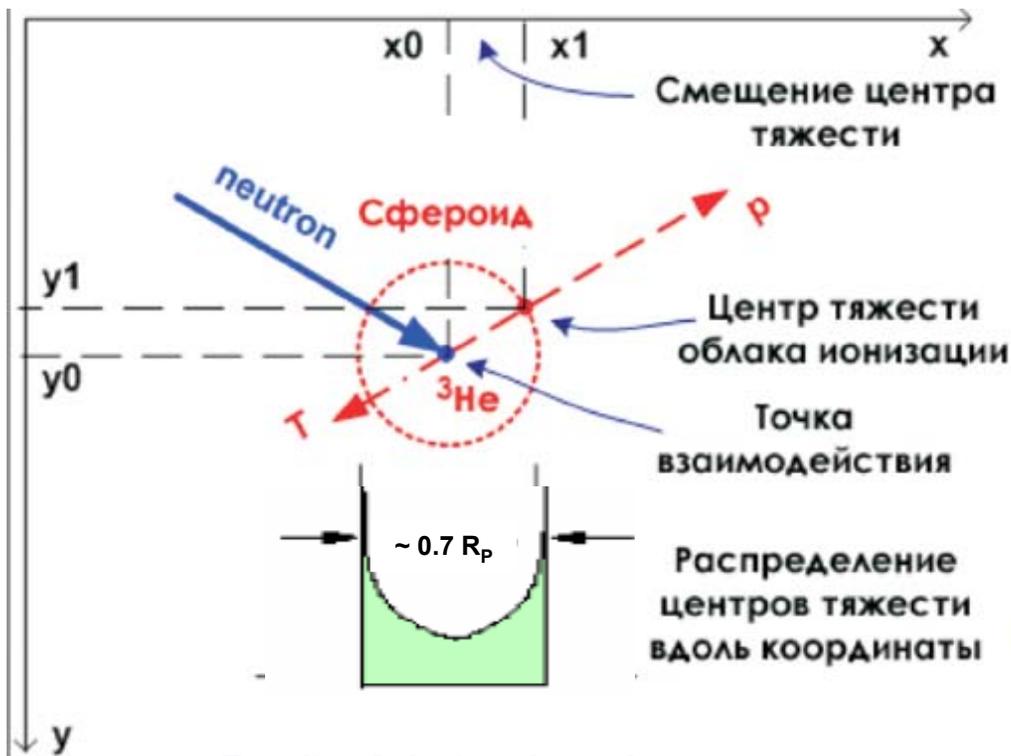
Соизмеримость энергии **тепловых нейтронов** с энергией тепловых колебаний атомов и молекулярных групп, а также магнитных возбуждений в кристаллах и жидкостях **делает тепловые нейтроны уникальным инструментом** для изучения межатомных взаимодействий и динамики атомов внутри вещества.



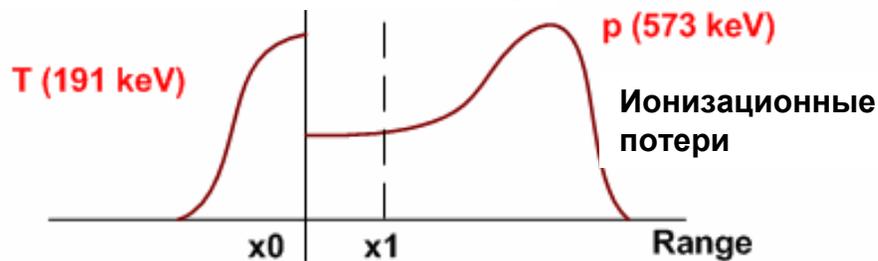
**Детекторы тепловых нейтронов,  
работающие на  $^3\text{He}$  конверторах имеют  
следующий комплекс достоинств**

- низкая чувствительность к  $\gamma$ -фону;**
- высокая стабильность;**
- высокая эффективность.**
- хорошее пространственное разрешение.**

# Регистрация тепловых нейтронов



Плотность электрон-ионных пар



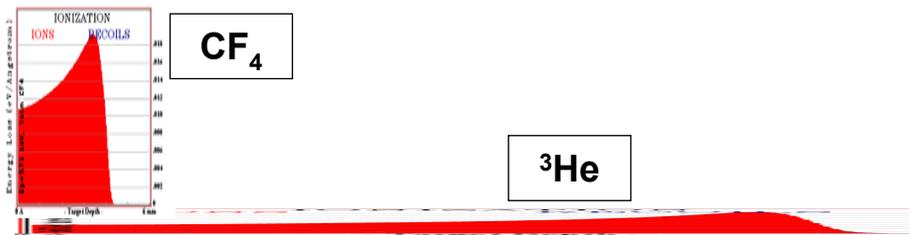
Физическое разрешение  $\sim 0,7 R(p)$



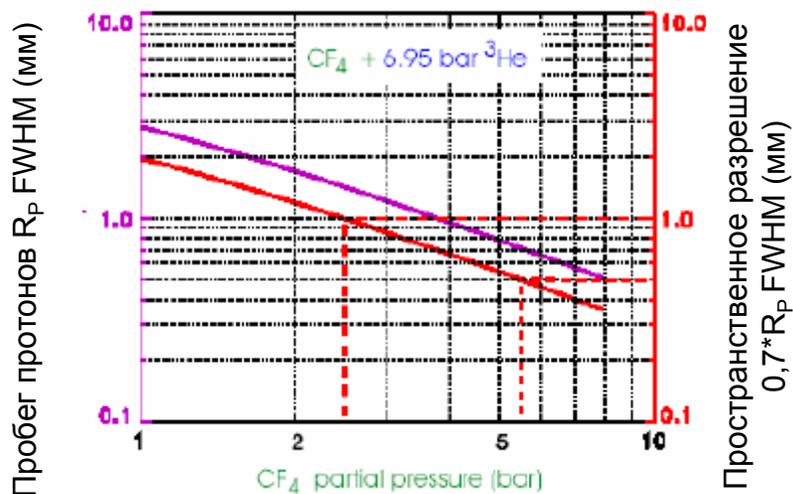
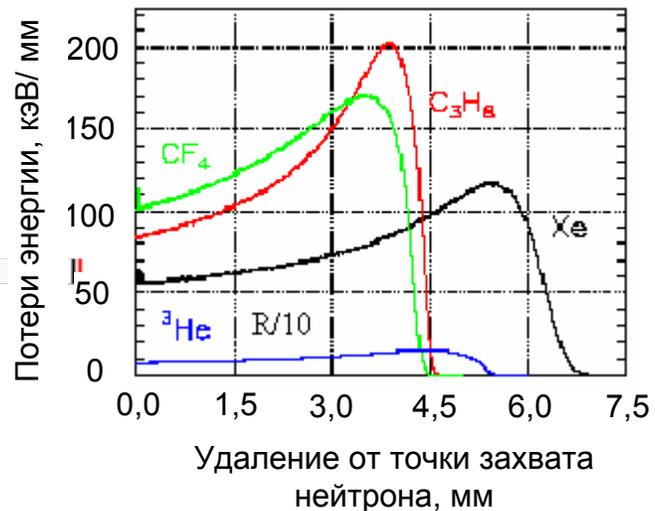
**p-T ionization tracks**

(triple GEM detector,  
CCD camera:  
expos. time 1s),  
LL, Grenoble

# Энергетические потери для протонов с энергией 573 кэВ в $\text{CF}_4$ (1атм) и в $^3\text{He}$ (1атм)

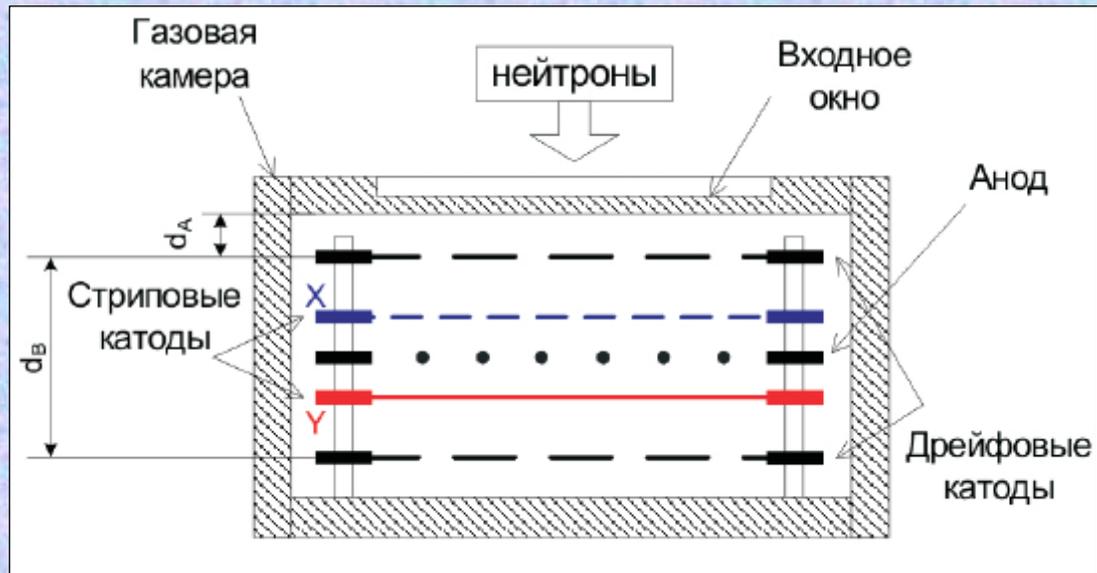


Потери энергии протоном в различных газах при давлении 1 атм (для гелия пробег разделен на 10).



**25 000 электрон-ионных пар**  
**КГУ  $\leq 100$**

# Конструкция детектора



Детектор	Шаг анода, мм	Зазор «анод-катод», мм	Ширина стрипа, мм
300×170 мм	4	4	4
200×200 мм	2	3	4
300×300 мм	2	3	3

Детектор	$d_A$ , мм	$d_B$ , мм	Ø Анода, мкм
300×170	4	32	25
200×200	1.5	30	15
300×300	1.5	30	15

# Выбор материала входного окна

## 1. Прозрачность материала

№	Образец	Толщина образца, $L$ (мм)	Трансмиссия, $T$	$I/I_0$ , $L = 1$ мм
1	AMg5	20	$0,7659 \pm 0,0003$	<b>0,987</b>
2	B95	20	$0,7353 \pm 0,0003$	0,985
3	D16	20	$0,5022 \pm 0,0001$	0,966
4	Стекло 1	2,5	$0,957 \pm 0,001$	0,983
5	Стекло 2	5	$0,923 \pm 0,001$	0,984

Измерения проводились на установке по исследованию малоуглового рассеяния нейтронов на реакторе ВВР-М.

Входное окно толщиной 10мм поглощает 10% нейтронов

## 2. Малоугловое рассеяние

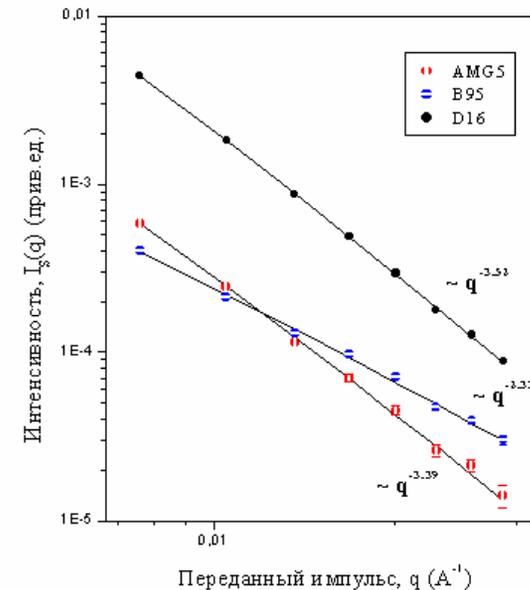
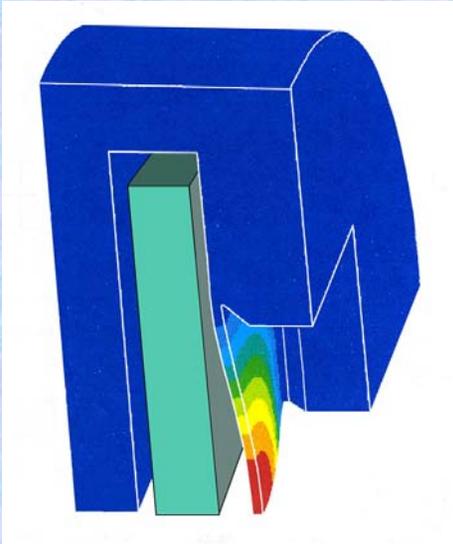


Рис. 1. Импульсные зависимости интенсивности рассеяния  $I_s(q)$  нейтронов, измеренные для образцов с толщиной  $L=20$  мм. Сплошные линии - расчетные зависимости по формуле:  $I_s(q) \sim A/q^4$ .

