

# Современные позиционно-чувствительные детекторы нейтронов

Ильин Дмитрий

ФКС 2011

# Экспериментальные установки и детекторы

## Требования к детекторным системам на современных источниках нейтронов

Тип установки	Расстояние «образец-детектор»	Размер детектора/апертура	Размер пиксела (простр. разрешение)	Загрузка, Гц	Диапазон энергий нейтронов
Однокристалльный дифрактометр	< 1 м	2 π	< 1 мм <sup>2</sup>	1 МГц	0.3 – 5 Å
Порошковый дифрактометр	1 м	π	5мм x 5 мм	0.1 МГц	0.3 – 5 Å
Дифрактометр для исследования неупорядоченной структуры	> 1 м	π	5мм x 50 мм	0.1 МГц	0.1 – 5 Å
Малоугл. дифр.	2- 10 м	1 м <sup>2</sup>	1x1- 5мм x 5 мм	1МГц	1 – 20 Å
Неупругое изотроп. дифр.	2-6м	10 м <sup>2</sup>	20мм x 20 мм	10кГц	1 мэВ – 1эВ
Радиограф/томогр		20мм x 20 мм	0.02мм – 0.2мм	1МГц	1 – 150 мэВ

### Что приоритетно при выборе детектора?

- эффективность регистрации
- пространственное разрешение
- временное разрешение
- n/γ разделение
- площадь регистрации
- компактность
- низкая стоимость

# Типы ПЧД

## **Детекторы счетного типа:**

1. Газонаполненные детекторы
2. Сцинтилляционные детекторы
3. Полупроводниковые детекторы

- + высокая эффективность
- + низкий фон
- +  $n/\gamma$  разделение
- + временная информация

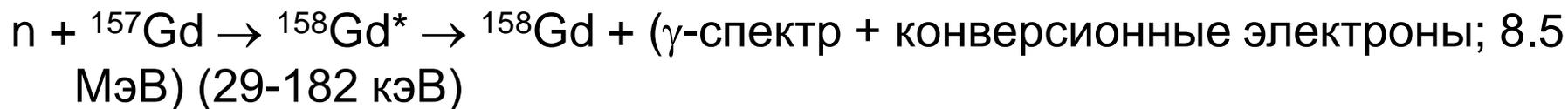
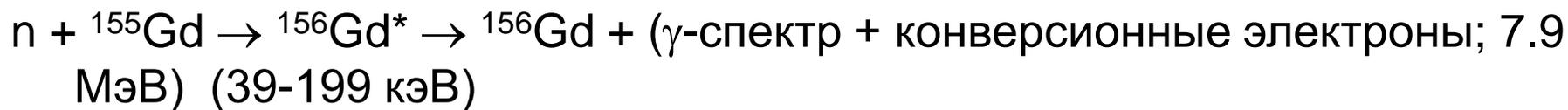
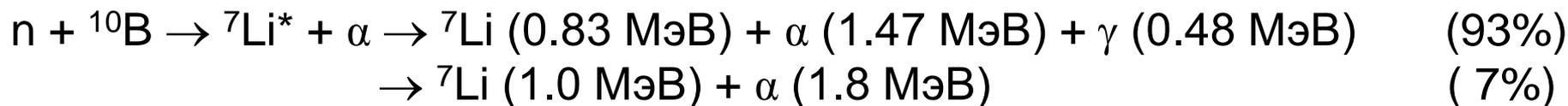
## **Детекторы фотографического типа:**

1. Image plate
2. Сцинтилляционные детекторы+CCD

- + скорость счета
- + пространственное разрешение

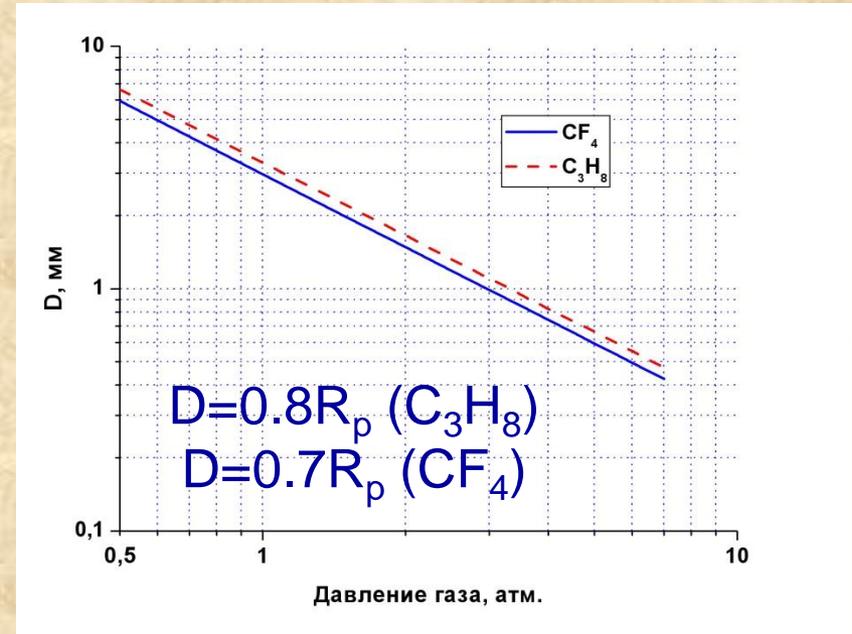
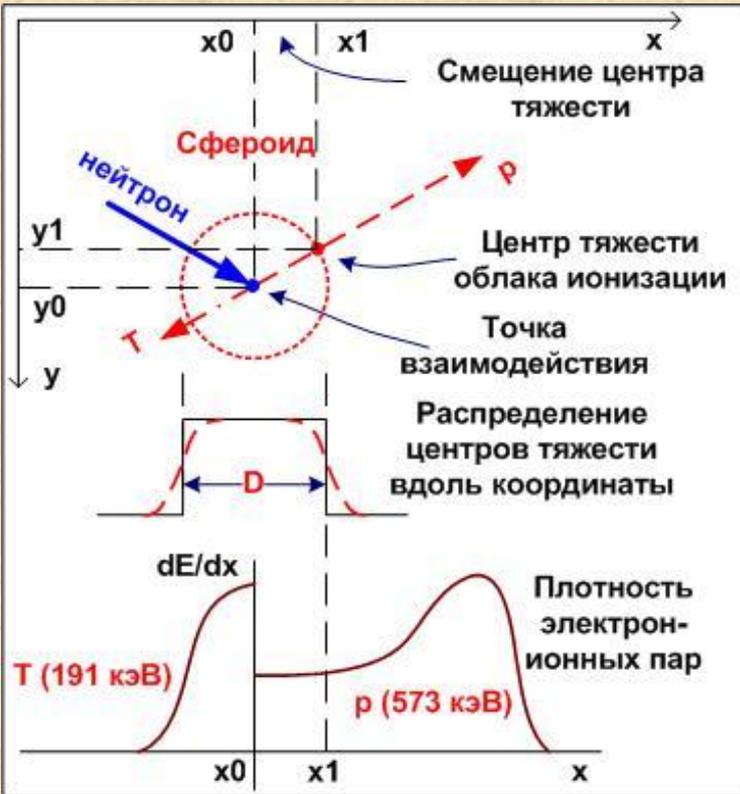
...

## Регистрация нейтронов



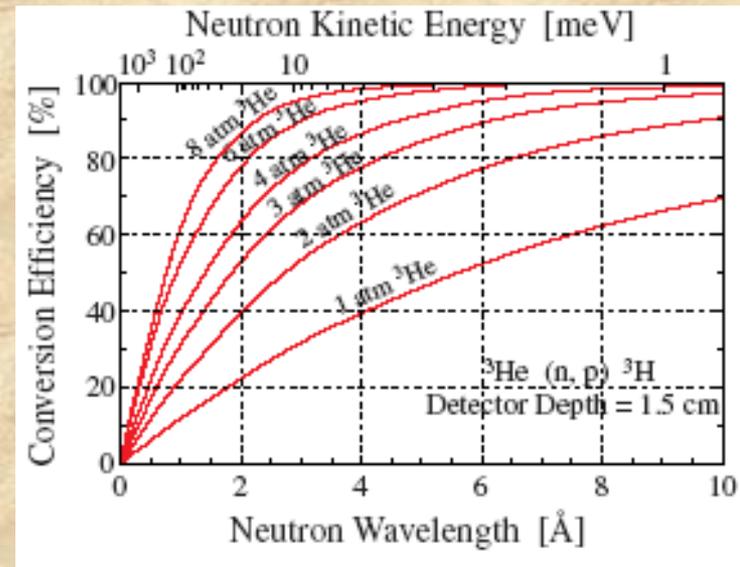
Изотоп	Агрегатное состояние	Сечение реакции, барн(1.8Å)	Длина своб. пробега n (λn)	Продукты реакции и их энергии (кэВ)		Приблизительный пробег частиц
<sup>3</sup> He	газ	5330	70 мм.атм.	p: 573	T:191	3.8 мм.атм. C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
<sup>6</sup> Li	тв.	940	230 мкм	T: 2750	α: 2055	130 мкм
<sup>10</sup> B	тв.	3840	20 мкм	α: 1472	<sup>7</sup> Li: 830	3 мкм
<sup>10</sup> BF <sub>3</sub>	газ	3840	97 мм.атм.	α: 1472	<sup>7</sup> Li: 830	4.2 мм.атм.
<sup>155</sup> Gd	тв.	49000	6.7 мкм	Конв. электроны: 39-199		12 мкм
<sup>157</sup> Gd	тв.	254000	1.3 мкм	Конв. электроны: 29-182		12 мкм

# Газонаполненные детекторы



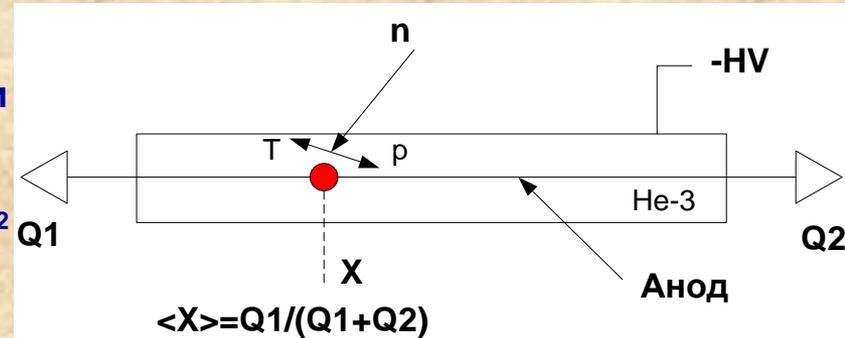
## Характеристики и особенности:

- высокая эффективность регистрации 50-90% (1-4 Å)
- низкая чувствительность к гамма-излучению  $10^{-7}$ - $10^{-8}$
- пространственное разрешение FWHM  $\geq 1$  мм
- временное разрешение  $\sim 1$  мкс
- высокое давление газовой смеси
- пространственные ошибки, связанные с параллаксом

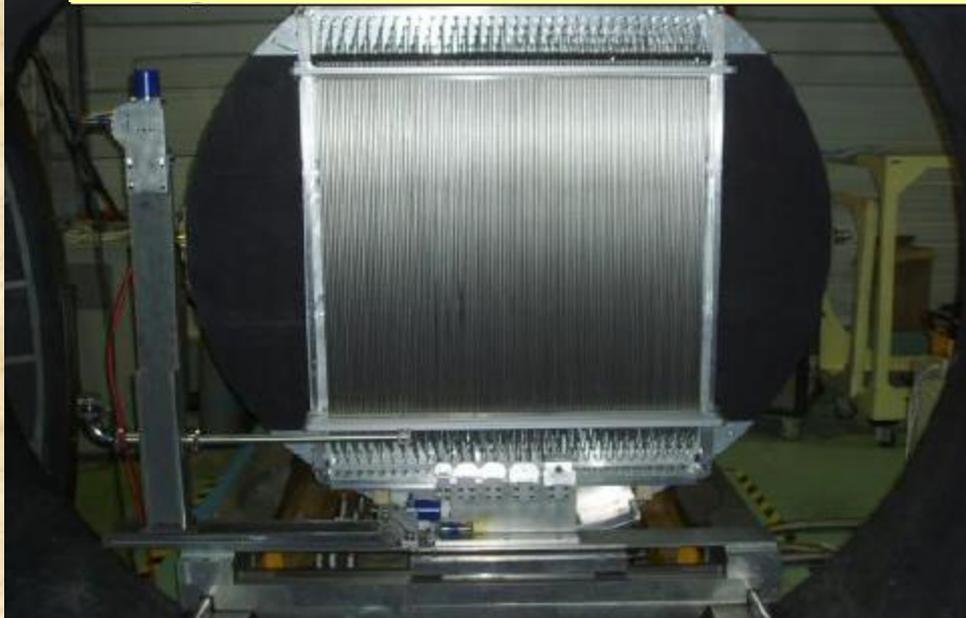


# 2D-системы из пропорциональных счетчиков

- Длина 1 м и более, диаметр 10-50 мм
- Метод деления заряда для линейной чувствительности (PSPC): высокорезистивный анод Ni-Cr (Reuter-Stokes)  $FWHM \sim 1\% \cdot L$ , где  $L$  – длина анода
- Большая площадь покрытия мультidetекторов: 1-30 м<sup>2</sup>
- Локальная скорость счета  $\leq$  кГц/мм<sup>2</sup>
- Стоимость в 2 раза ниже аналогичного по площади MWPC