AMg-5 имеет наименьшее рассеяние

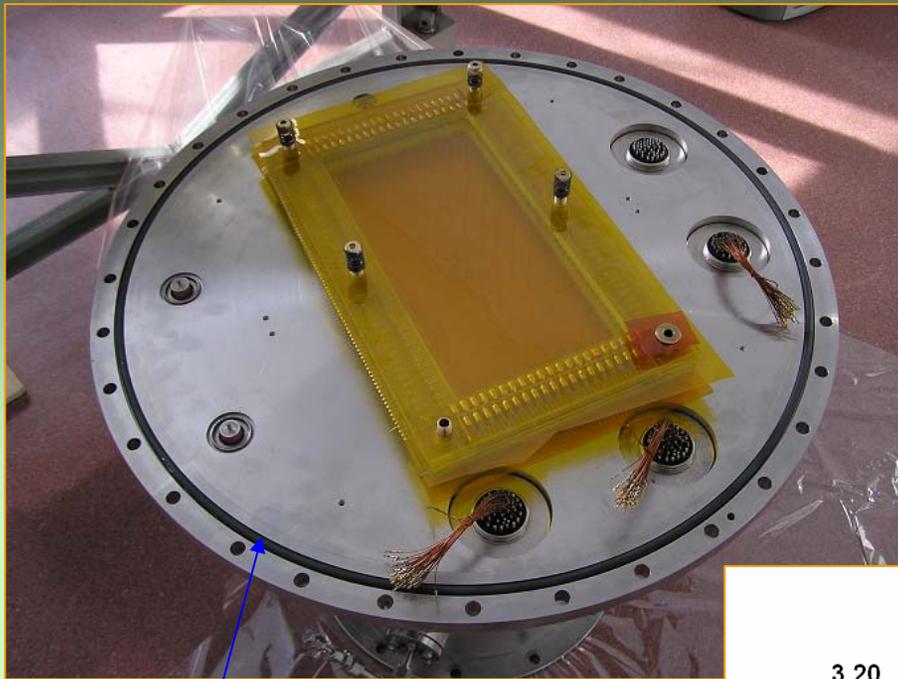


**В ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова на основе метода конечных элементов (программа ANSYS 8.1) была разработана**

**математическая модель детектора, работающего под давлением до 7атм.**

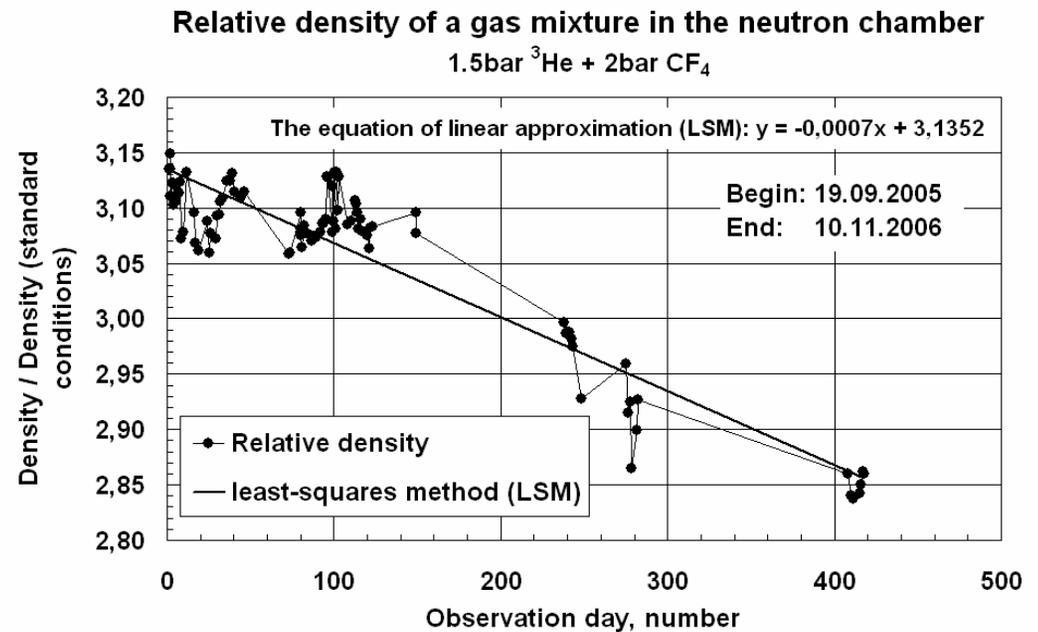
**Деформация расчетной модели МКЭ корпуса камеры при действии внутреннего давления  $P=7$  атм. Для наглядности величина деформации входного окна увеличена. Детектор в объеме камеры показан условно.**

# Герметичность детектора

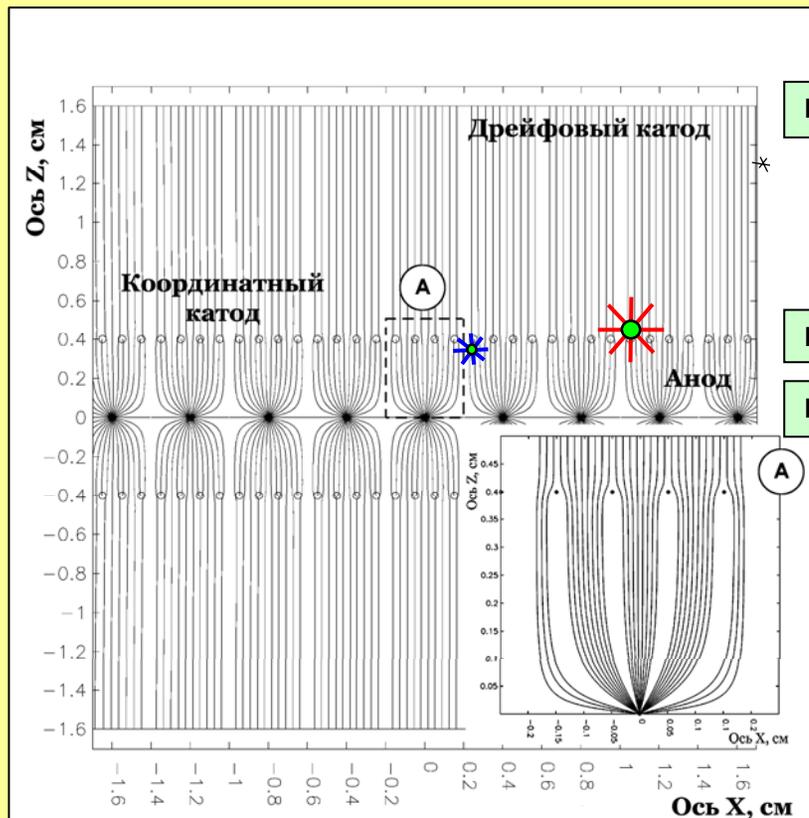


Viton O-ring sealing

Тест на герметичность: утечка  
0,03% в день или 9% в год.



# Структура электрического поля. Пробеги протонов (573 кэВ) и тритонов (191 кэВ)



$HV_{\text{ДР}} = -2,5\text{кВ}$

$HV_{\text{КАТ}} = 0\text{кВ}$

$HV_{\text{А}} = +2,7\text{кВ}$

 Давление = 2,5 атм

$R_p = 3,6\text{мм}$

$R_T = 1,05\text{мм}$

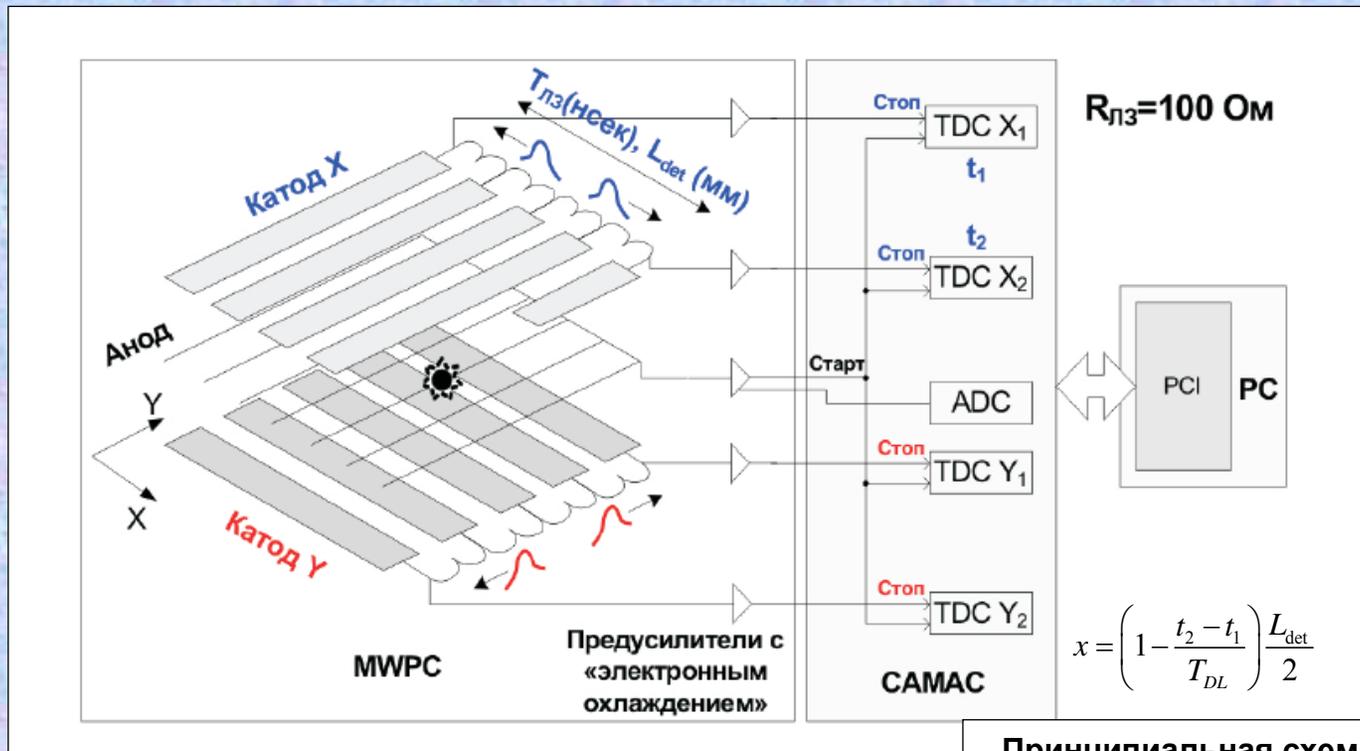
 Давление = 5,0 атм

$R_p = 1,8\text{ мм}$

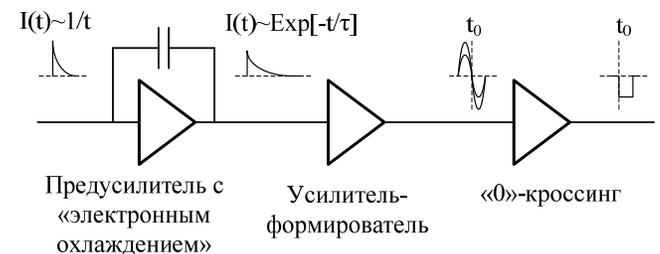
$R_T = 0,5\text{ мм}$

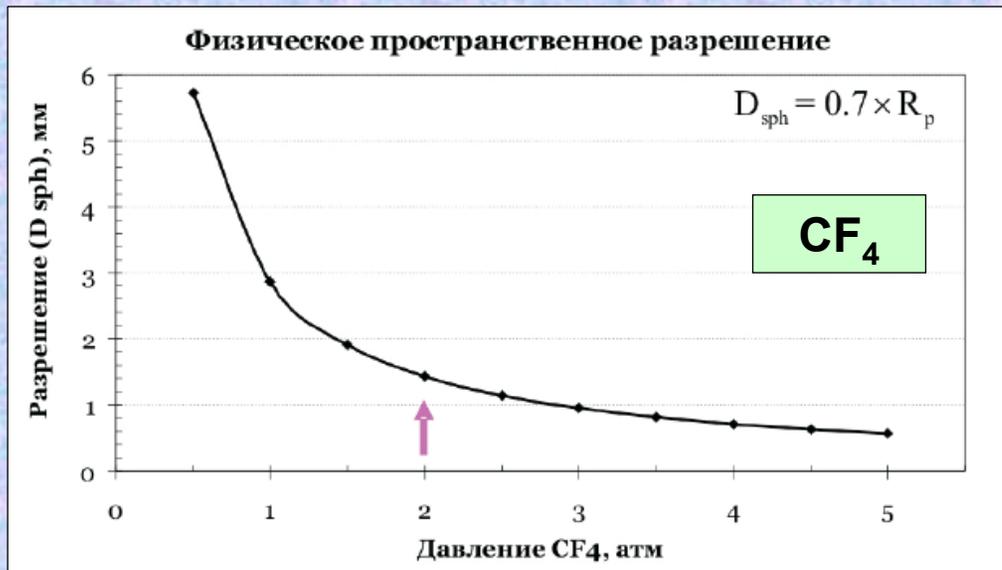
60%  $^3\text{He}$  + 40%  $\text{CF}_4$