## SANS D22, ILL



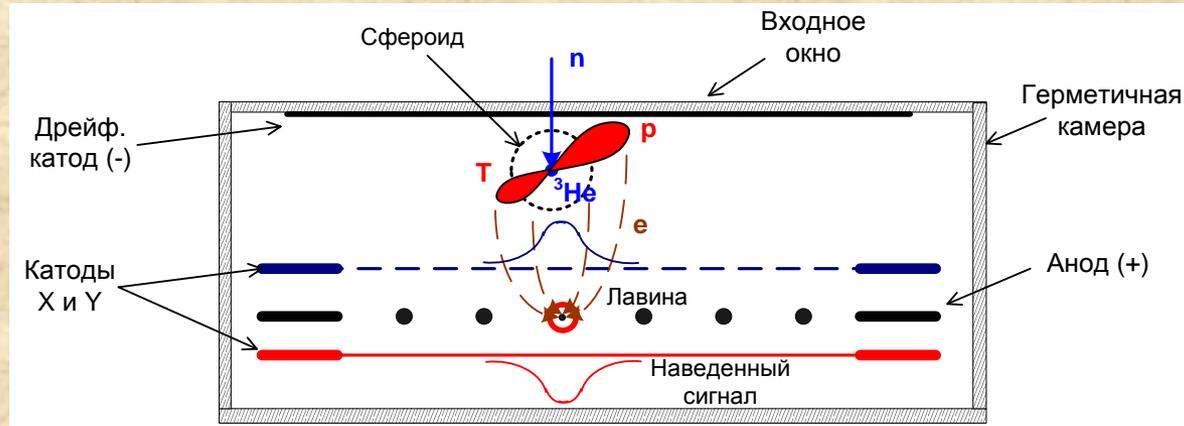
128 PSPC чувствительная область 1 м<sup>2</sup>.  
Метод деления заряда, макс. загр. 5 Мгц  
Диам. сч.: 8 мм. Давление: 15 бар  
Эффективность: 75 % (5 А)

## n-ToF spectrometer IN5, ILL

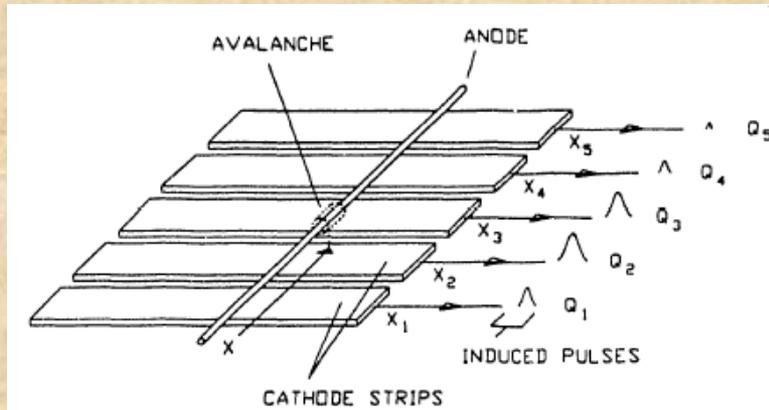


32 PSPC в модуле, длина 3 м  
Площадь: 30 м<sup>2</sup>  
Диам. сч.: 25.4 мм  
Давление: 5 бар  
Угол покрытия: 148°

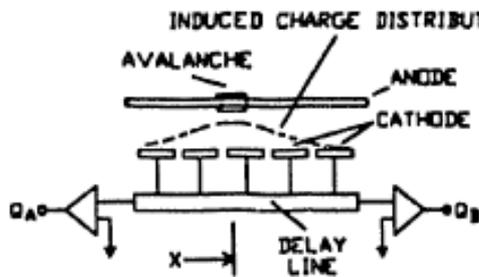
# MWPC



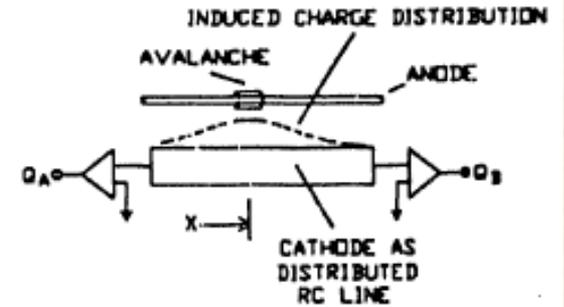
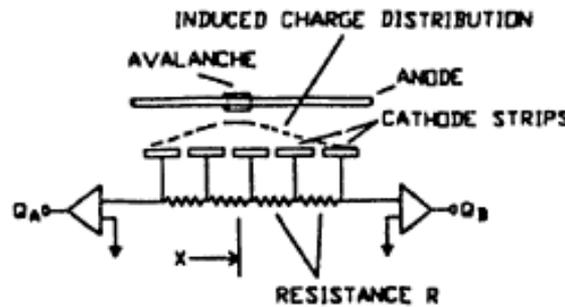
## Методы считывания и восстановления координаты



$$\langle X \rangle = (\sum X_k Q_k) / (\sum Q_k)$$



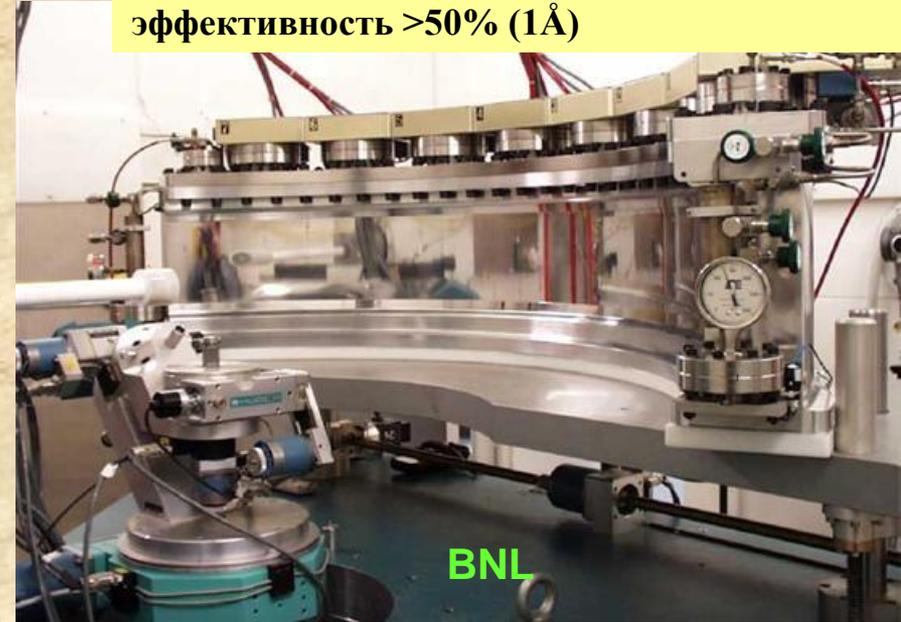
$$\langle X \rangle = ((t_A - t_B) / \Delta t_{\max} + 1) / 2$$



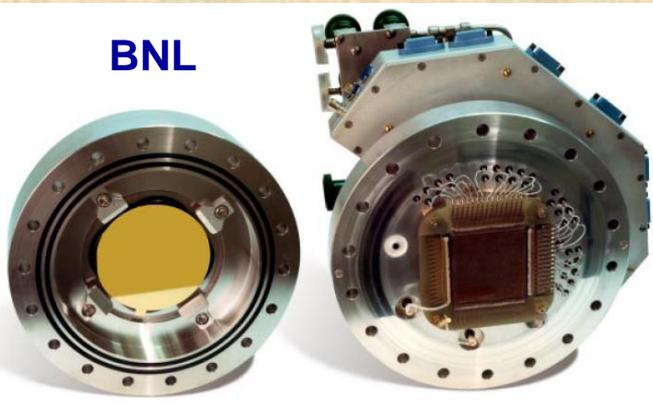
$$\langle X \rangle = Q_B / (Q_A + Q_B)$$

# MWPC

Изогнутый 120 -детектор для кристаллографии протеинов, чувствительная площадь 1.5 м × 20см, временное разрешение 1мкс, интегральная загрузка 1МГц, пространственное разрешение 1.5 мм, эффективность >50% (1Å)



- Площадь: 5x5см<sup>2</sup> – 1x1м<sup>2</sup>
- Метод съема сигналов: поканальный, ЛЗ, метод деления заряда
- Простр. разрешение 1-5 мм (до 0.4 мм)
- Эффективность 50-90% (1-4 Å)
- Временное разрешение ~1 мкс (TOF)



Детектор с входным окном 5см × 5см, пространственное разрешение 0.4 × 0.4 мм<sup>2</sup>, 8атм. <sup>3</sup>He+6атм. C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>

Детектор 21000N ORDELA с входным окном 1м × 1м, временное разрешение 3мкс, интегральная загрузка 200 кГц, пространственное разрешение 5.1 × 5.1 мм<sup>2</sup>, эффективность 50%– 80% (2-5 Å)

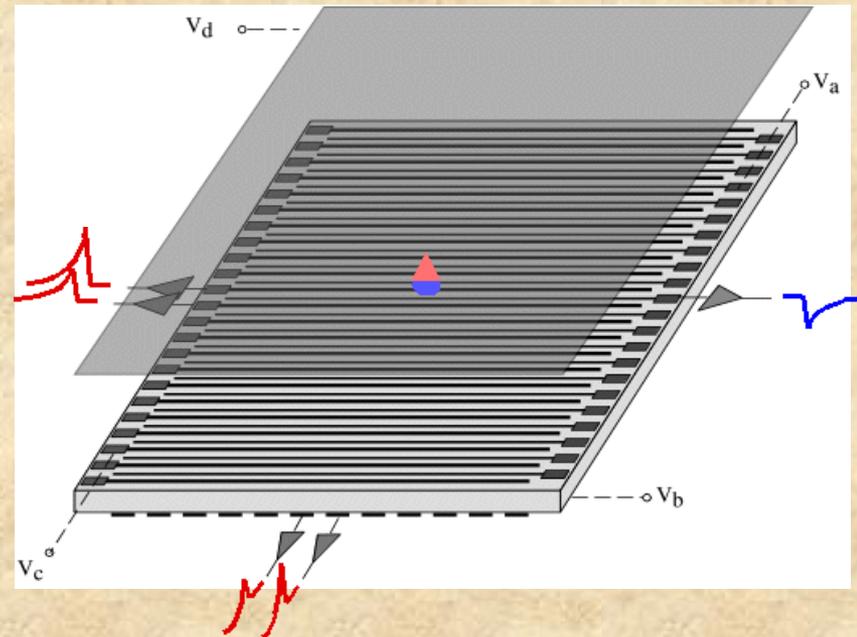
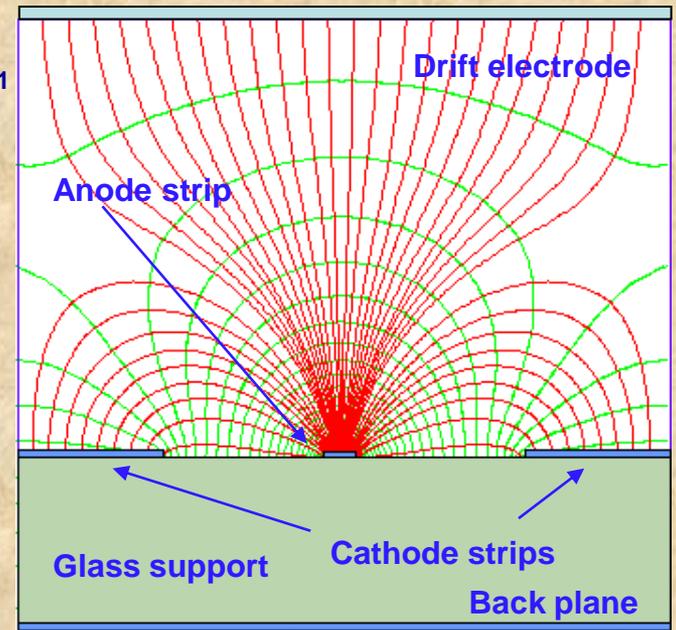
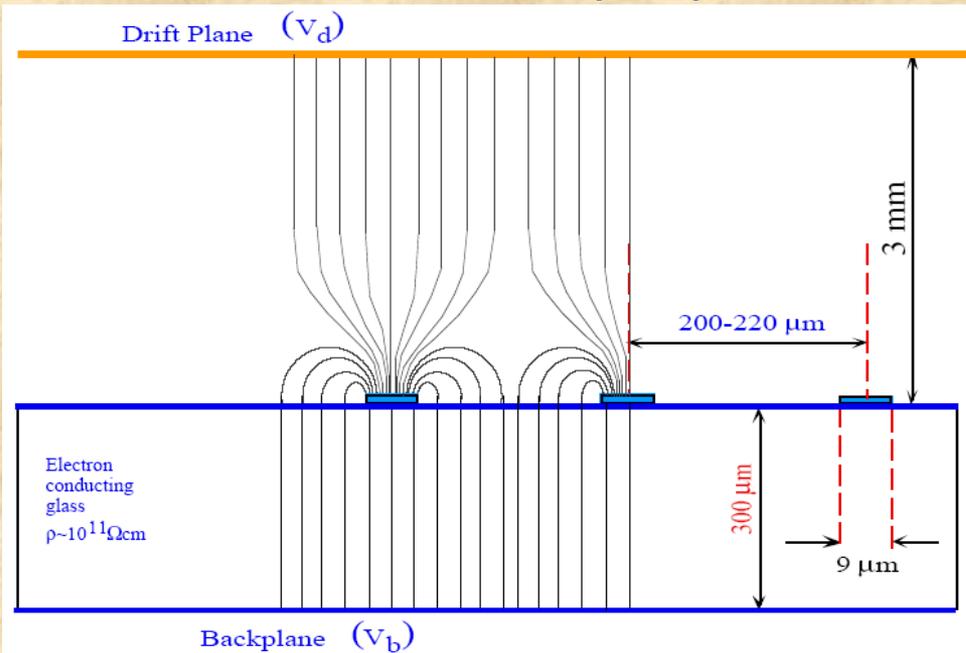


# MSGC

- Площадь одной пластины до  $25 \times 25 \text{ см}^2$  (Schott S8900,  $\rho \sim 10^{11} \text{ Ом см}$ )
- Очень высокие требования к чистоте газа и субстрата
- Специальные свойства субстрата:
  - 1) наличие проводимости (ионная/электронная)
  - 2) ток утечки «анод-катод»  $< 1 \text{ мкА}$

## Readout

### Virtual cathode chamber (VCC)



- Высокий КГУ  $\sim 10^3$
- Анодный и катодный сигналы одинаковые (полярность +/-)
- макс. загрузка  $\sim 5 \text{ кГц/мм}$  (ан. стрип)

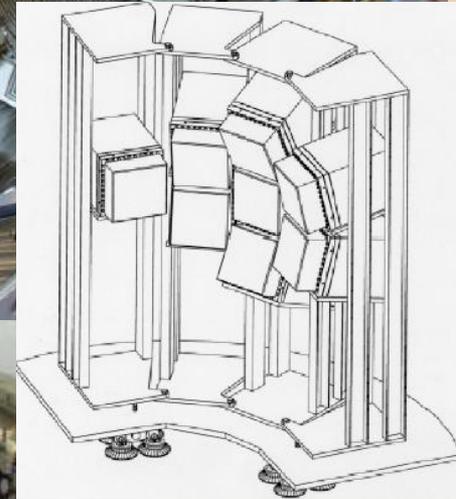
# MSGC

VIDIM200 (VCC): 192ммx192мм  
Поканальный съем 64x64  
Простр. разрешение 3 мм  
Мертвое время 1мкс/стрип