# Принцип действия и регистрирующая электроника



Принципиальная схема Front-end электроники

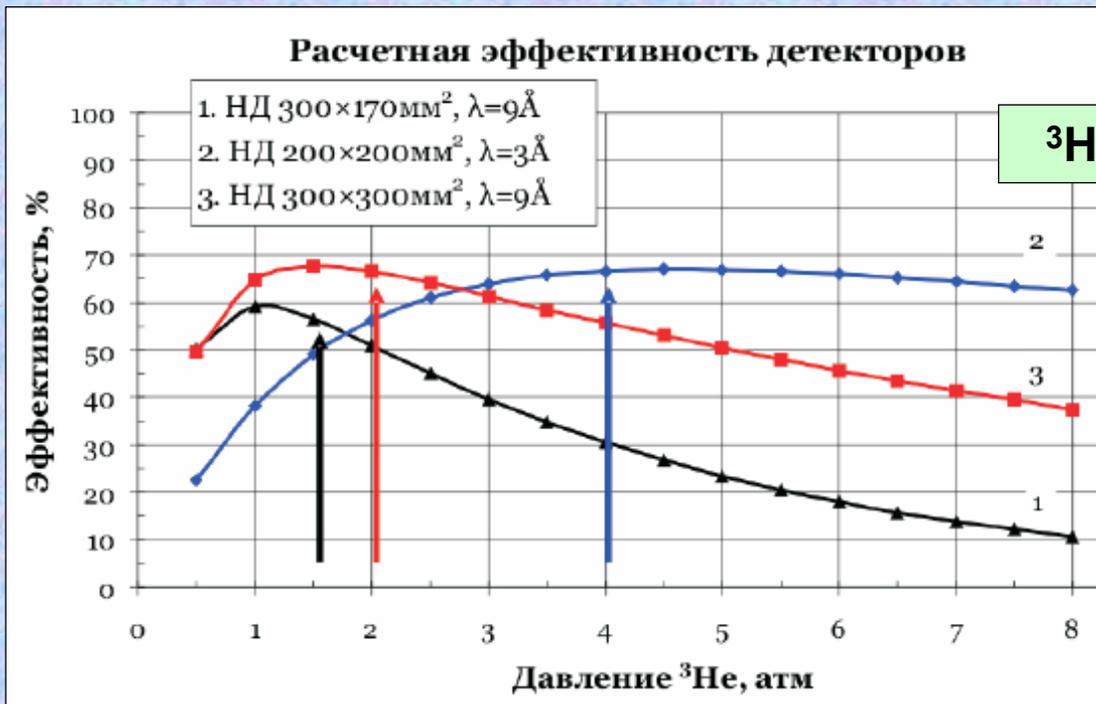




## Выбор газовой смеси

### Требования к газовой смеси

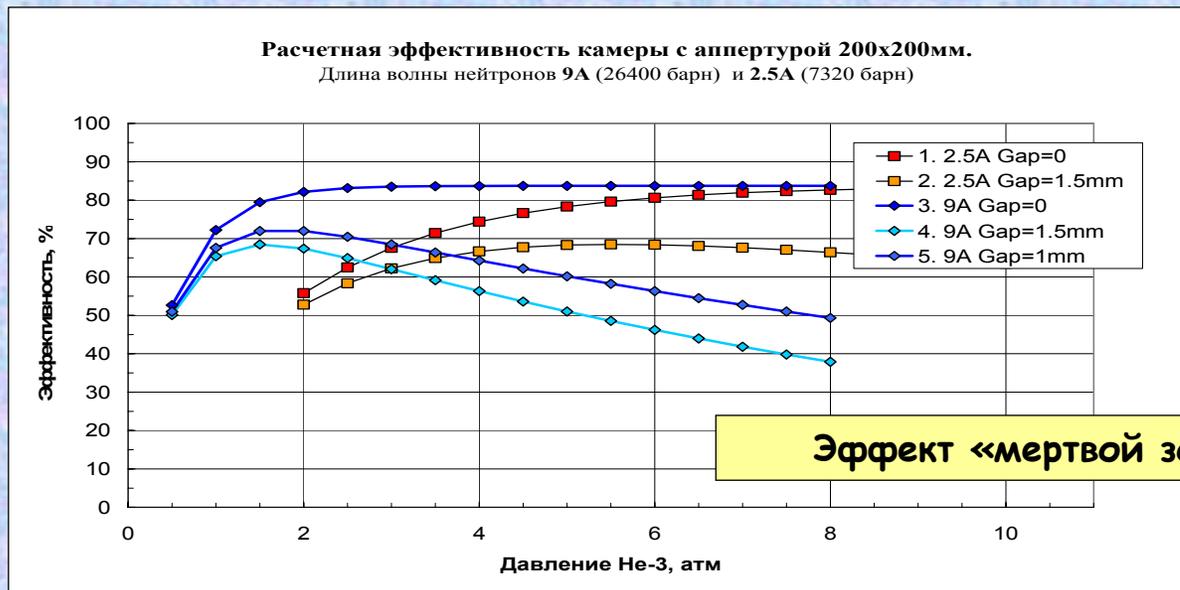
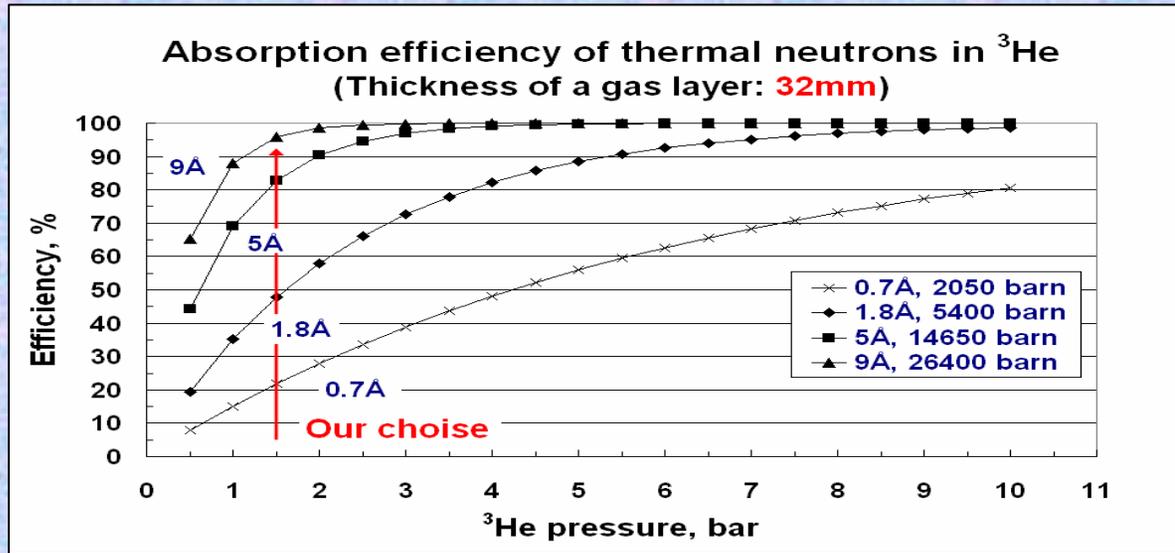
1. Высокая эффективность регистрации тепловых нейтронов.
2. Высокое пространственное разрешение (высокие энергетические потери  $dE/dx$ ).
3. Низкая чувствительность к гамма-фону.
4. Отсутствие примесей (кислород, вода и т.д.) на уровне менее 1ppm.



### Сводная таблица газовых смесей

НД	P( <sup>3</sup> He), атм	ε (λ), %	P(CF <sub>4</sub> ), атм	D <sub>sph</sub> , мм
300×170	1.5	60 (9Å)	2	1.4
200×200	4	70 (3Å)	2	1.4
300×300	2	70 (9Å)	2	1.4

# Эффективность поглощения нейтронов в детекторе



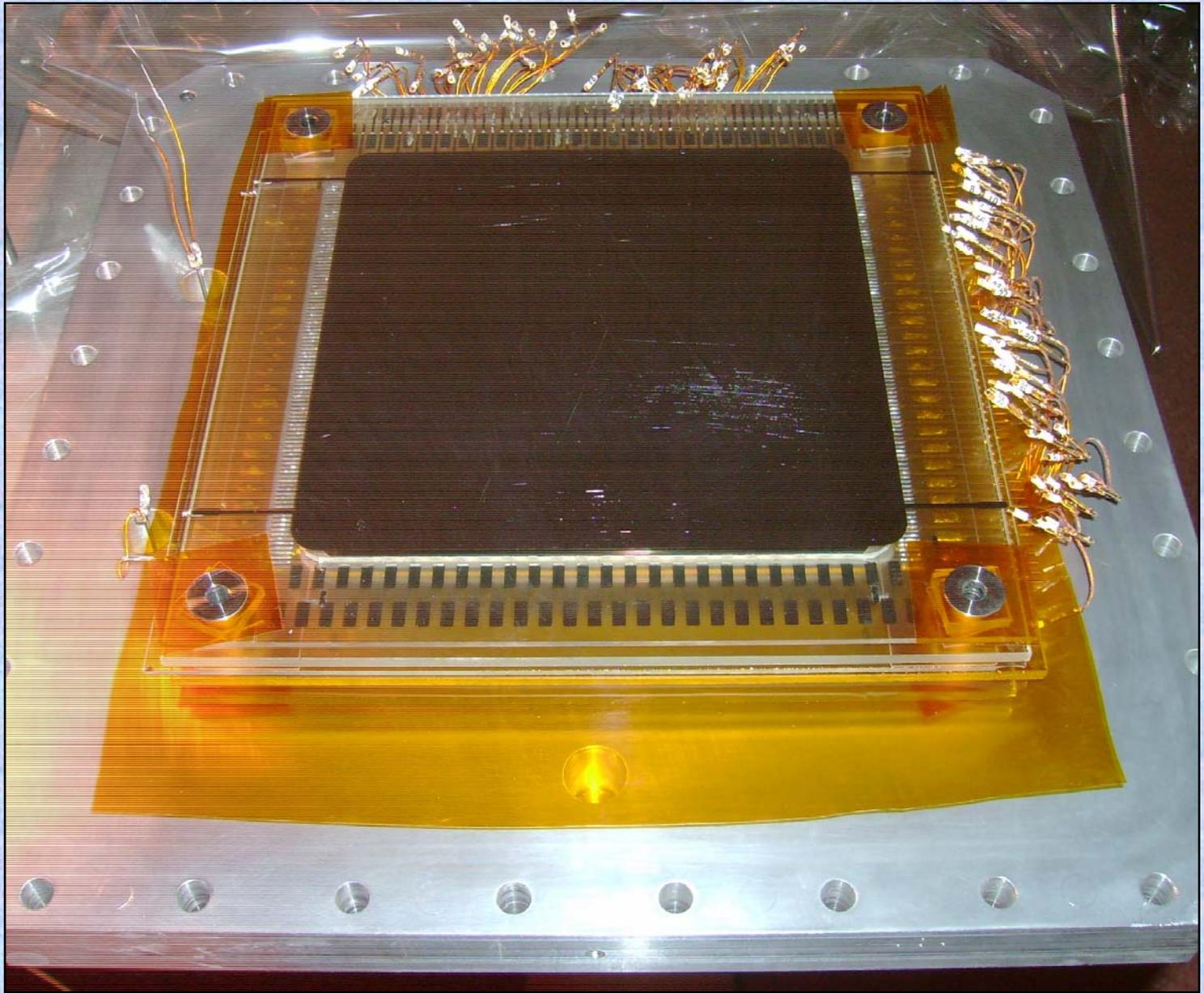
# Технология изготовления детекторов тепловых нейтронов