- Скорость счета до 1МГц/мм<sup>2</sup> (VCC)
  - До 100кГц/стрип (frontend dead time 1мкс)
  - Пространственное разрешение 1-3 мм (до 0.5мм)
  - Эффективность <60-90% (1 A)
  - высокое энергетическое разрешение
  - однородность эффективности (нет “болезней” MWPC)
- 
- вариации readout катода
  - **ВЫСОКАЯ СТОИМОСТЬ**



- \* guard electrodes
- \* Entrance window : 5 mm aluminium (5083)
- \* Gas Mixture : 5 bars 3He + 2 bars CF4
- \* conversion gap = 3 cm  
--> 88% efficiency at 2.5 Angstroms



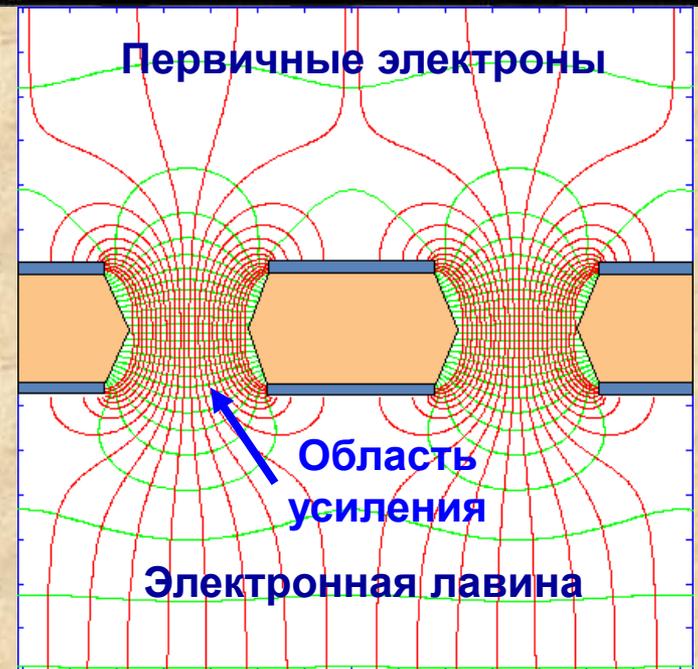
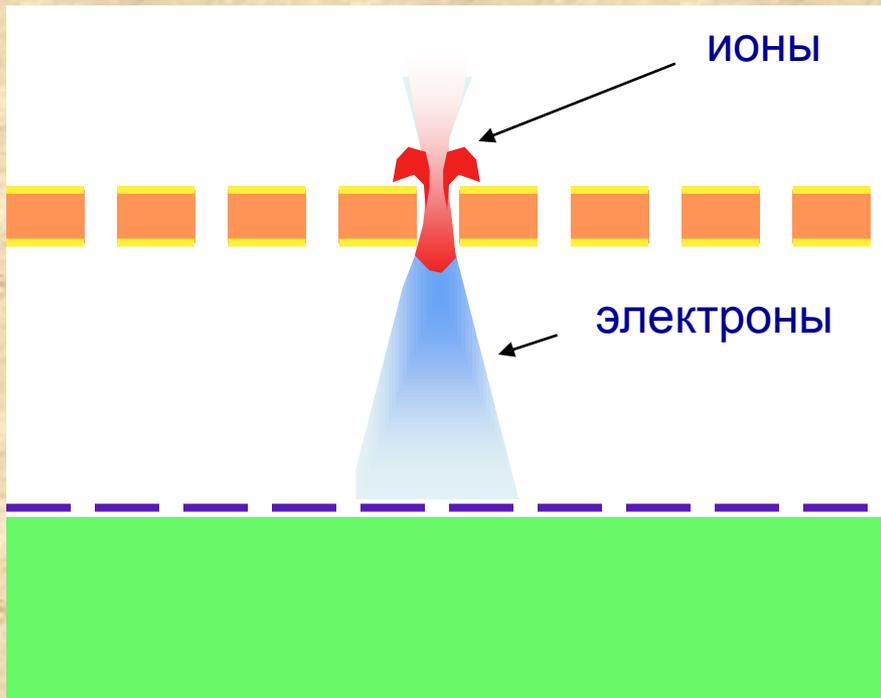
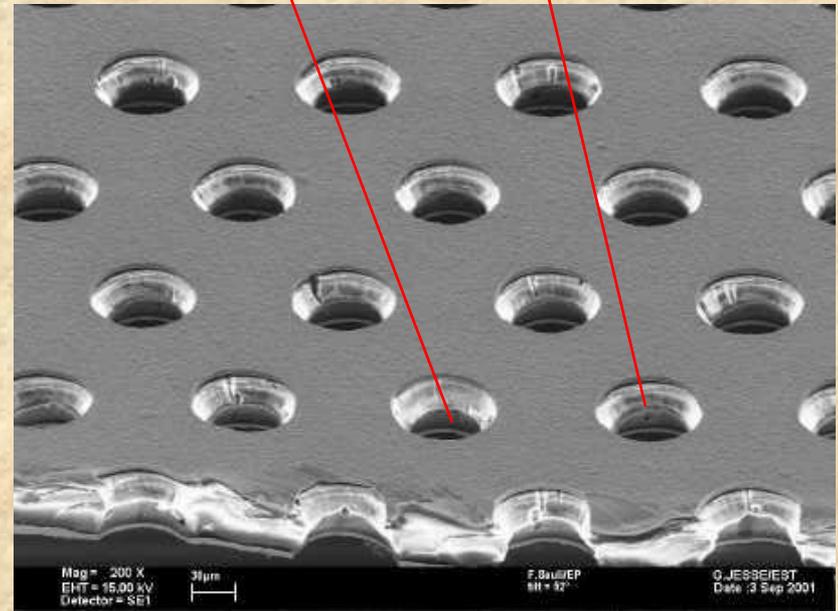
D20 powder diffractometer (since Feb 2000)  
1D localisation  
48 MSGC plates (8 cm x 15 cm)  
Angular coverage : 160° x 5,8°  
Position resolution : 2.57 mm ( 0,1°)  
5 cm gap; 1.2 bar CF4 + 2.8 bars 3He  
Efficiency 60% @ 0.8 Å



# GEM (Gas Electron Multiplier)

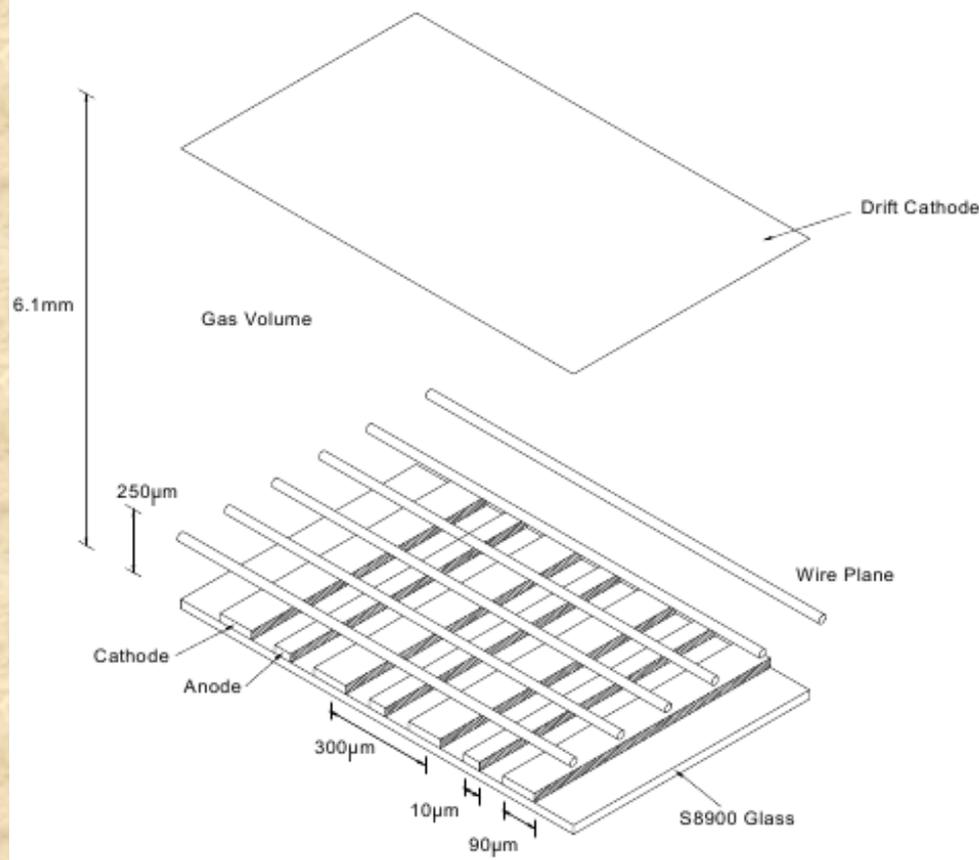
100÷200 мкм

- Площадь электрода до 30x30см<sup>2</sup> (CERN)
- Скорость счета до 10МГц/см<sup>2</sup>
- 100% «прозрачность» для электронов
- Простр. разреш. определяется readout электродом и пробегами частиц
- механическая гибкость GEM
- КГУ~1-400 (1 GEM)
- Быстрый сигнал (нет ионного хвоста): 20нс (зазор 2мм)



# Другие микроструктурные газовые детекторы

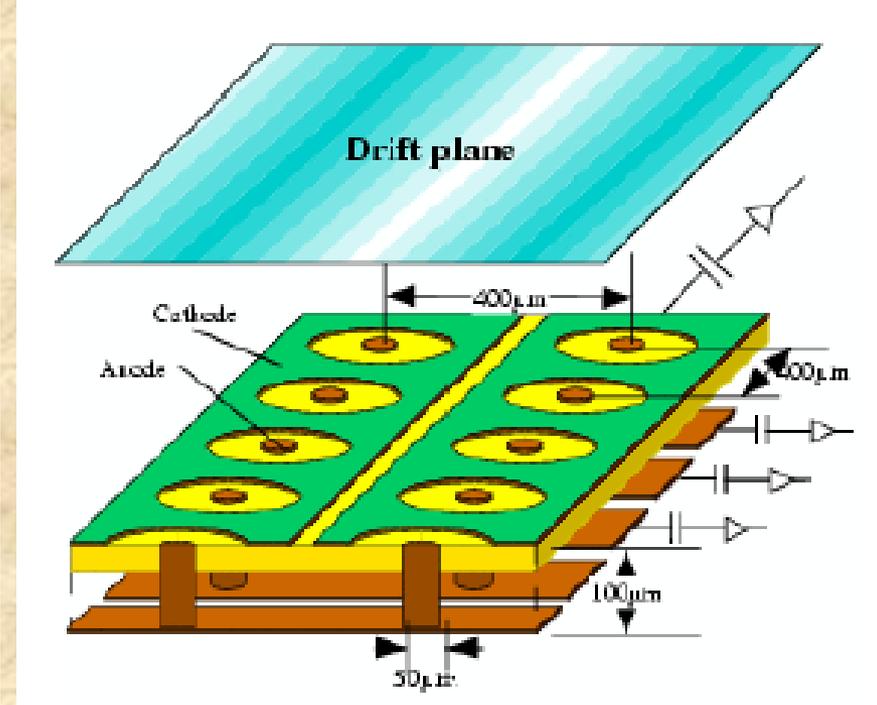
## MICRO-GAP CHAMBER (MGC)



### Beam monitor (Delft for ISIS):

- рабочая область 5 см x 5 см
- MWPC катод: шаг 1 мм
- эффективность <1%
- газовая смесь He3/CF4
- интенсивность потока до 10 МГц/мм<sup>2</sup>
- 2D readout 100 кГц

## μPIC (микроексельная камера) readout



### Основные достоинства:

- рабочая область 30 см x 30 см (PCB техн.)
- высокий КГУ ~ в 10 раз выше чем MSGC
- слабая подверженность разрушению из-за разрядов
- более доступная технология, чем MSGC
- высокое временное разрешение

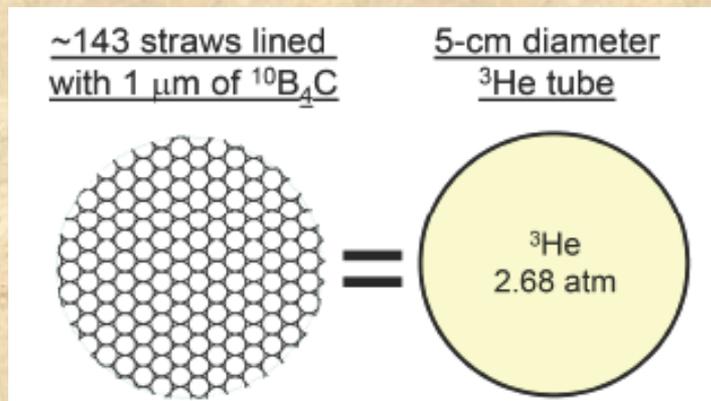
# Детекторы с He-3 конвертором

- Высокая эффективность и пространственное разрешение достигаются только при высоком давлении газа => компромисс между размерами детектора и его основными характеристиками
- Сложно получить пространственное разрешение  $FWHM < 1$  мм
- + Низкая чувствительность к гамма-излучению
- Наличие паралакса – зависимость пространственного разрешения от угла падения нейтрона (толщина чувствительной области 20-30мм)
- Высокая стоимость газа  $^3\text{He}$
- **Пропорциональные счетчики (1D, 2D):** большие чувствительные площади ( $1\text{ м}^2$  - неск. дес.  $\text{м}^2$ ), невысокая скорость счета ( $\sim 100$  кГц) при относительно простой регистрирующей электронике
- **Микроструктурные детекторы:** малая чувствительная область (до  $30\text{ см} \times 30\text{ см}$ ), возможность работы при высоких локальных нагрузках, многоканальная электроника, повышенные требования к чистоте газовой смеси и выбору материалов (MSGC)