Долговременная стабильность работы детектора определяется чистотой газовой смеси:

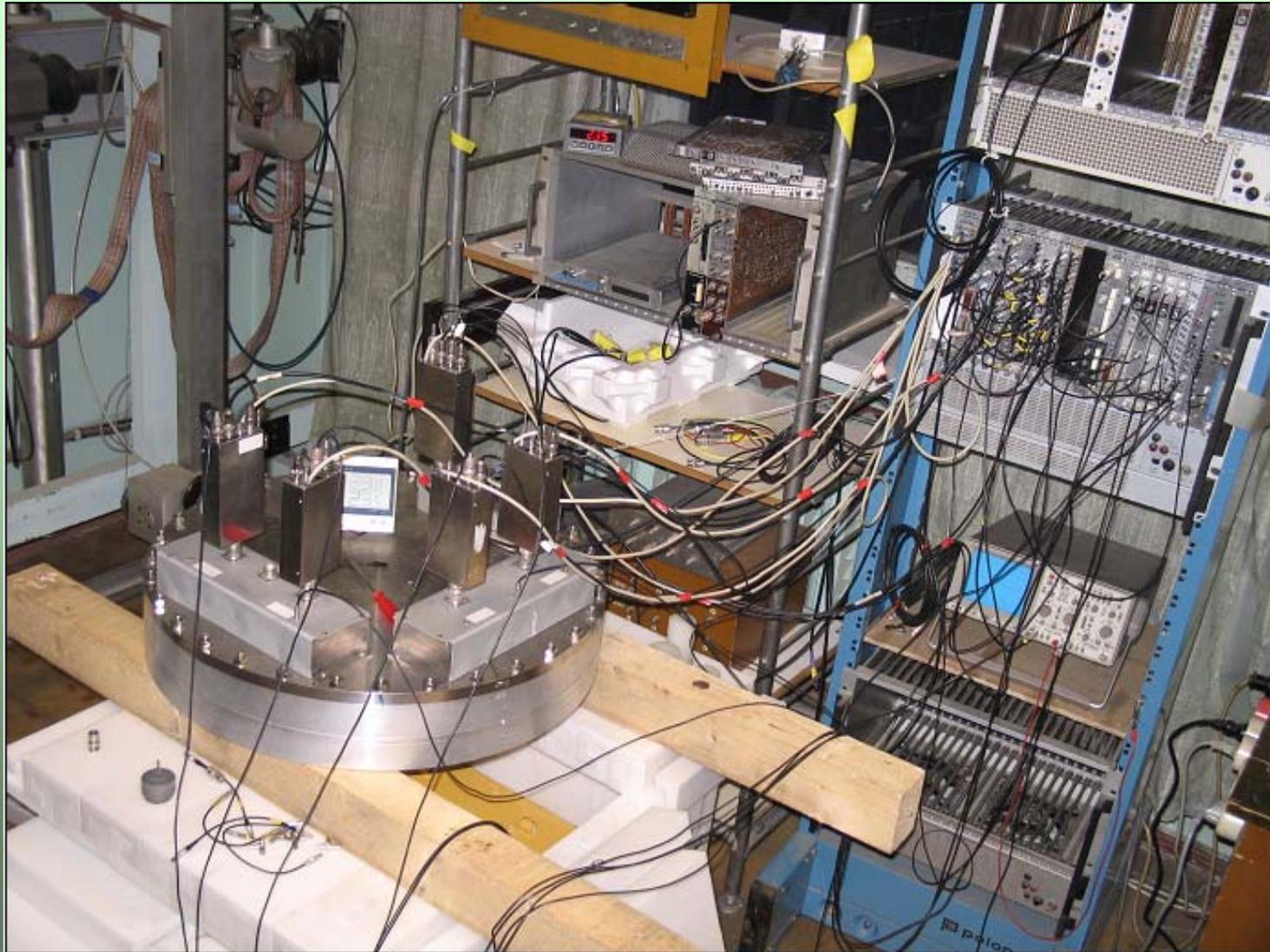
- материалы детектора должны обладать минимальным выделением примесей.
- детектор в целом должен позволять проводить процесс обезгаживания внутреннего объема камеры: откачка до  $10^{-6}$ ÷ $10^{-8}$  мбар при нагреве камеры, по крайней мере, до температуры  $120^{\circ}\text{C}$ .

Разработанная технология изготовления электродов позволила полностью отказаться от использования материалов, которые могли бы выделять газовые примеси:

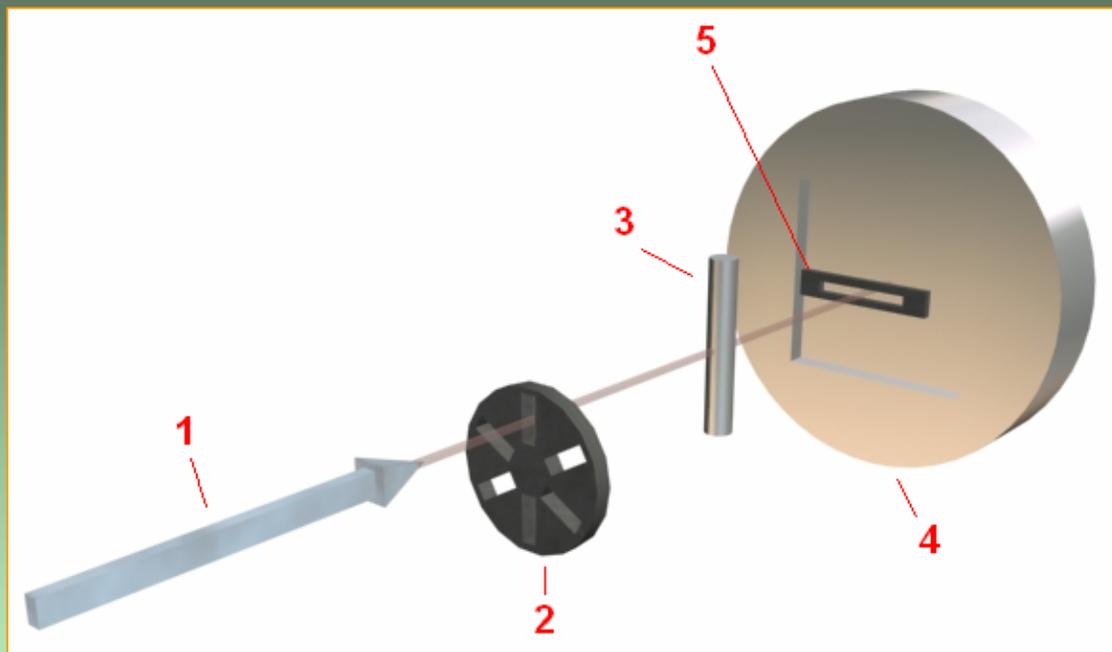
- все электроды были изготовлены из кварцевого стекла, способного выдерживать нагрев до  $150^{\circ}\text{C}$
- на поверхности стеклянных электродов были нанесены напылением многослойные токопроводящие металлические дорожки (ламели) для припаивания к ним анодных и катодных проволочек. Термомеханические свойства рисунка, напыленного с толщиной  $d = 10$ ÷ $15$  мкм, постоянны вплоть до температуры  $150^{\circ}\text{C}$ .
- При этом пайку анодных проволочек можно было осуществлять многократно припоем с температурой плавления  $280^{\circ}\text{C}$ .



# Стенд для измерения свойств детектора в лаборатории (САМАС)



# Экспериментальная установка для исследования детекторов тепловых нейтронов на реакторе ВВР-М



Что измеряем:

1. Эффективность.
2. Пространственное разрешение
3. Амплитудные спектры.

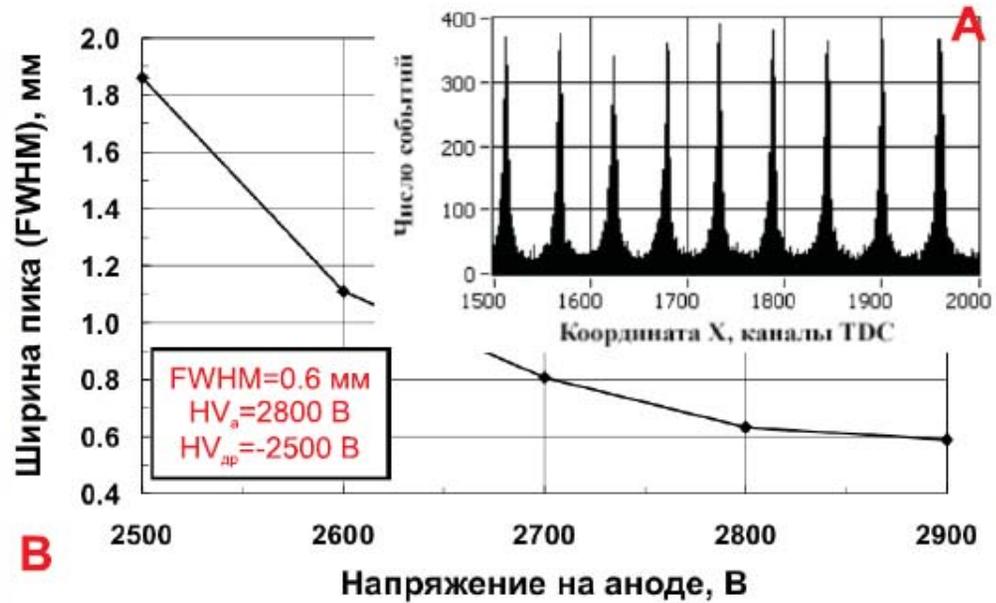
1. Нейтронный пучок.
2. Вращающийся Cd-коллиматор с различными щелями.
3. Пропорциональный счетчик нейтронов (для измерения эффективности)
4. Нейтронный детектор.
5. Второй Cd-коллиматор для измерения пространственного разрешения.

# Прототип детектора нейтронов

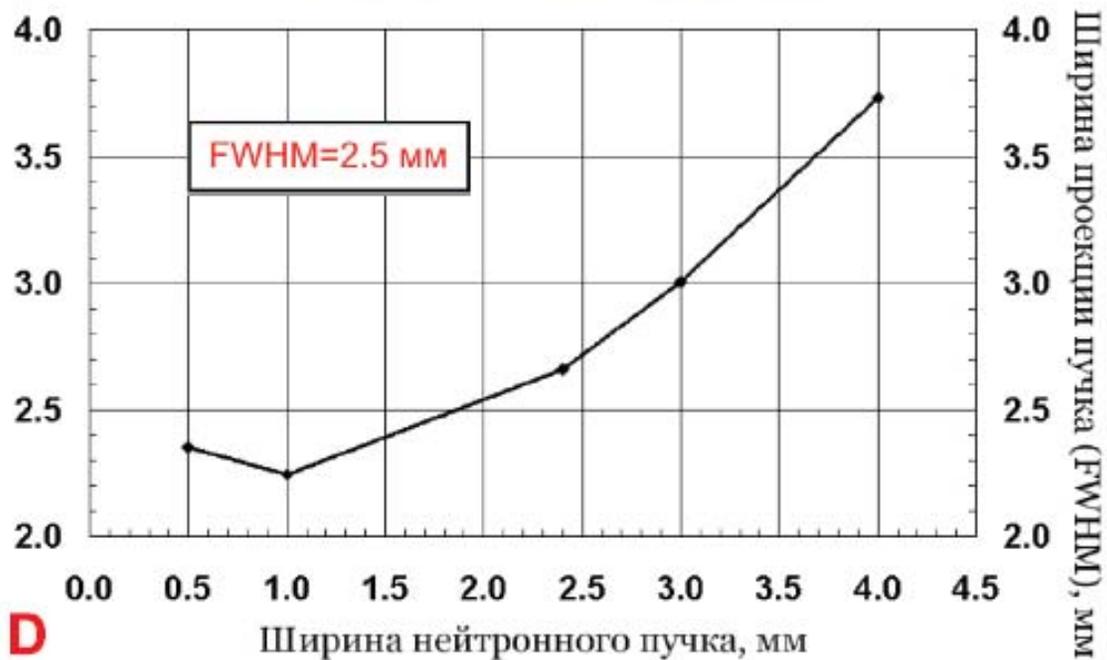
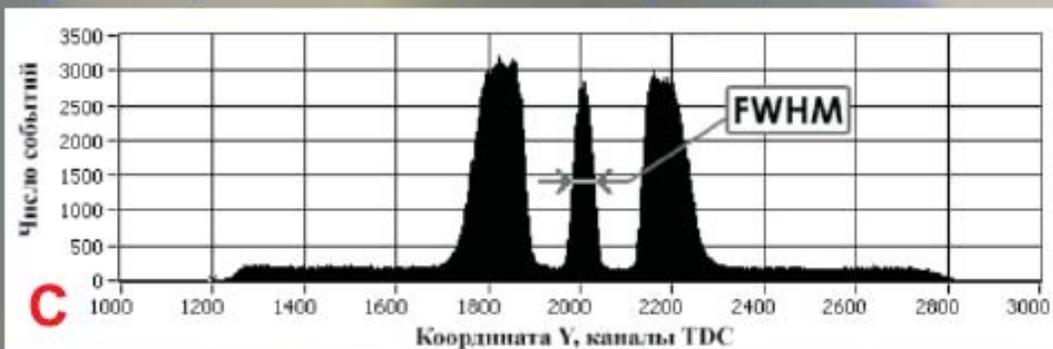


Детектор 300мм × 170мм - вид спереди.