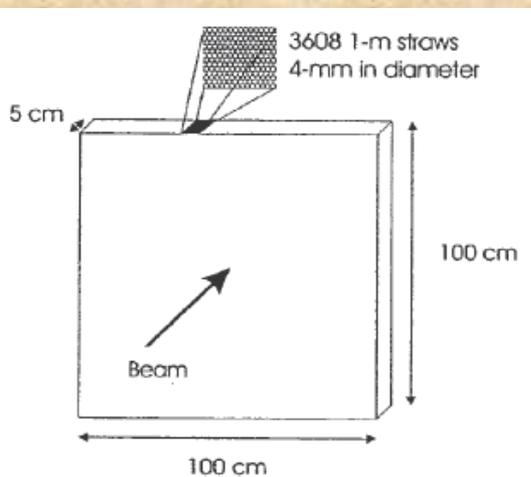
# Газонаполненные детекторы с твердотельными конверторами (гибриды)



## Технология Straw



**Straw – тонкостенный (каптон, медь, алюминий) пропорциональный счетчик. Диаметр 4 мм.**



- $\epsilon=65\%$  (5cm)
- X – номер straw
- Y – charge division

J.L.Lacy, 2006  
US007002159B2

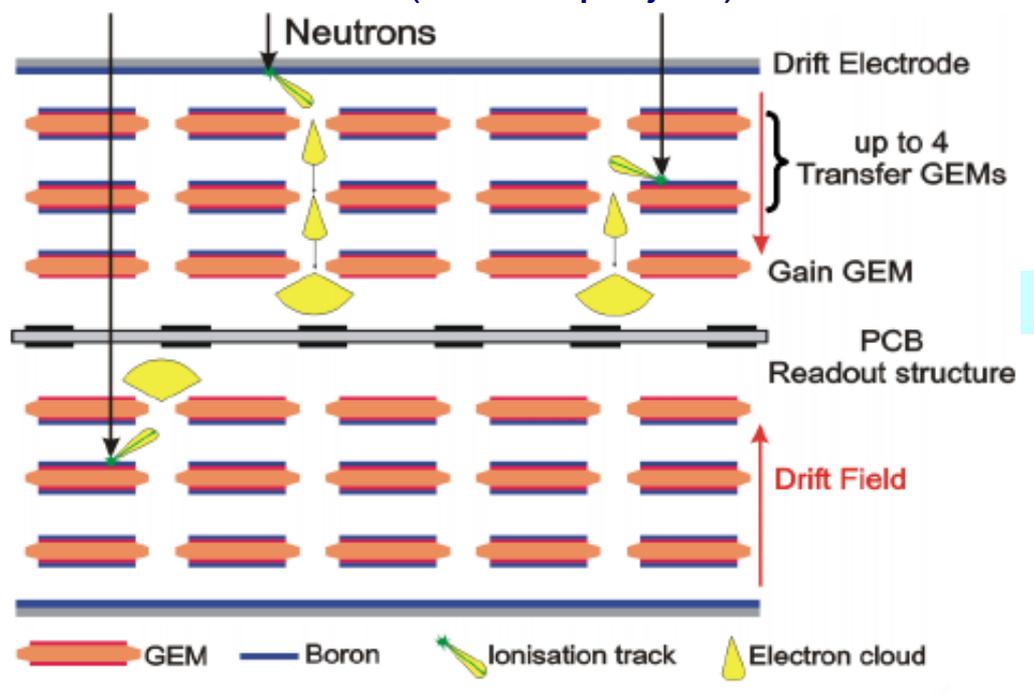


**Пропорциональный счетчик с борным конвертором, нанесенным на внутреннюю поверхность трубки**

- 1 слой конвертора  $\rightarrow \epsilon=5\%$
- Газовая смесь Ar/CO<sub>2</sub>, P=20 см.рт.ст.
- Длина счетчика до 2.2 м
- высокая степень разделения n/γ (γ до 100МР/ч)

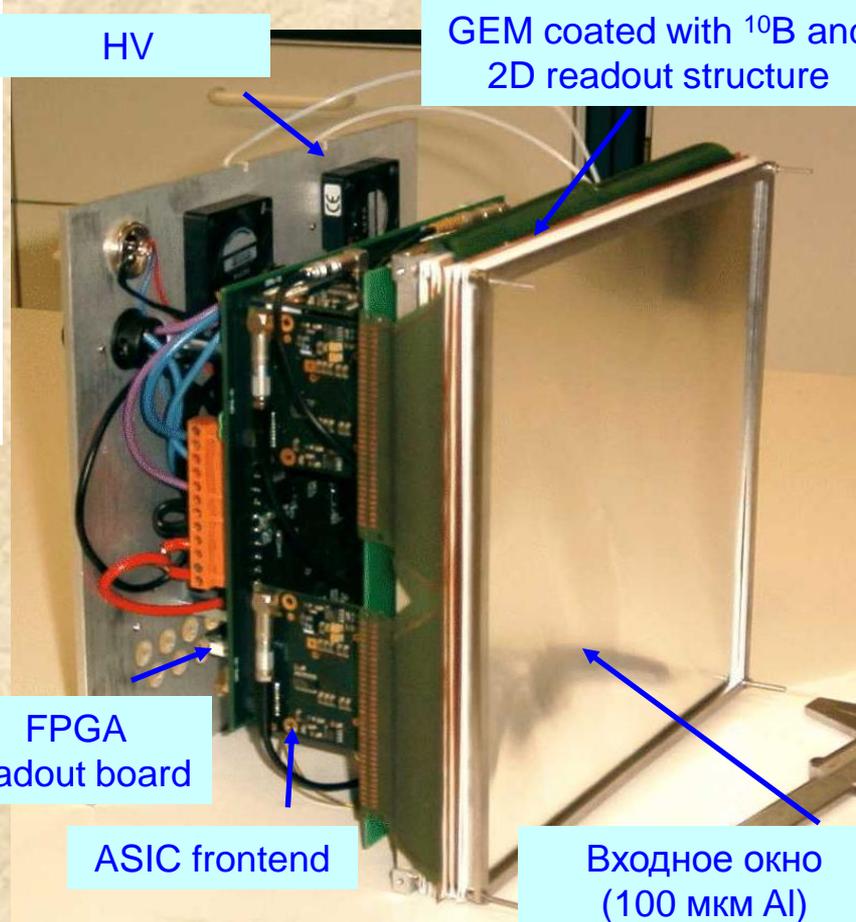
# Газонаполненные детекторы с твердотельными конверторами (гибриды)

## CASCADE (DETNI project)



## High resol. SXD & reflectometry & SANS:

- чувствительная область 30x30 см<sup>2</sup>
- скорость счета 10 МГц
- FWHM=1 мм



- FWHM~3.1 мм (при н.у.) (прототип)
- FWHM~1 мм (при +1.5 бар. CF<sub>4</sub>)
- 10 слоев GEM – эфф. 50% (1.8 А)
- 4 МГц (прототип)
- Газовая смесь 90%Ag+CO<sub>2</sub> при н.у.
- Readout: strip, pad,..
- радиационная стойкость:
  - 1) поток нейтронов  $\uparrow$  600 МГц/см<sup>2</sup> (2.2 см<sup>2</sup>, T=2.5 часа)
  - 2)  $\downarrow$  потока до н.у., нет снижения КГУ



# Сцинтилляционные детекторы

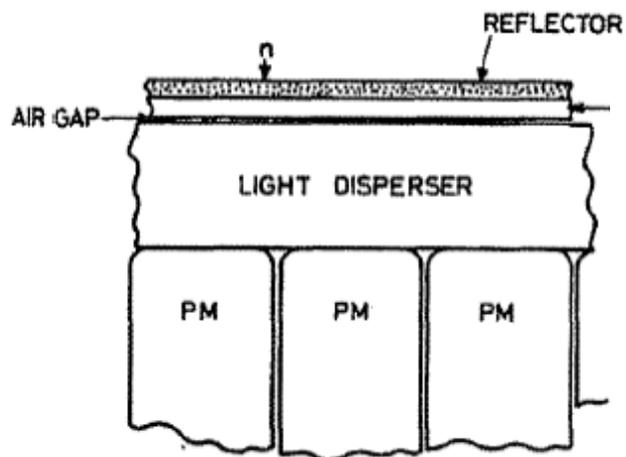
Материал	Выход фотонов на поглощенный нейтрон	Время послесвечения (нс)	Длина волны фотонов (нм)	+/-
Стекло ${}^6\text{Li}:\text{Ce}^{3+}$	~6000	75	395	+ скорость счета + прозрачность - высокая гамма-чувствительность $1\text{E}-4$
${}^6\text{Li}:\text{Eu}^{2+}$	50000	1400	470	+ эффективность + низкая гамма-чувствительность $1\text{E}-6$ - низкая скорость счета - Гигроскопичность
${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}:\text{Ag}^+$	160000	200 Послесвечение до 10 мкс	450	+ низкая гамма-чувствительность - низкая скорость счета - плохая прозрачность
${}^6\text{Li}_6\text{Gd}(\text{BO}_3)_3:\text{Ce}$	50000	200/800	385, 415	+ Разделение n/γ по форме импульса

## Методы считывания

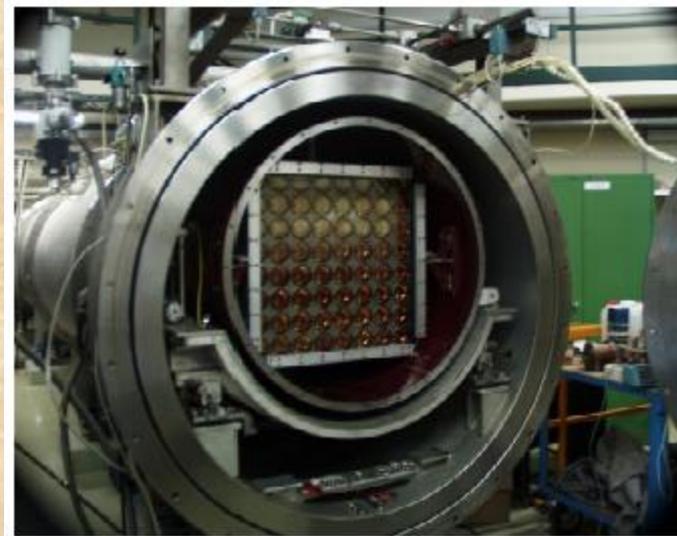
- Прямой метод – камера Анжера (PM, PSPM)
- Оптоволоконный метод (Fiber coded, WLSF)
- CCD
- SiPM

ISIS Facility, UK:  
60% сцинт. детекторов

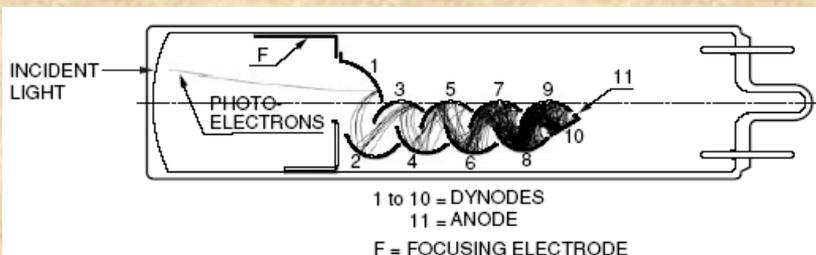
# Камера Анжера (PM-readout)



Стекло Li-6:Ce+



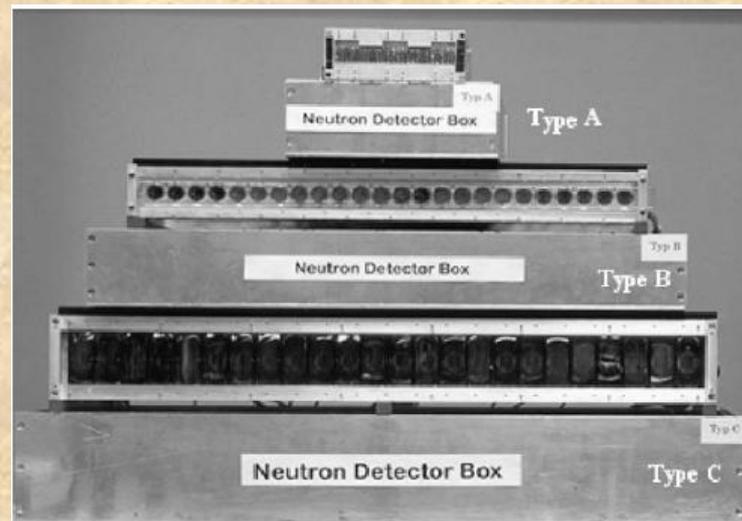
Метод ц.т. дает простр.разреш. лучше, чем размер PM



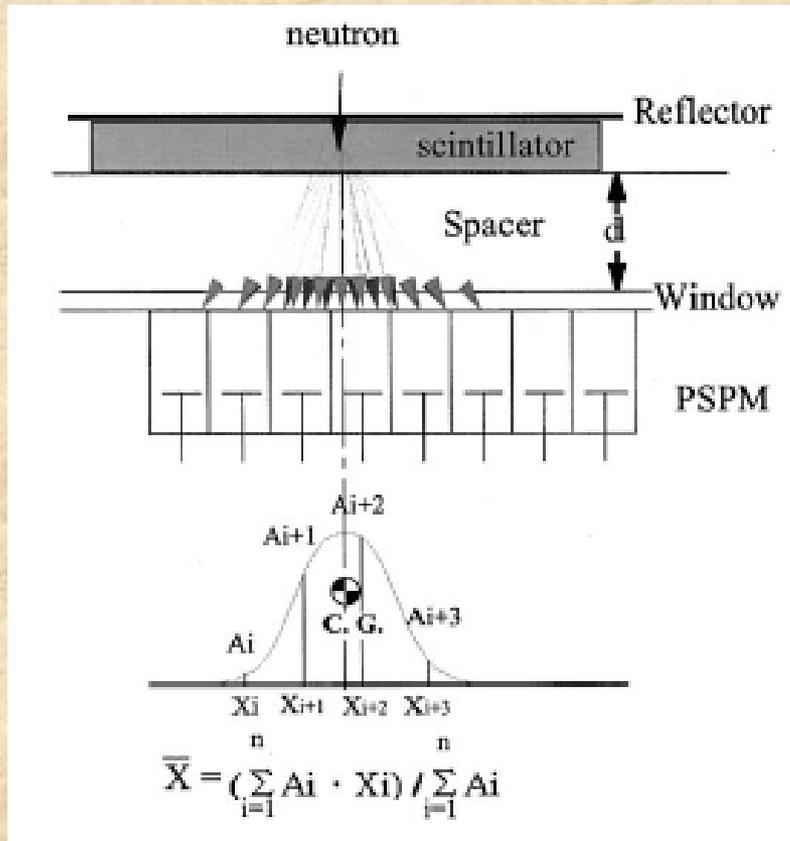
SANS KWS1, KWS2: детектор 60смх60см, 8x8 PMT, 128x128 каналов, 5ммх5мм, до 500кГц (readout электроника), эфф. 65-95% (1-3 А),  $n/\gamma$   $10^{-4}$  (1 МэВ)

## Julios family (Julich)

Type	A	B	C
Total size	320 × 390 × 115	900 × 450 × 125	1100 × 475 × 180
PM-cathode	6.8 × 24	28.6 ∅	40 × 80
Sensitive size	200 × 20	680 × 25	940 × 75
Spatial resolution	1.2	2.3	3.3

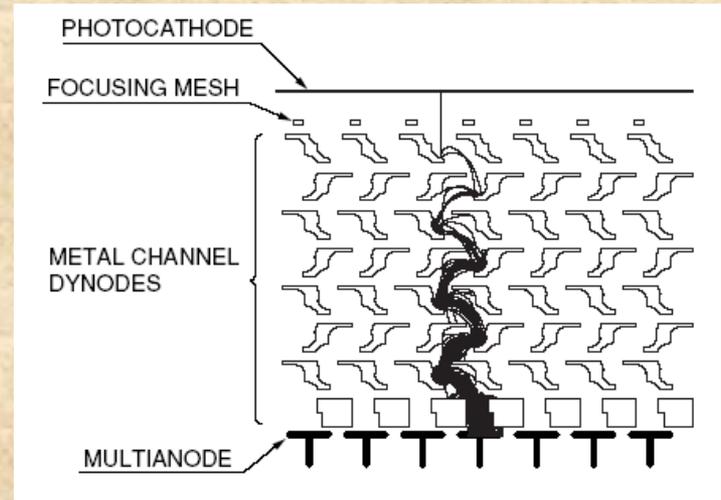


# Камера Анжера (PSPM-readout)



**FWHM = 0.8мм и лучше**

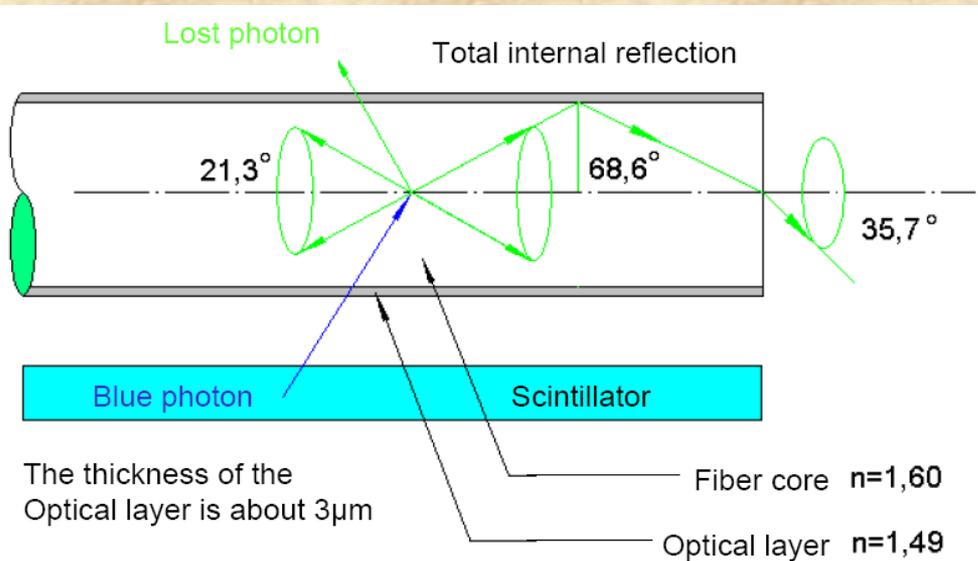
## MAPMT: HAMAMATSU H9500



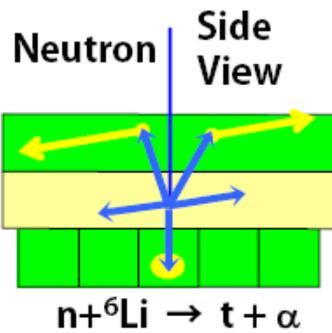
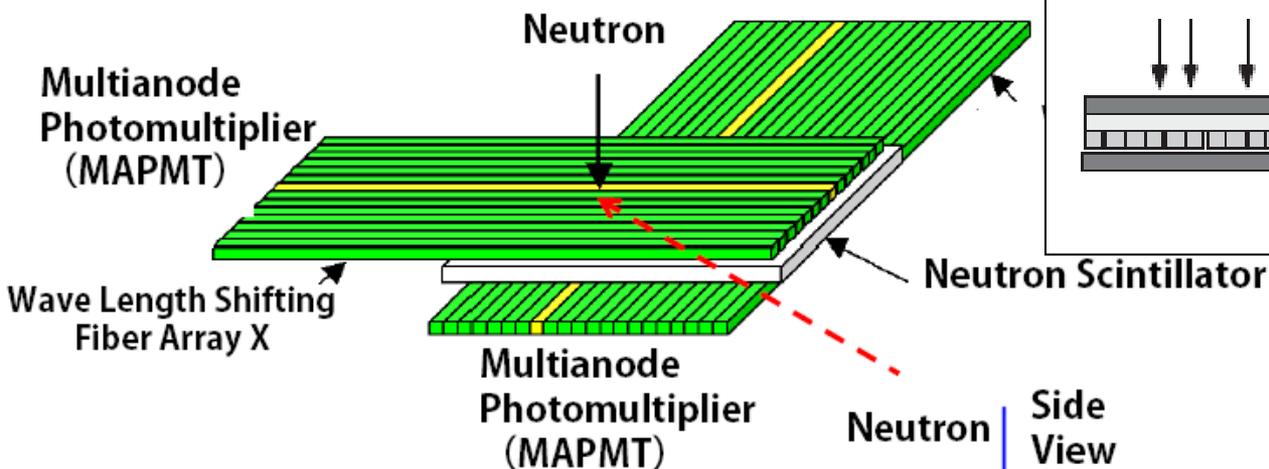
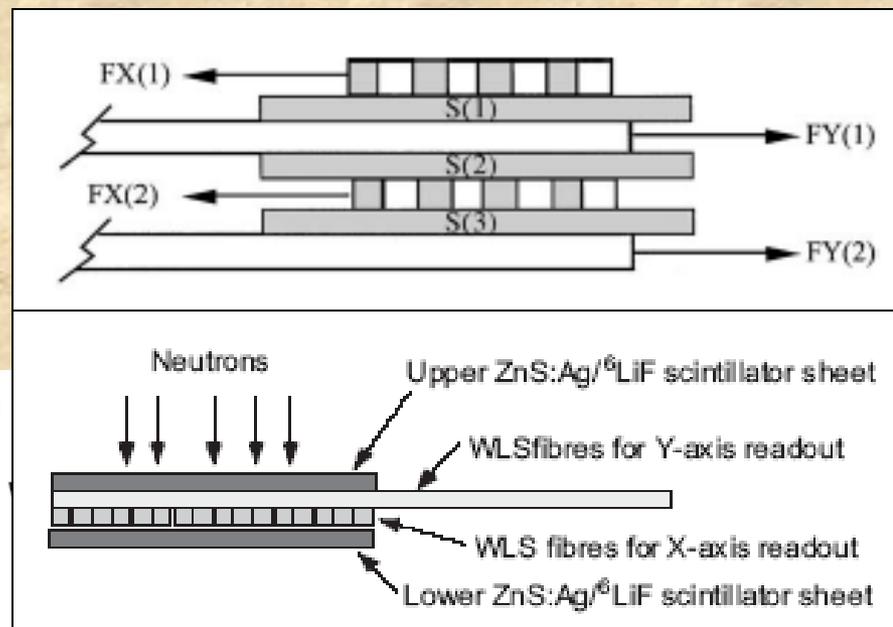
Чувст. обл. 49ммx49мм, 16x16 каналов, размер пиксела 3ммx3мм, мертв. обл. 10%, мертв. время 6нс

- Возможность покрытия больших площадей - модульность
- Поканальный съём (!)

# WLSF readout



- Сцинтиллятор  $\text{ZnS}+^6\text{LiF}$  (hi lumin.!)
- низкая скорость счета
- эффективность (1.8A): 1 слой – 20-30%, 2 слоя – 40-55%



- Д diam. WLSF 0.4-1.0 мм
- Цифровой съем: FWHM=diam. WLSF
- Метод ц.т.: FWHM<diam. WLSF

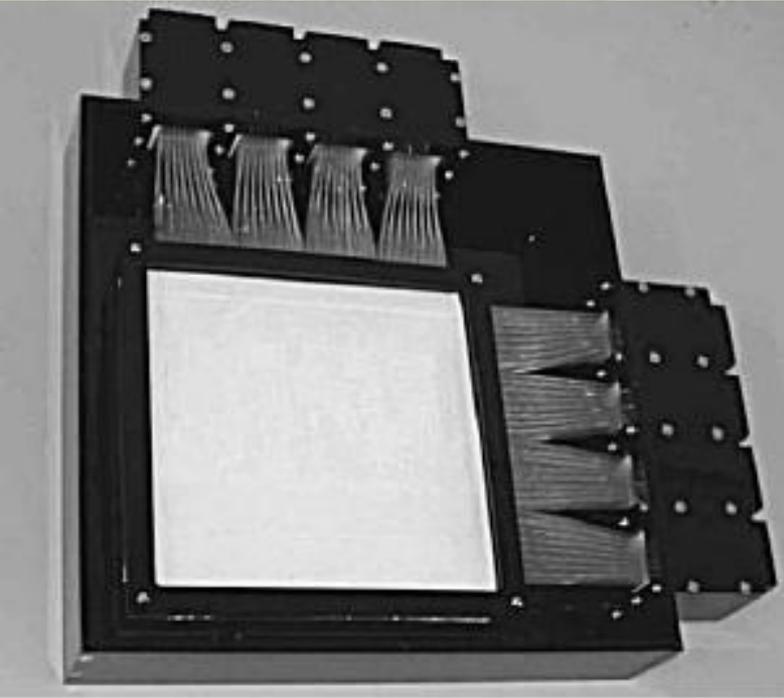
## Разработчики

- JAPAN
- USA
- Russia

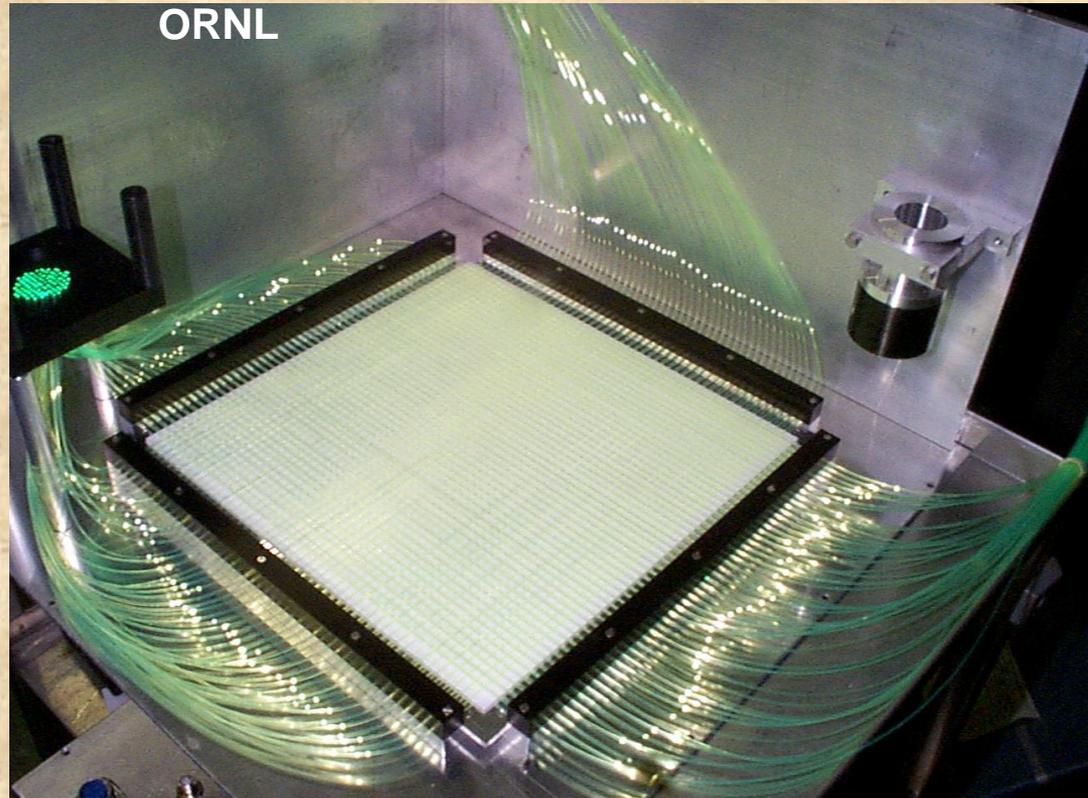
# WLSF readout

## «Разреженная» упаковка

## «Плотная» упаковка



128мм x 128мм, пиксель  
0.5ммx0.5мм  
(Riken, KEK, CERN)



- Площадь 25см x 25см
- Расстояние между волокнами 2 мм
- 48x48 WLSF (X,Y)
- MAPMT: Phillips XP1704
- Анализатор совпадений: Hamamatsu 1924
- разрешение: < 5 мм
- Макс. скорость счета: ~ 1 МГц
- Время формирования: 300нс
- TOF разрешение: 1 мкс