## Внутреннее разрешение

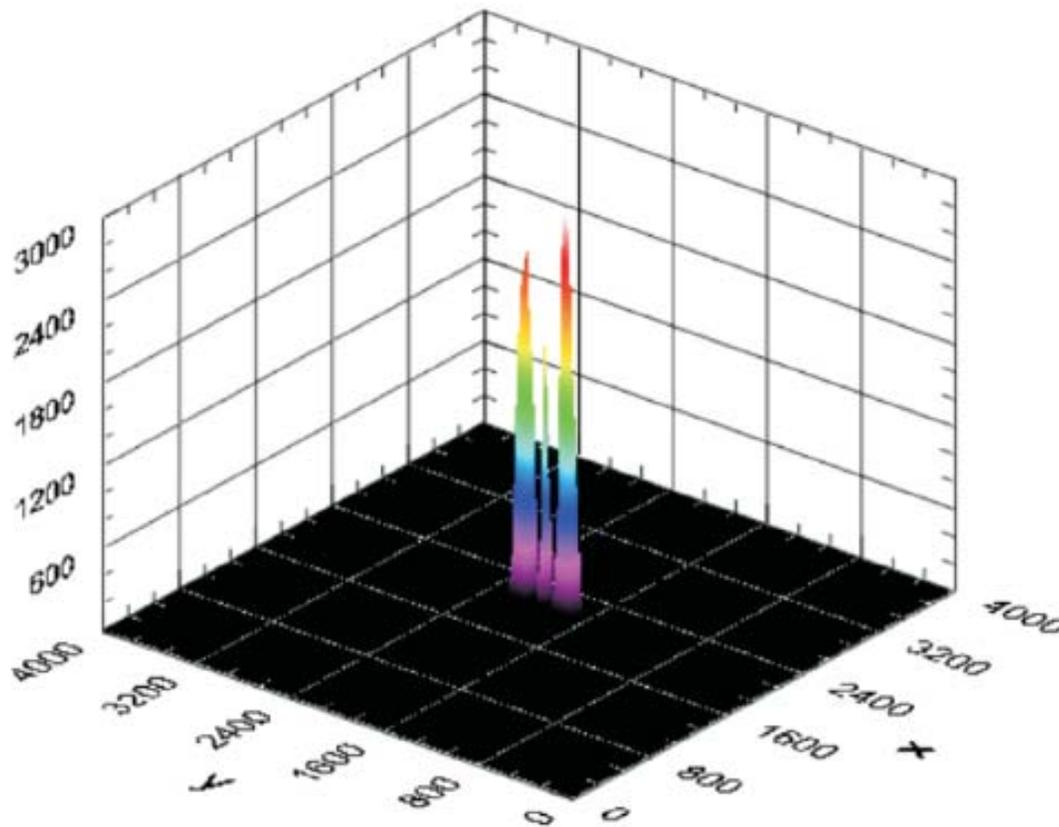


# Пространственное разрешение

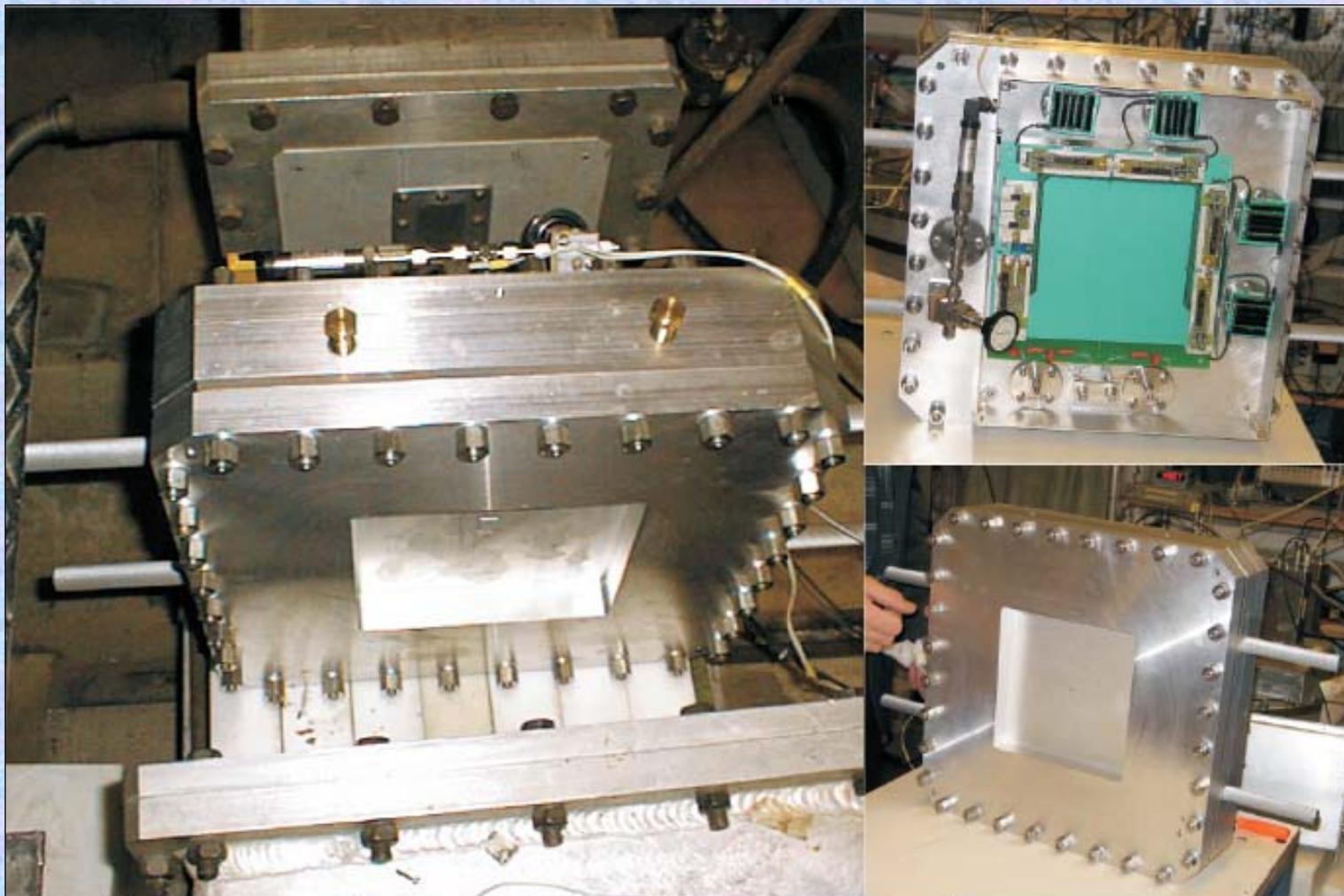


## 3-х мерный спектр

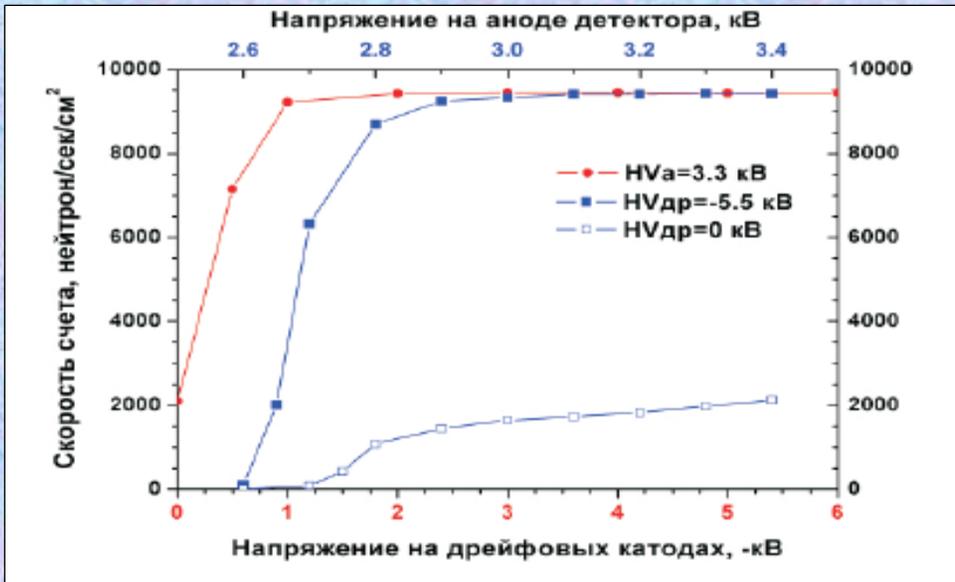
Узкий пучок  $d=3$  мм (в центре) вырезан из пучка нейтронов  $40\text{мм}\times 10\text{мм}$ . Измерения проводились на дифрактометре "Вектор".



# Детектор 200мм x 200мм



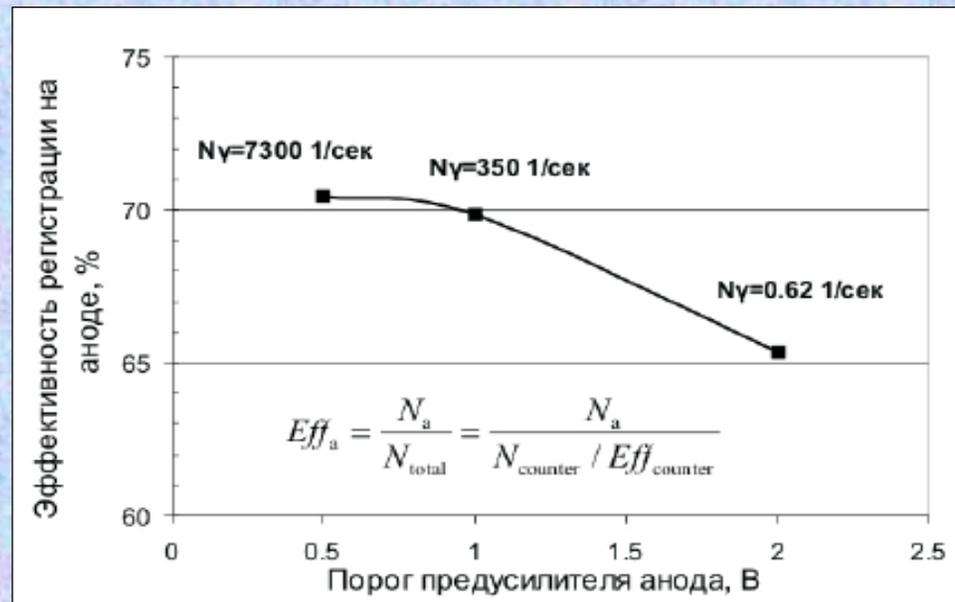
Детектор 200 мм × 200 мм, установленный для испытаний в узле образца дифрактометра «Мембрана-2».



**Счетные характеристики**

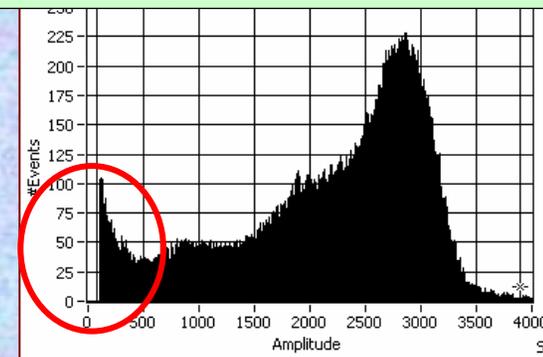
**Детектор работает очень надежно:**

- Плато по аноду 3400-2800=**600В**;
- Плато по дрейфовому промежутку 6000-1500=**4500В**
- микропробоев и резкого роста шумов в конце плато нет.

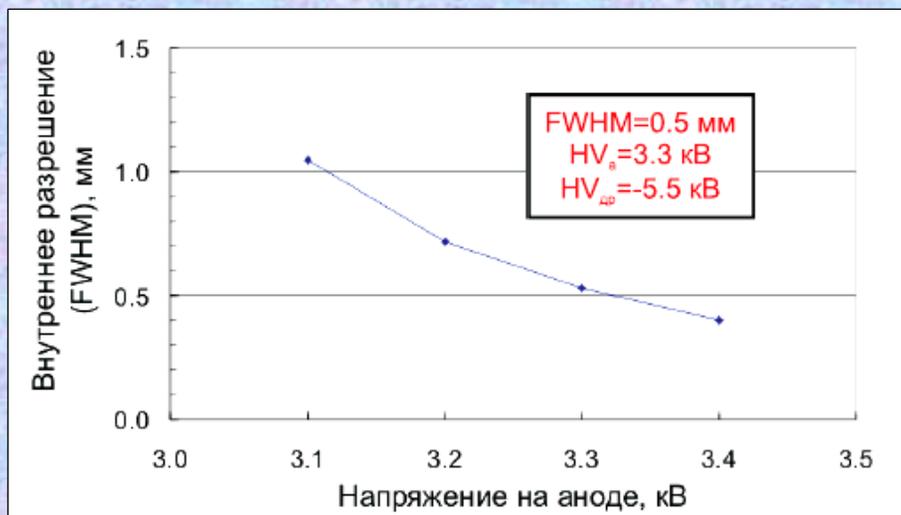


**Чувствительность к гамма-фону**

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



# Пространственное разрешение детектора

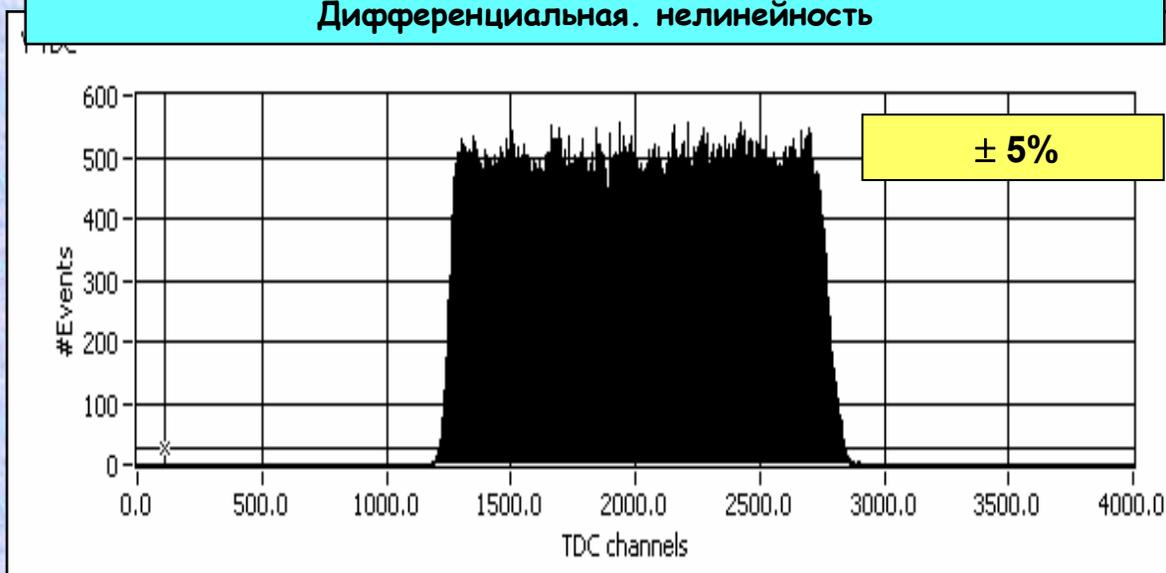


Внутреннее разрешение детектора около **0,5мм.**

Пространственное разрешение детектора не хуже **1,5мм.**



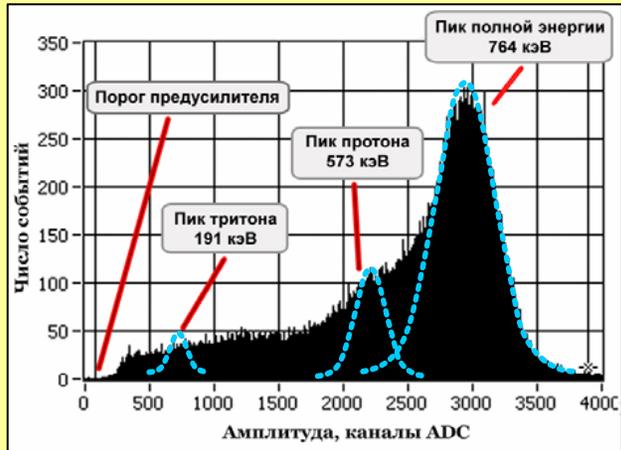
### Дифференциальная. нелинейность



Координатный спектр вдоль непрерывной координаты  $Y$ , полученный при облучении детектора рассеянным пучком нейтронов от источника  $^{252}\text{Cf}$ .

Калибровка 1 мм = 12 каналов TDC

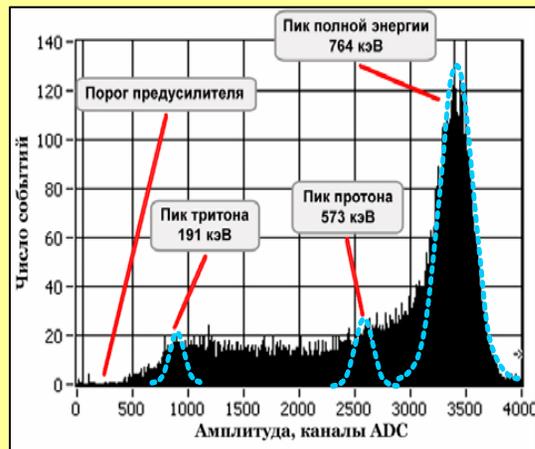
# Амплитудные спектры



## Нейтронный детектор.

Амплитудный спектр. Давление – 5 атм.

Пунктиром условно показаны пики полной энергии, протона и тритона.



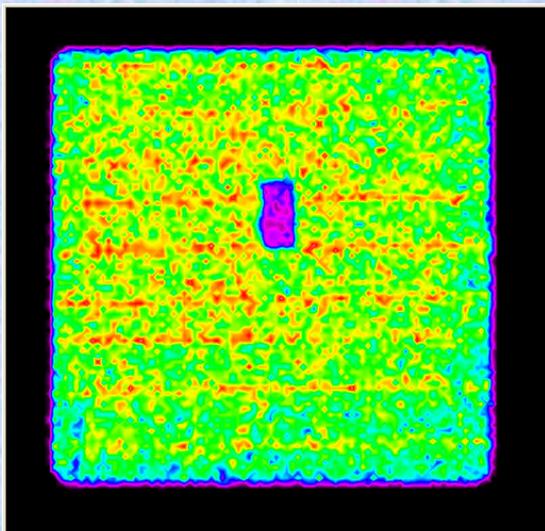
## Пропорциональный счетчик нейтронов CHM-50.

Амплитудный спектр. Давление – 7 атм.

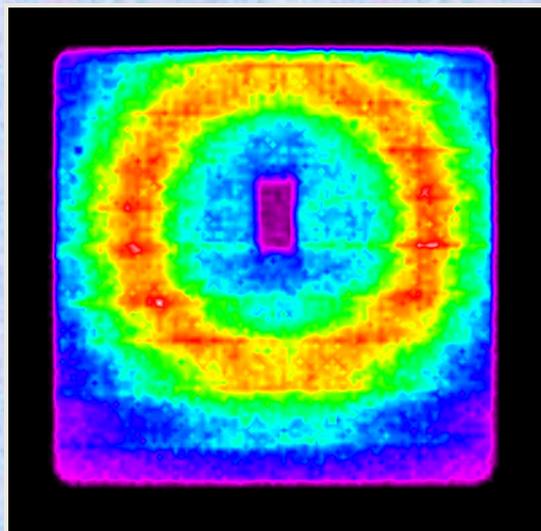
4атм. 3Не + 3атм. Ar.  $\epsilon \approx 100\%$  (9 Å)

Пунктиром условно показаны пики полной энергии, протона и тритона.

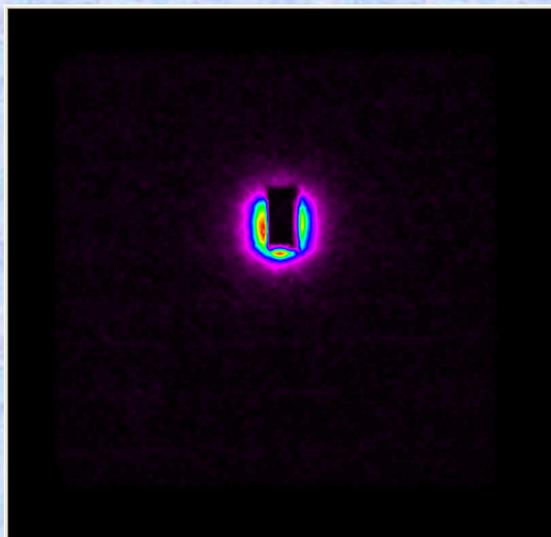
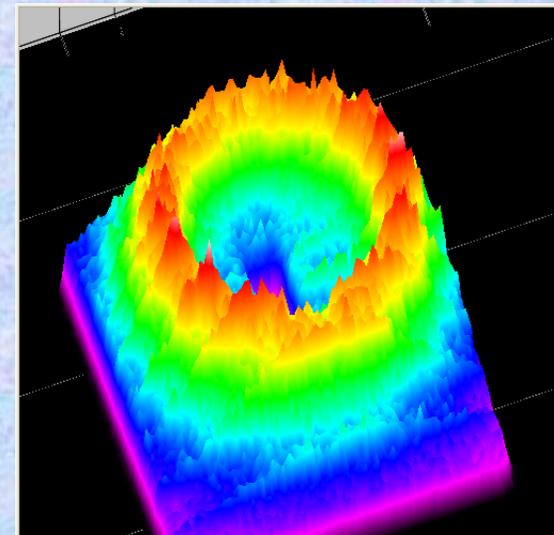
# Рассеяние на образцах (детектор 200×200)



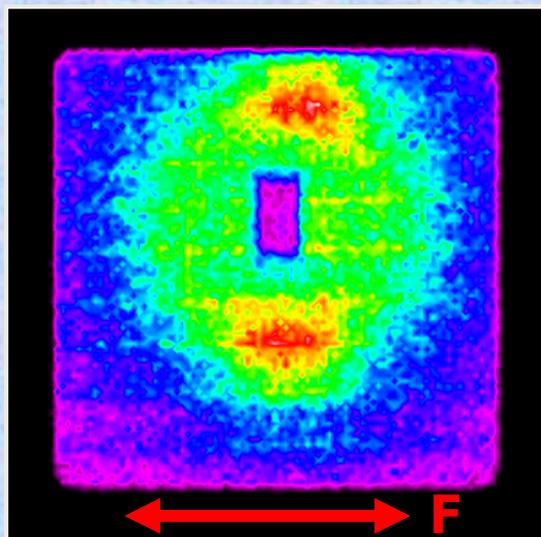
Плексиглас 1мм, расстояние до детектора 30 см



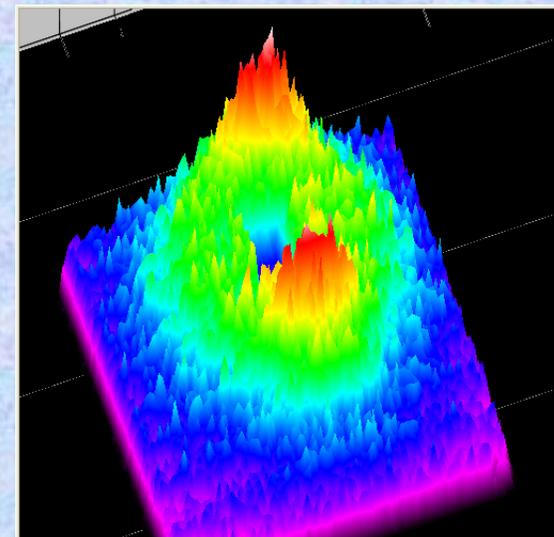
Фторопласт (Teflon) 3мм, расстояние до детектора 10 см



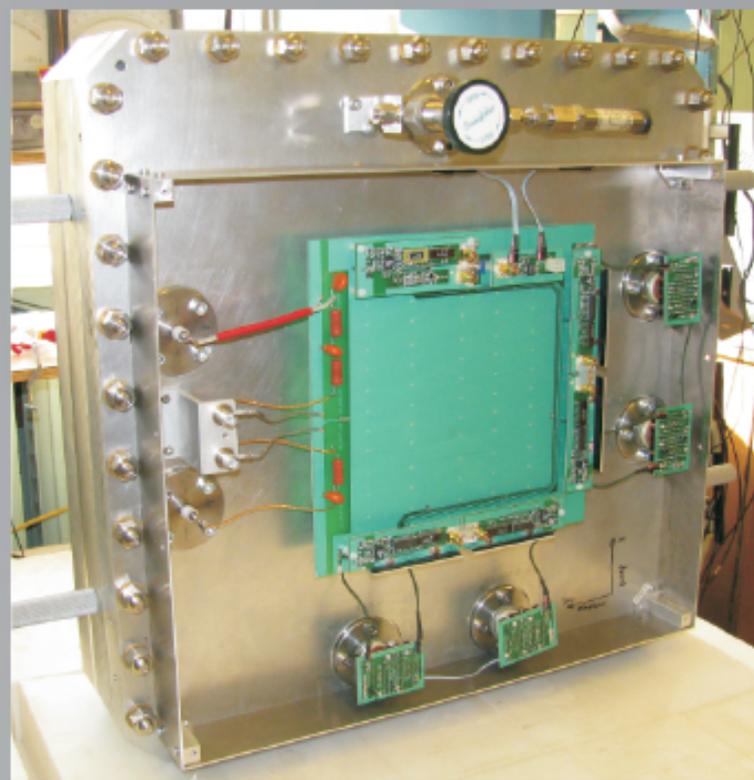
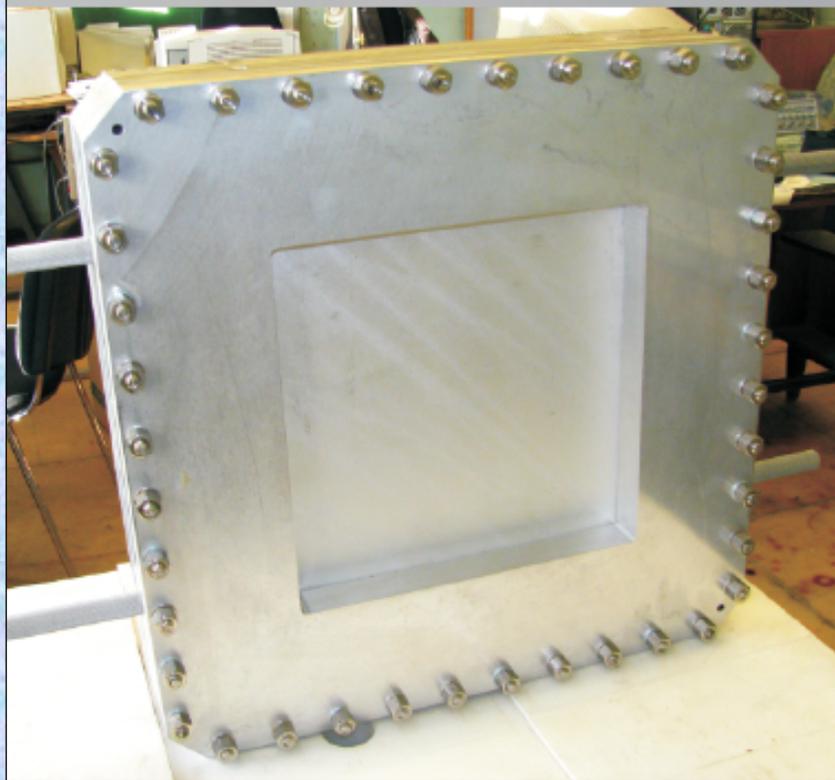
Пористое стекло (Vycor) 10мм, расстояние до детектора 30 см

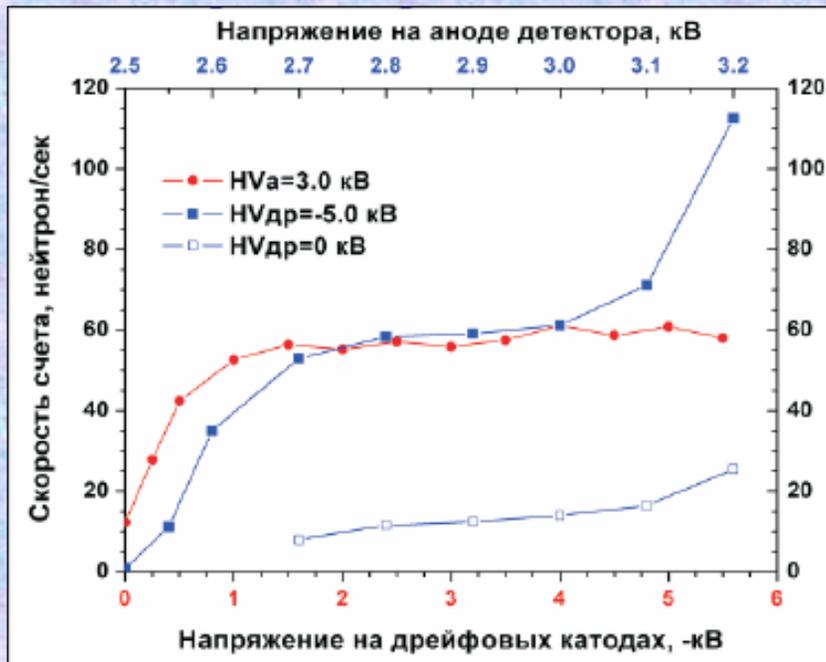


Растянутая пленка (Teflon) 0.3мм, расстояние до детектора 10 см



# Детектор 300мм x 300мм

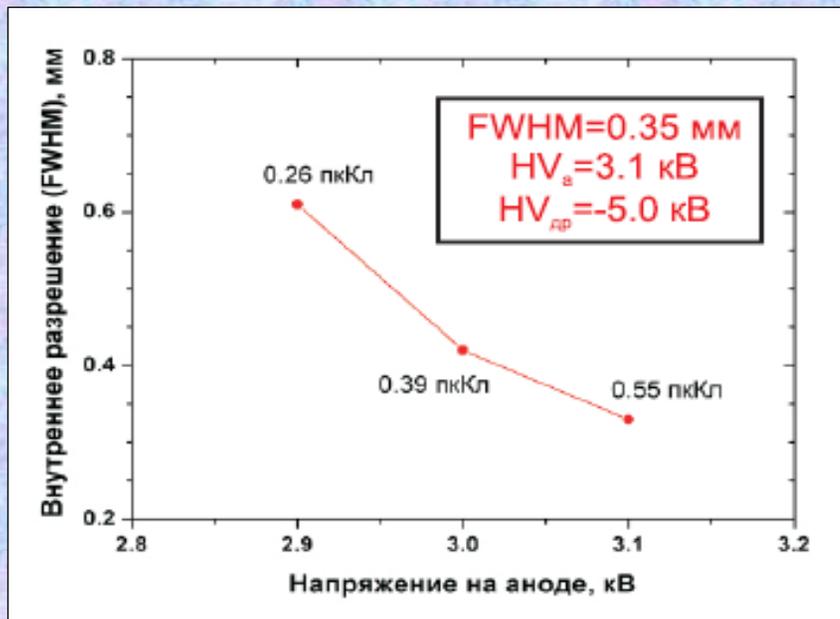




## Счетные характеристики

Детектор работает очень надежно:

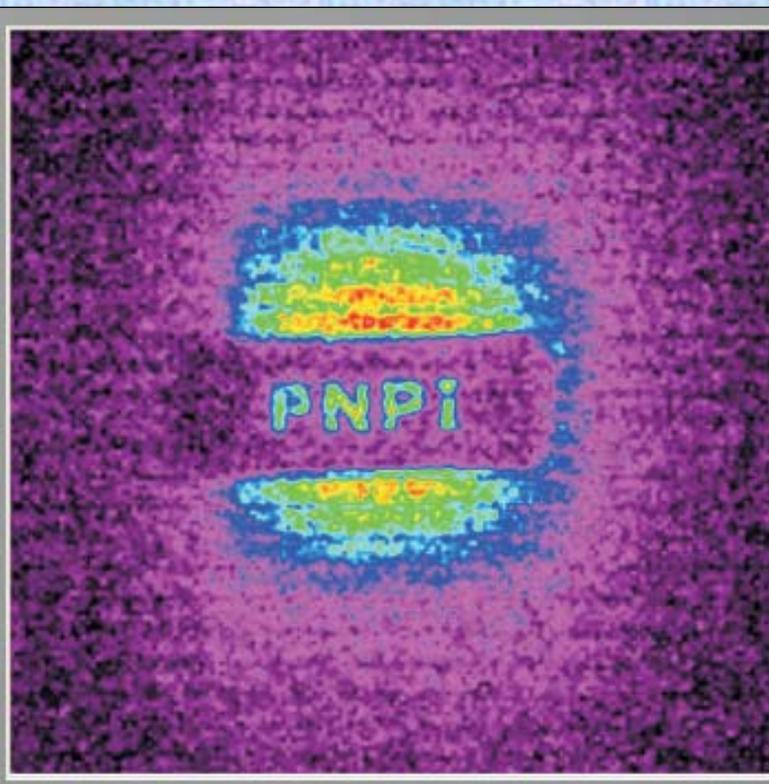
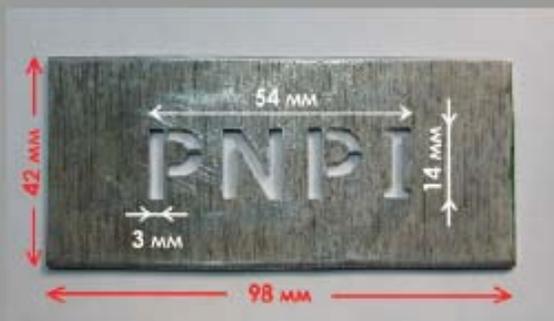
- Плато по аноду 3100-2700=**400В**;
- Плато по дрейфовому промежутку 5500-1500=**4000В**
- микропробоев и резкого роста шумов в конце плато нет.



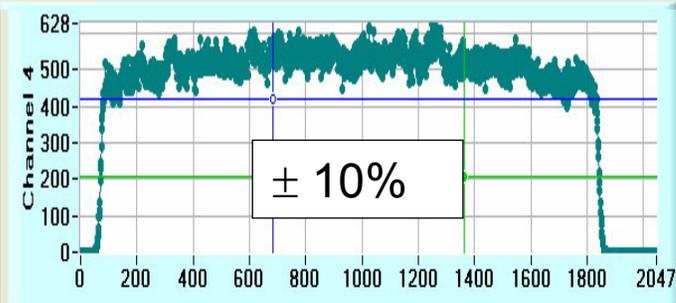
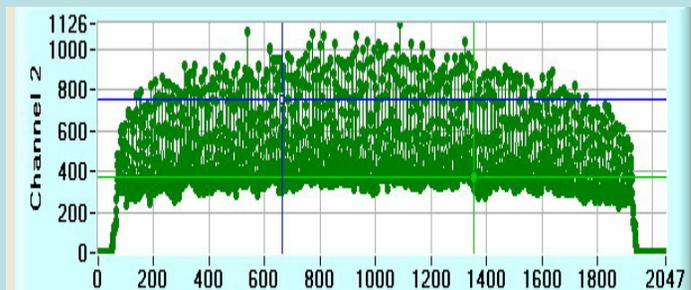
Внутреннее разрешение детектора менее **0,5мм**.

## Двухкоординатные спектры

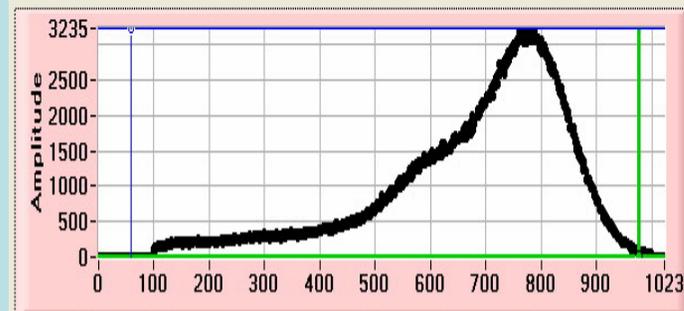
На рис. - изображение, полученное при облучении рассеянным пучком нейтронов ( $^{252}\text{Cf}$ ) пластины кадмия с аббревиатурой "PNPI".



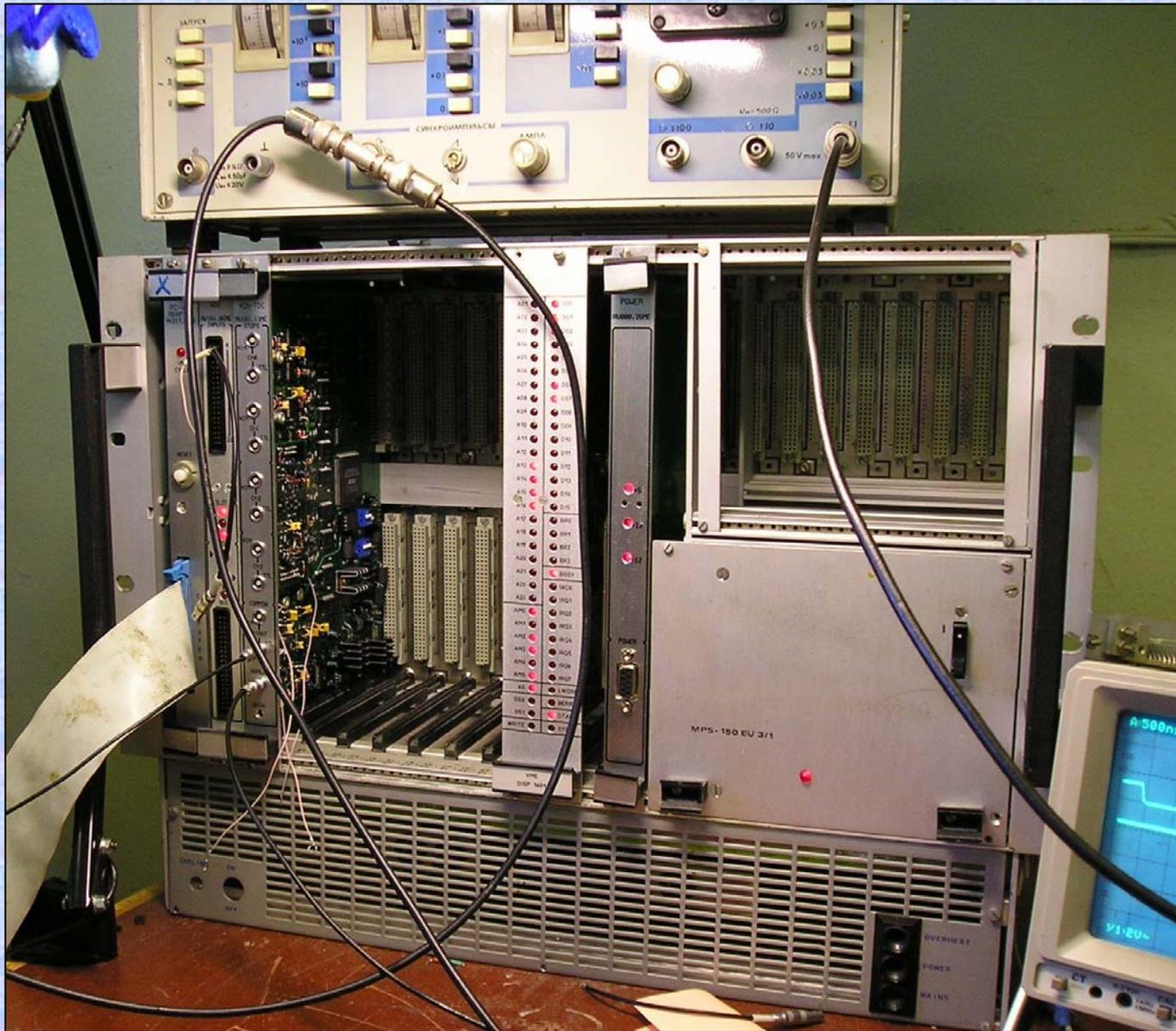
# **Регистрирующая электроника**

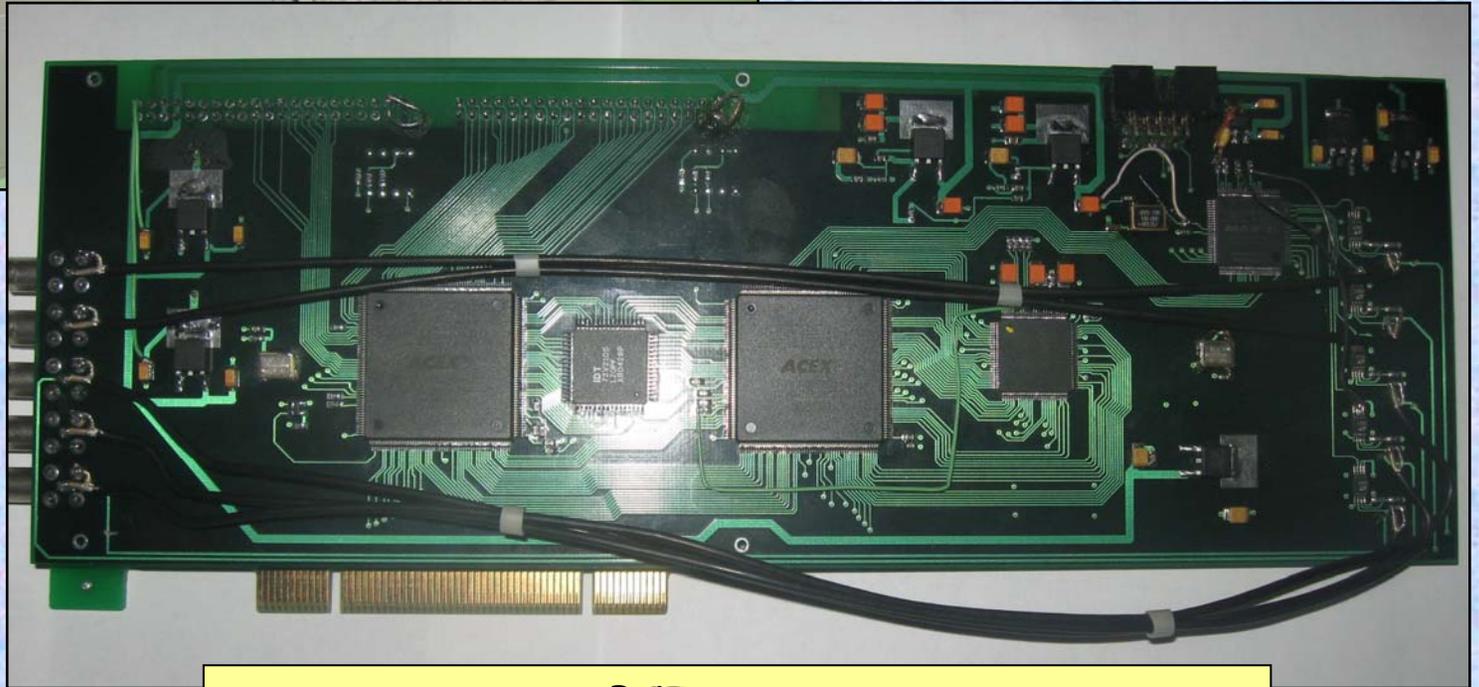
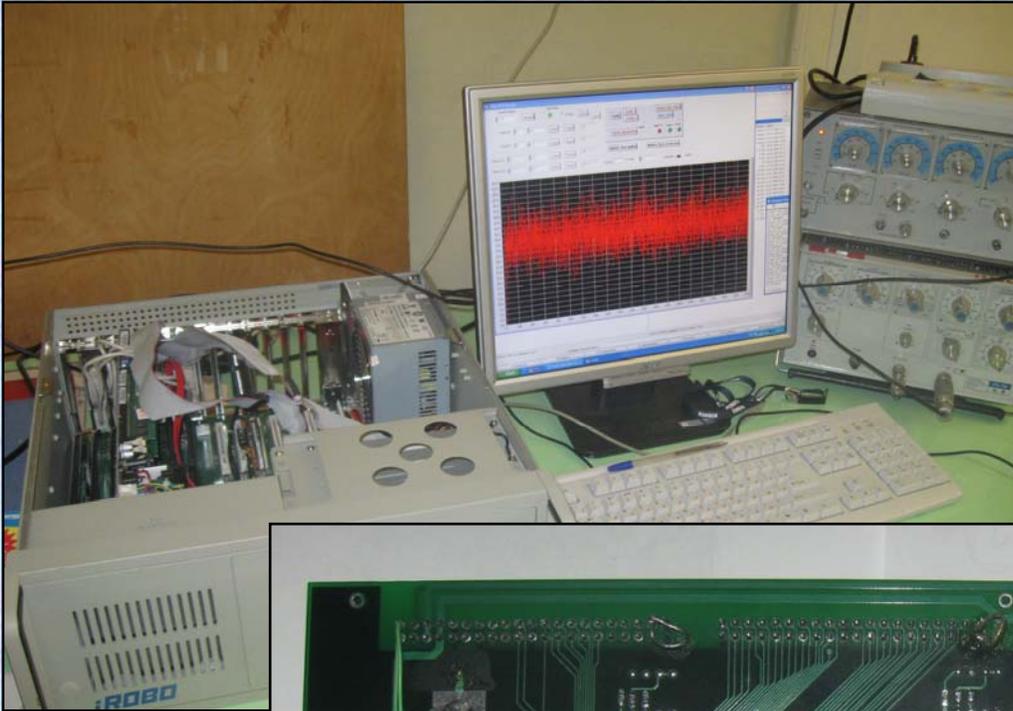


Channel Time



VME версия





PCI версия

## Основные рабочие характеристики разработанных детекторов.

Характеристика детектора		300мм×170мм	200мм×200мм	300мм×300мм
1. Газовая смесь	Давление $^3\text{He}$ , атм	1.5	4	2
	Давление $\text{CF}_4$ , атм	2	2	2
2. Эффективность, % ( $\lambda$ )		60 (9Å)	70 (3Å)	70 (9Å)
3. Пространственное разрешение (FWHM), мм	Дискретная координата	4	2	2
	Непрерывная координата	2.5	1.5	1.5
4. Энергетическое разрешение ( $\Delta E/E_{\text{полн}}$ ), %		15-20	20-40	20-40

**В ТИЯФ РАН разработана  
технология создания  
2D-детекторов  
тепловых нейтронов.**

**На ее основе созданы и успешно  
испытаны детекторы  
с апертурой входного окна  
200\*200мм и 300\*300мм.**

**Детекторы можно реально использовать  
в эксперименте.**

## **Основные участники работы:**

**А.Г.Крившич и В.В.Рунов** – со-руководители разработки.

**А.В.Надточий** – придетекторная электроника, измерительный стенд.

**С.Н.Коваленко** – программное обеспечение, обработка данных.

**Д.С.Ильин** – «мотор» всей работы.

**Г.А.Ганжа** – конструирование.

**Е.А.Иванов, И.Н.Парченко** – механическая составляющая.

**Г.Д.Шабанов** – испытания элементов детектора, механика, технология.

**В.А.Андреев, Н.Н.Филимонова** – все деликатные вещи в детекторе.

**В.А.Соловей** – регистрирующая электроника.

**Л.М.Коченда** – системы откачки/ наполнения детектора.

# Рабочие экземпляры детекторов тепловых нейтронов