# Fiber coded readout (ISIS)

ISIS Facility: ENGIN-X, HRPD, OSIRIS, HiPr, GEM, SXD

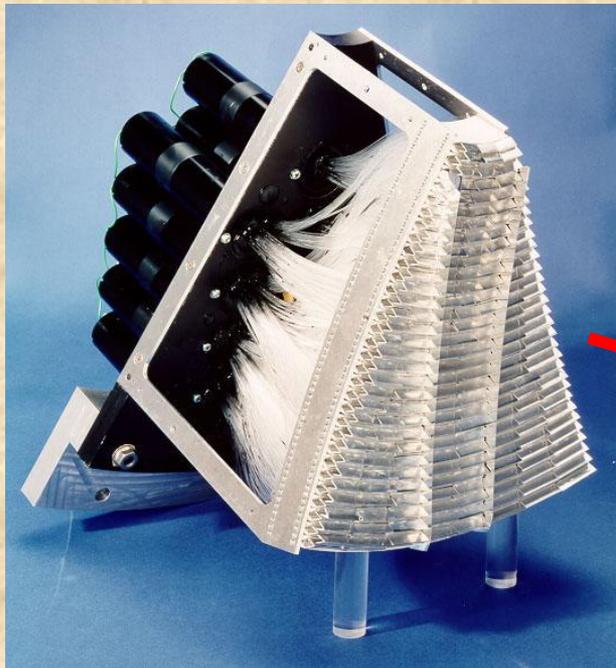
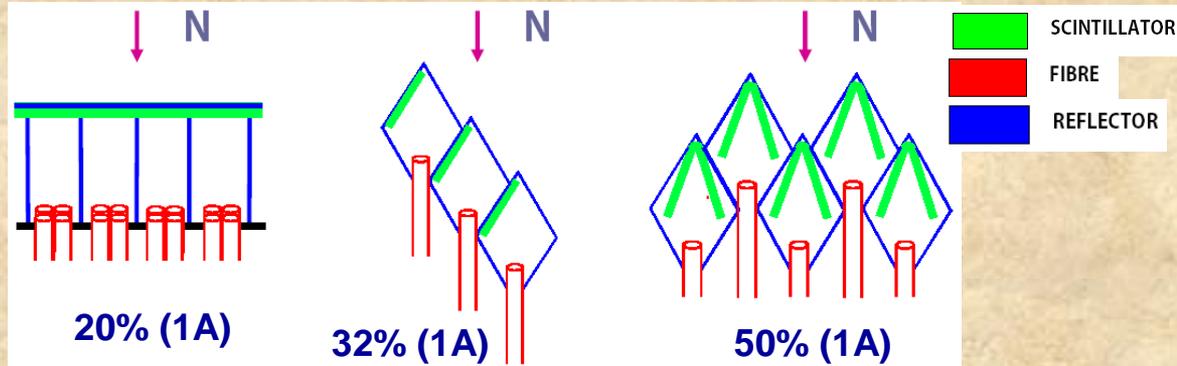
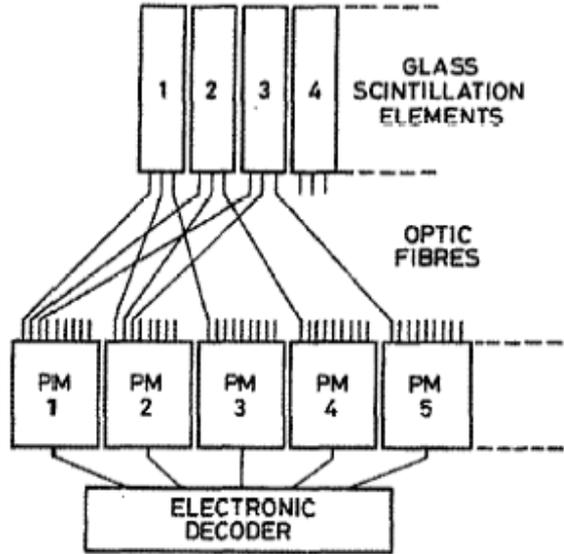
$^2\text{Cn}$ ,  $^3\text{Cn}$ ,  $^4\text{Cn}$  – 1D, 2D размерность

+ малое кол-во ФЭУ

+ большое число оптических каналов

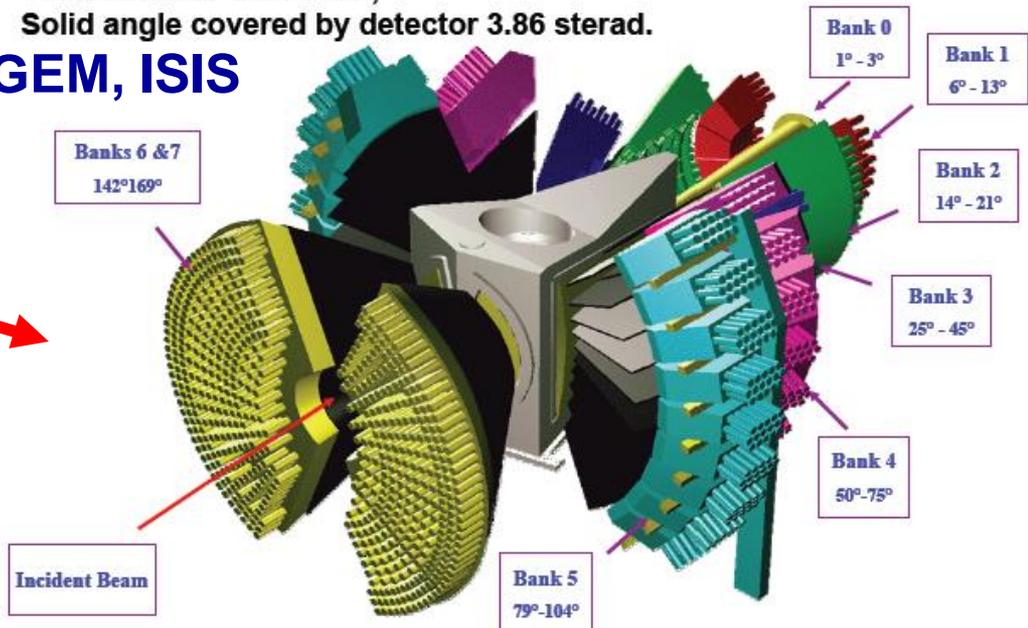
Пространственное разрешение 3-5 мм

Эффективность до 50% (1A) (V-образный сцинт. экран)



Total detector area  $10\text{m}^2$ ,  
Solid angle covered by detector 3.86 sterad.

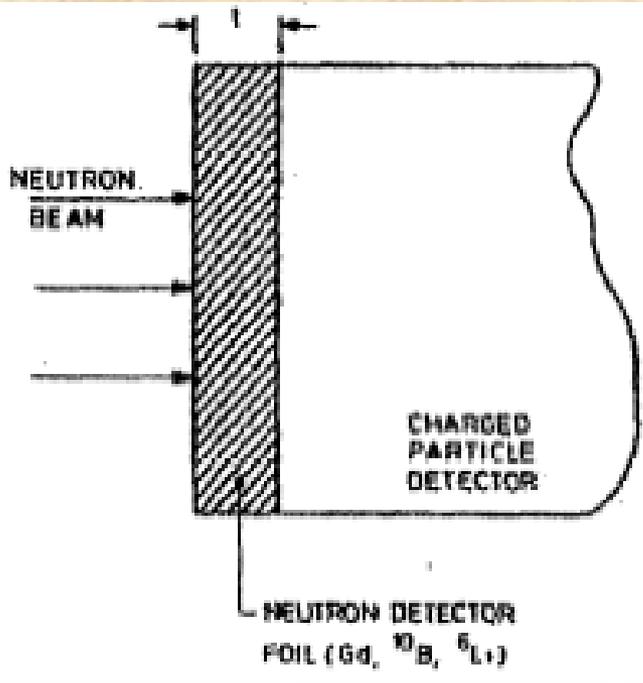
## GEM, ISIS



# Сцинтилляционные детекторы

- Пока не найден оптимальный сцинтиллятор, имеющий одновременно: малое время послесвечения (высокие локальные загрузки), большой выход фотонов и высокую прозрачность, низкую  $\gamma$ -чувствительность
- + Большие чувствительные площади, высокое разрешение
- Разнообразие методов съема
- + Чувствительность к фоновому гамма-излучению может быть снижена при анализе формы импульса (сцинтилляторы  ${}^6\text{Li}_6\text{Gd}(\text{BO}_3)_3:\text{Ce}$ ,  $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6:\text{Ce}$ )
- + практически отсутствует эффект параллакса

# Полупроводниковые детекторы

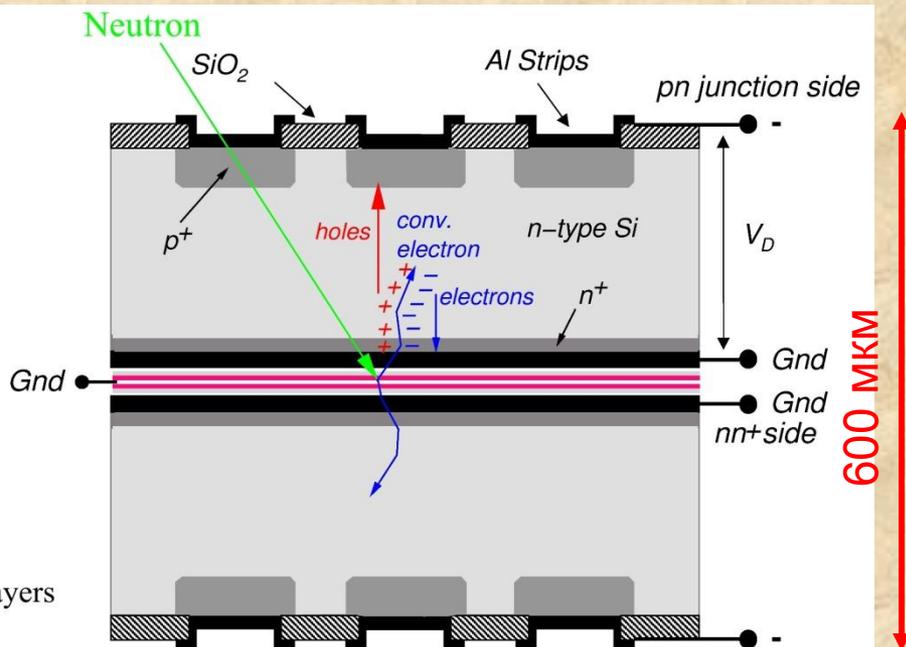
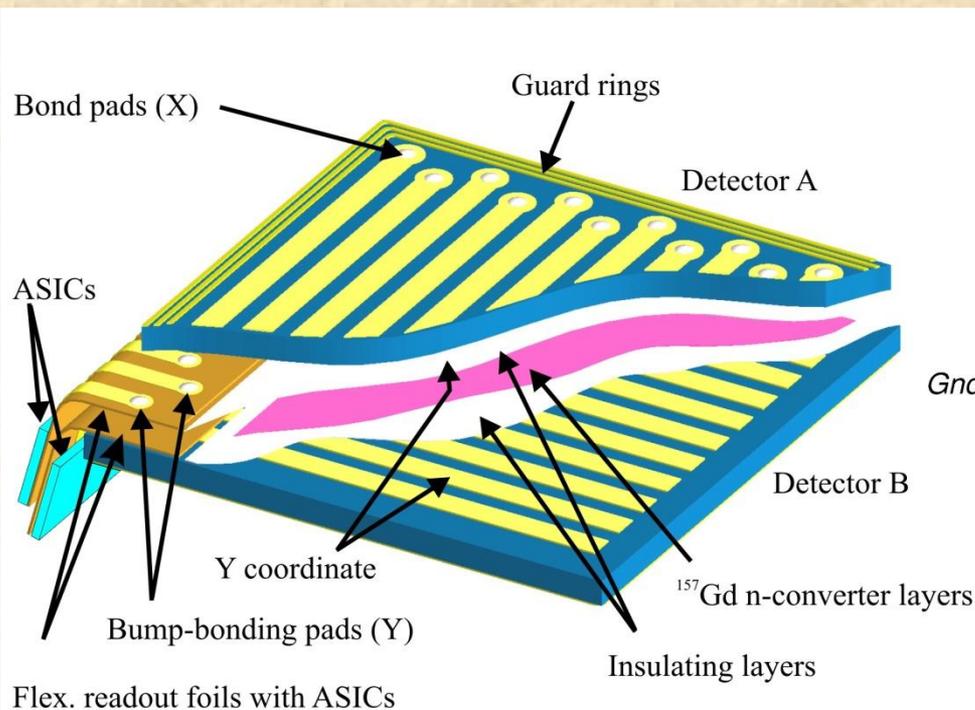


Конверторы:  $^{10}\text{B}$ ,  $^6\text{LiF}$ ,  $^{157}\text{Gd}$

Конвертор	Заряж. частица	Энергия	Пробег (R)	Длина своб пробега нейтрона ( $\lambda_n$ )	R/ $\lambda_n$	Оптим. толщина конвертора	Максимальная эффективность (1.8A)
$^6\text{Li}$	T	2.7 МэВ	130мкм	230мкм	0.56	97мкм	10%
$^{10}\text{B}$	$\alpha$	1.47 МэВ	3мкм	20мкм	0.16	3.5мкм	4%
$^{157}\text{Gd}$	e-	< 0.182	12мкм	1.3мкм	9.15	3мкм	60%

# Полупроводниковые детекторы

## Gd/Si microstrip detector (DETNI)



Кремниевый диод p+-n-n+

- **Размер** 51 мм x 51 мм x 0.3 мм
- **Число стрипов** 640
- **Шаг** 80 мкм
- **FWHM** 54 мкм
- **Макс. загрузка** 25МГц (1МГц/см<sup>2</sup>)  
75кГц/стрип

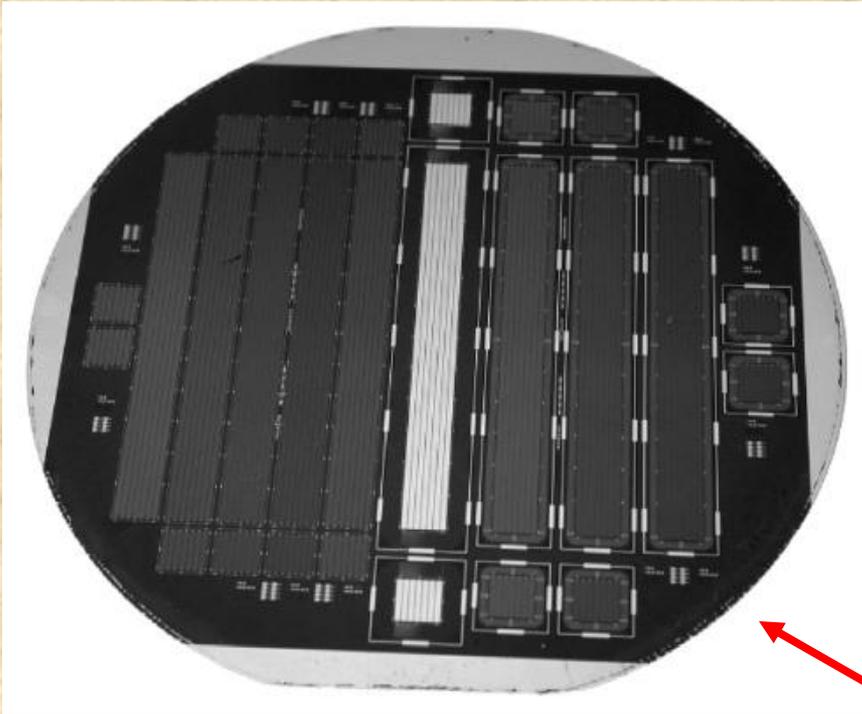
Front end:

- $E_{\text{сигн}}$  29-250 кэВ
- $E_{\text{пор}}$  10кэВ
- ENC 550e (20-30 пФ)

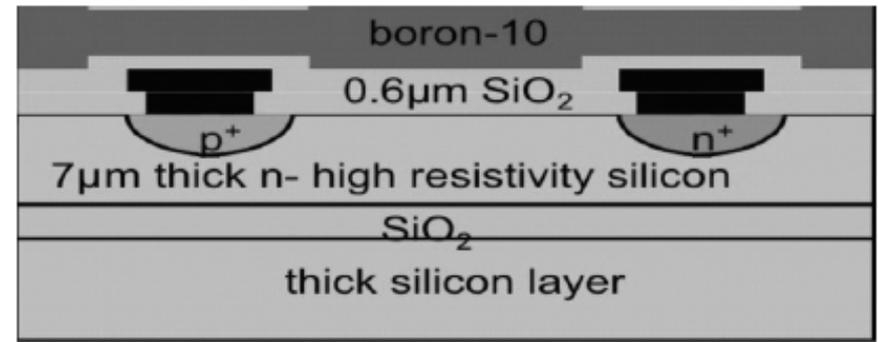
# Полупроводниковые детекторы

Naval Research Laboratory

Одностороннее покрытие  $^{10}\text{B}$   
(1.5мкм),  $^6\text{LiF}$  или  $^6\text{Li}$

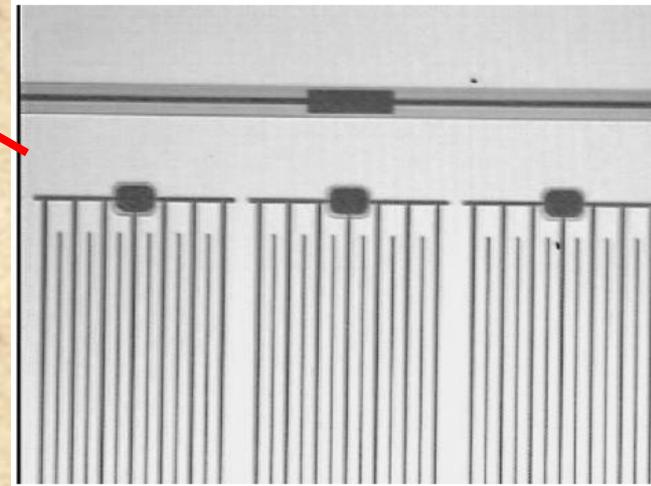


Размер центр. области 96ммх96мм,  
толщина детектора 0.5 мм,  
кремниевая подложка 100мм диам.



- Технология SOI (Silicon-on-Insulator)
- Тонкие слои кремния (7мкм) -> низкая гамма- чувствительность
  - низкая стоимость производства
  - возможность массового производства для покрытия больших площадей

3 стрипа:  
каждый состоит из чередующихся  
стрипов N- и P-типа



# Полупроводниковые детекторы

- + Высокое пространственное разрешение
- + Высокое временное разрешение
- + Высокое энергетическое разрешение
- + Высокая скорость счета
- + Низкая гамма-чувствительность
- + Отсутствие параллакса
- Малая рабочая область до  $100 \times 100 \text{ мм}^2$
- Высокая эффективность регистрации только для Gd-конвертора
- Медленное старение только для Gd-конвертора

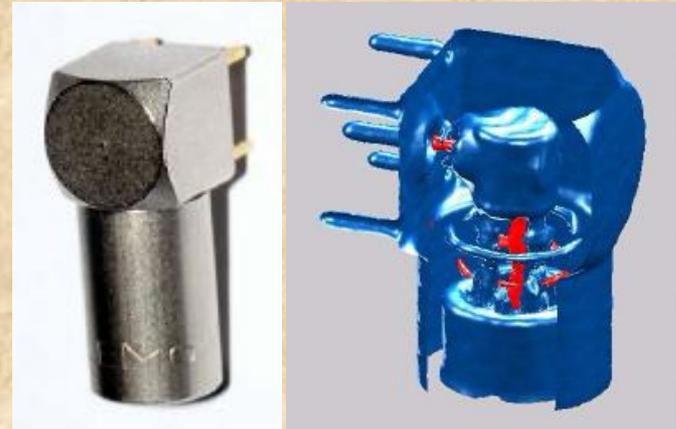
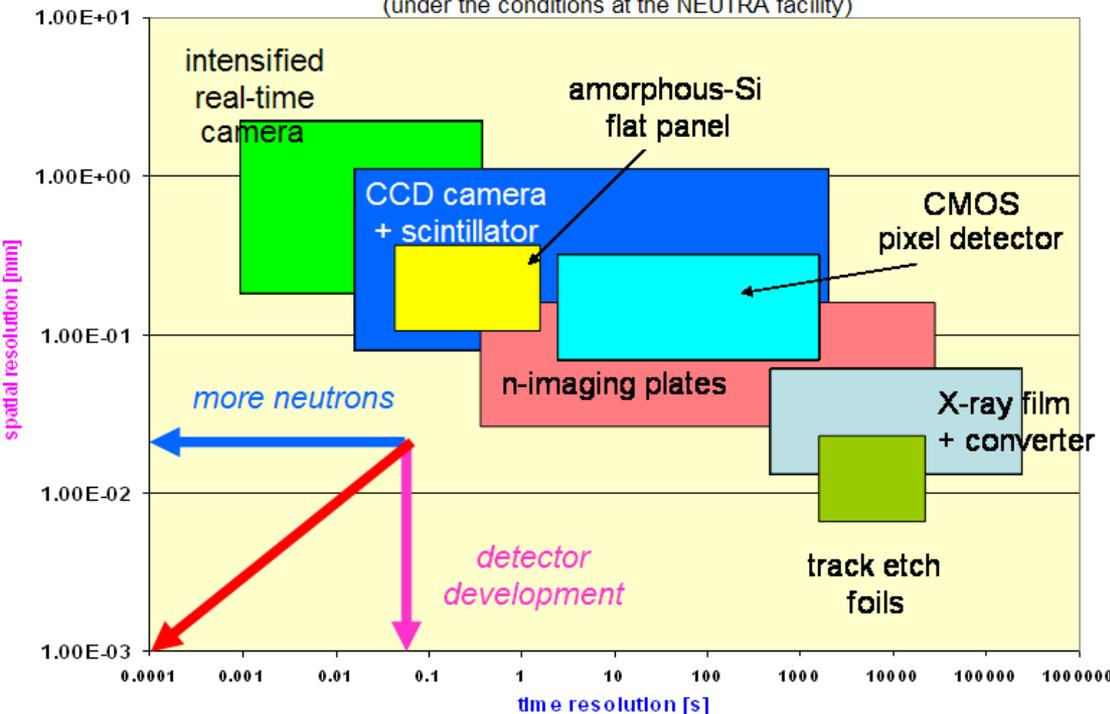
# Детекторы фотографического типа

1. Image plate
2. Сцинтилляционные детекторы + CCD readout
- ...

## Томография, нейтронография

### Detectors for Neutron Imaging

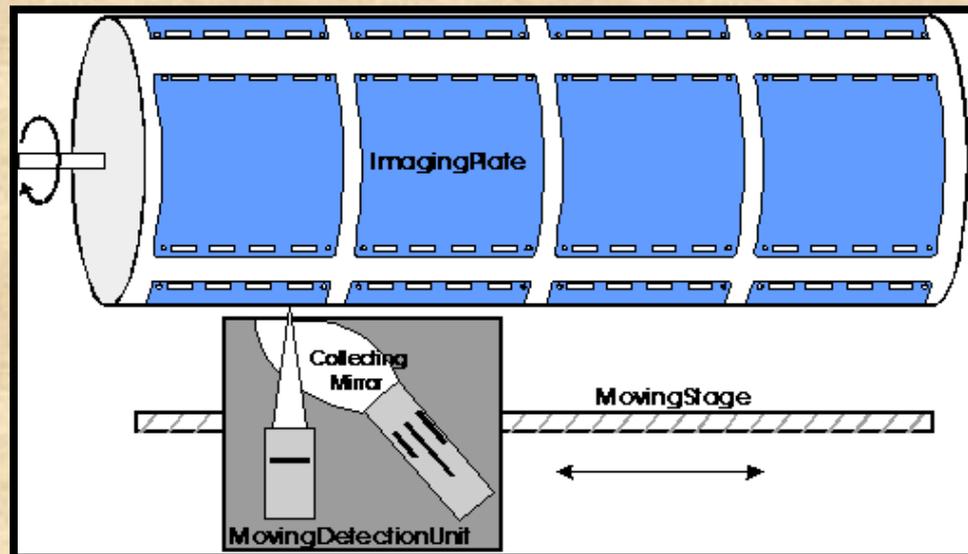
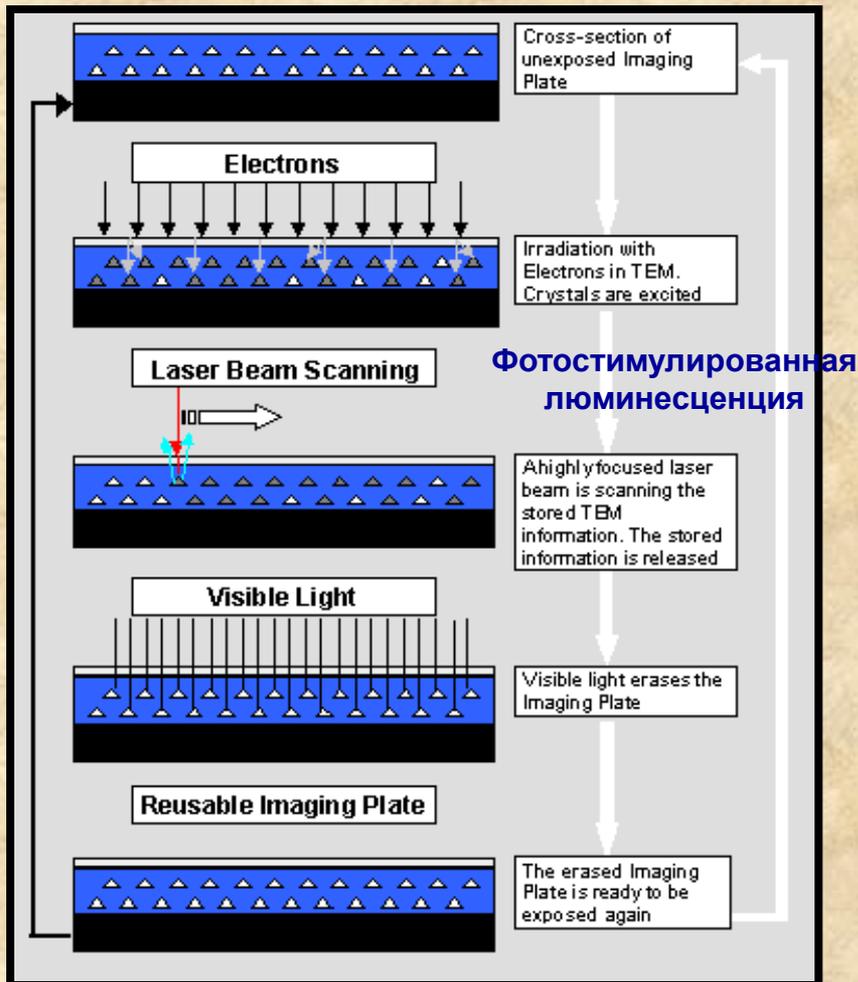
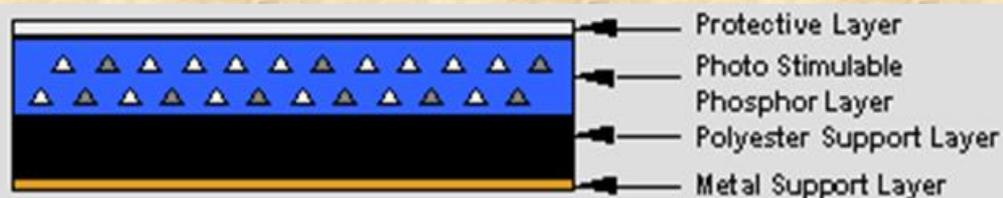
(under the conditions at the NEUTRA facility)



- Работа без монохроматизации пучка – высокие загрузки
- Простая электроника
- простр. разрешение ограничено типом конвертера и величиной пробегов частиц (< 0.1 мм)
- возможность покрытия больших площадей регистрации

# Image plates

IP: материал конвертора кристаллы  $Gd_2O_3$  + запоминающий люминофор - галоид  $BaFBr:Eu^{2+}$   
 (долгое сохранение метастабильного состояния часы и дни)



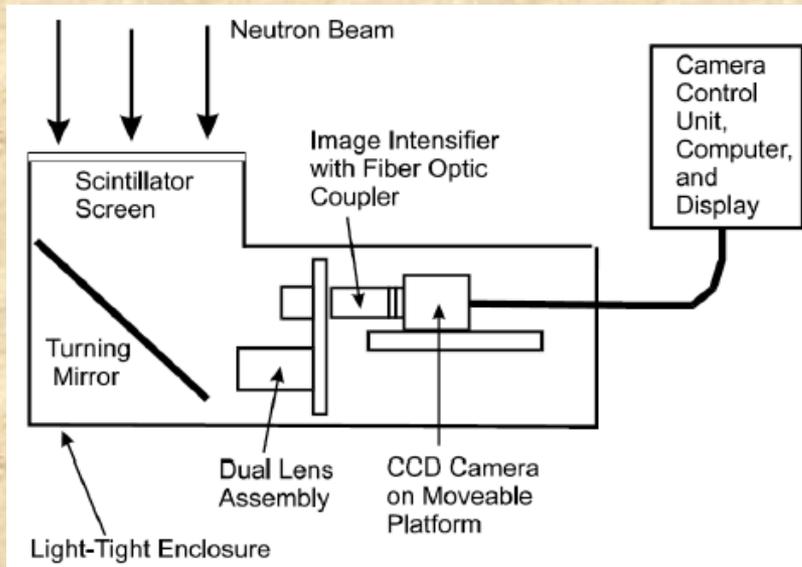
## VIVALDI – LAUE diffractometer:

Вертикальный цилиндр:  $r=160\text{мм}$ ,  $L=400\text{ мм}$ ,  $800 \times 400\text{ мм}$

угол захвата: 288 (гориз), 104 (вертик)  
 размер пиксела:  $100\text{мм} \times 100\text{мм}$ ,  $200\text{мм} \times 200\text{мм}$ ,  $400\text{мм} \times 400\text{мм}$

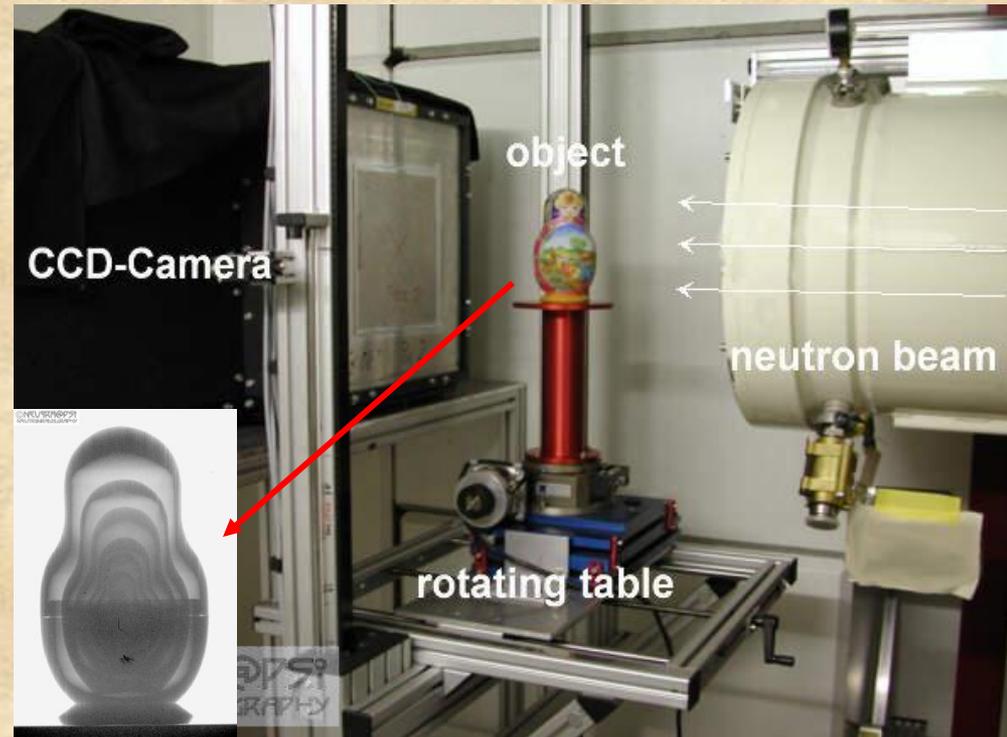
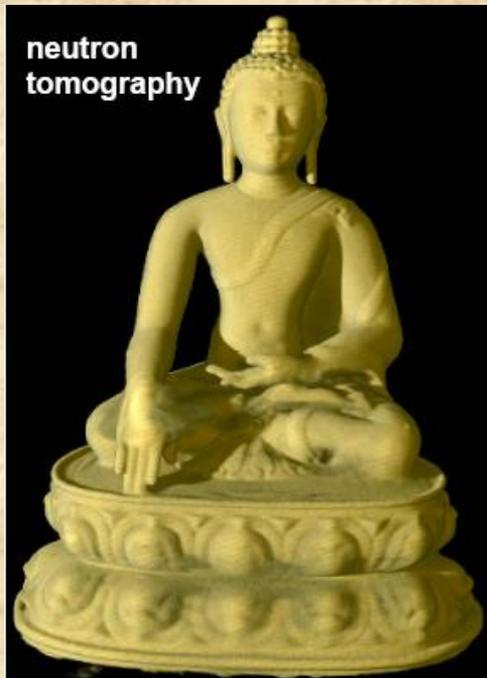
высокая чувствительность к гамма-фону ( $Z_{Gd}$ )  
 низкая эффективность 25% (1.8A)  
 время экспозиции 4 мин

# Сцинтилляционные детекторы + CCD readout



## Томограф NEUTRA, PSI

- Размер образца 4x4 – 30x30 см
- Динамический диапазон до 16 бит
- пиксель 0.02 – 0.15 мм
- число пикселей 1024 до 2048 (X, Y)
- Сигнал/шум 120 (CCD -20 -50 С)
- время экспозиции 2-60 сек/кадр
- время считывания 2 сек/кадр



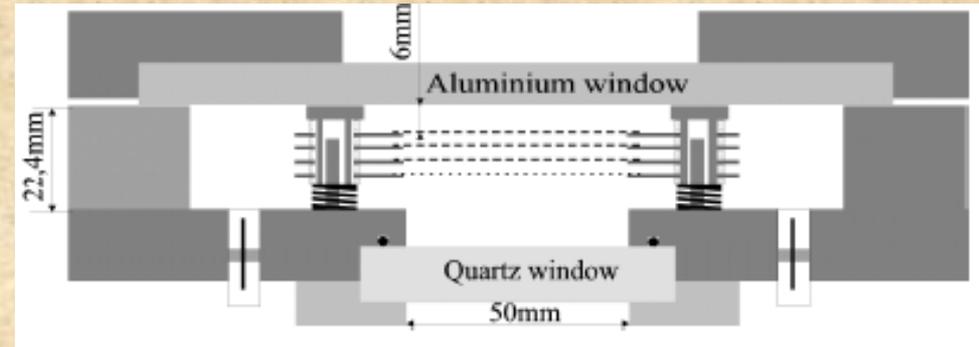
# Заключение

1. Основная тенденция развития детекторов нейтронов – гибридные конструкции, которые сочетают в себе достоинства различных типов детекторов и компенсируют их недостатки
2. При этом ключевую роль играют появление новых материалов, разработка новых технологий для массового производства микроструктур с требуемыми характеристиками
3. Запуск и эксплуатация новых высокопоточных источников является стимулирующим фактором для разработки новых детекторов
4. Объемы производства детекторов нейтронов заметно ниже объемов производства детекторов ионизирующего излучения. Тем не менее, широкое применение идей и технологий разработанных для детекторов ионизирующего излучения в различных областях исследований вносят большой вклад в развитие техники нейтронных детекторов

# Газовые сцинтилляторы

## GEM+CCD ( $^3\text{He}+\text{CF}_4$ )

Lyman-Alpha Neutron Detector (LAND) – сигналом служит характеристическое излучение водорода (121.6 нм) при ионизации газа протоном и тритоном. Добавка инертных газов (Xe/Kr) может увеличить интенсивность сигнала в 1000 раз.

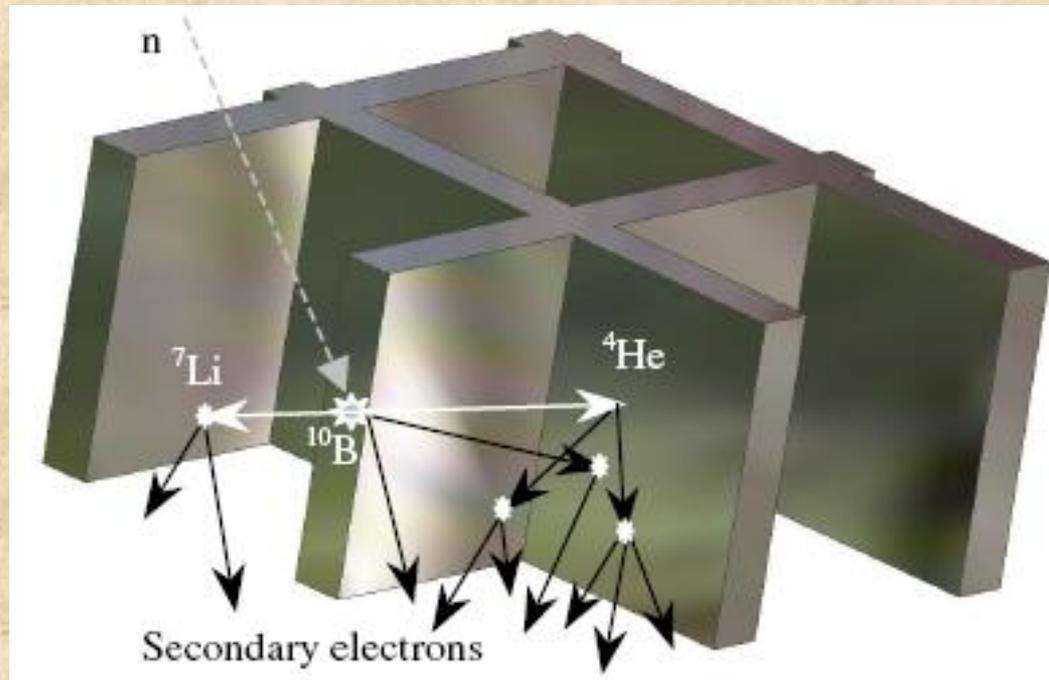
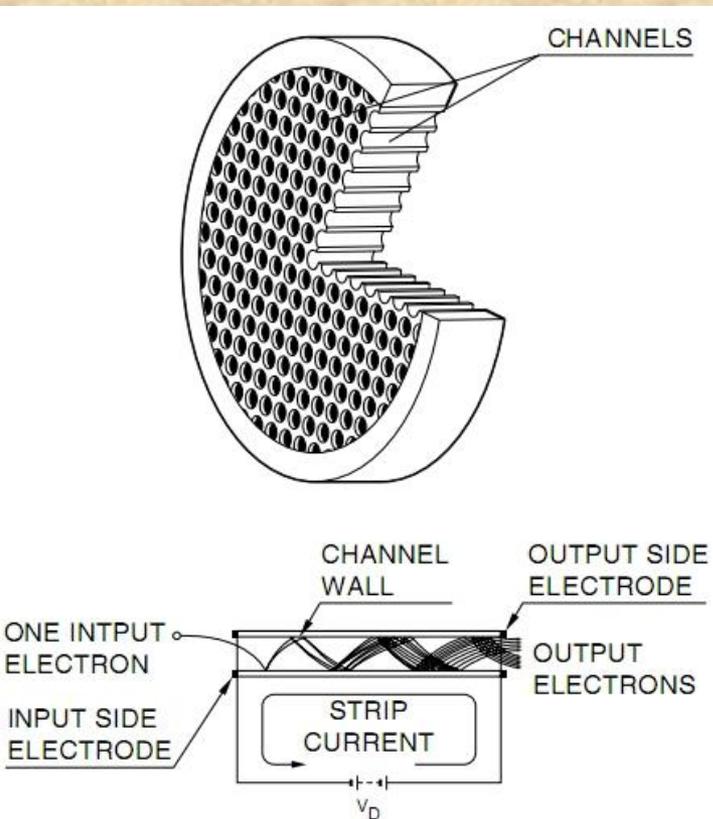


# MCP – Micro Channel Plates

**MCP – вторичноэмиссионный умножитель электронов**

**Применяются для регистрации ионов, электронов, рентг. излучение, UV**

- + Расчетная эффективность до 80%
- + FWHM – размер канала (10-25  $\mu\text{m}$ )
- +  $\Delta t < 1\text{ns}$
- + GAIN  $\sim 1\text{E}4$  и выше
- + угловая зависимость эффективности (коллимация пучка)



**Readout:**

- 1) strips - LC delay line, pixel ... fast
- 2) Phosphor screen + CCD slow

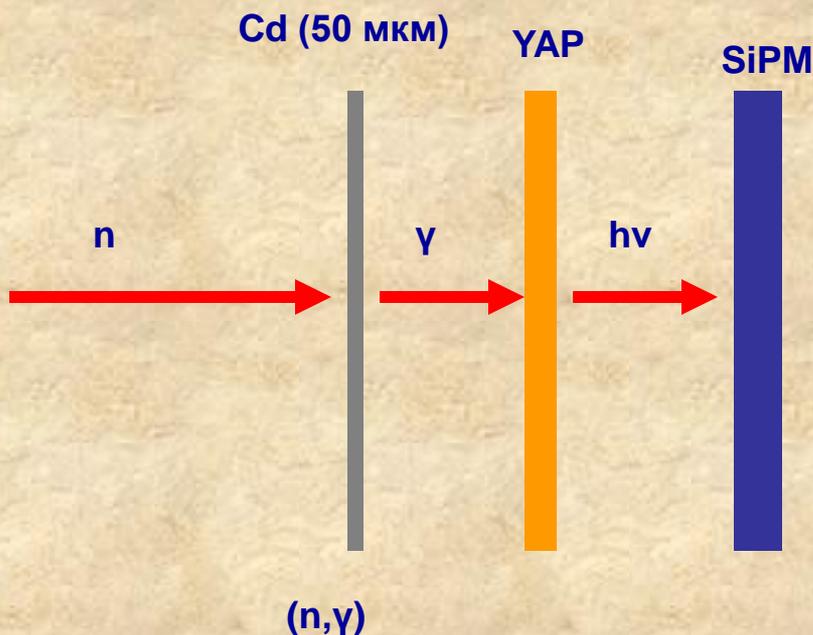
**Hamamatsu Corp.**  
**Del Mar Photonics**  
**Burle Industries**  
**PHOTONIS Group**  
**North Inst.Tech.Indust.Group**  
**ООО ВТЦ «Баспик»**

# Cd-YAP-SiPM detector

YAP Crystal (Yttrium Aluminium Perovskite) –  
сцинтиллятор с характеристическим  
временем высвечивания (decay time) 27нс  
(350нм)

SiPM – матрица лавинных фотодиодов, работающий в  
Гейгеровском режиме

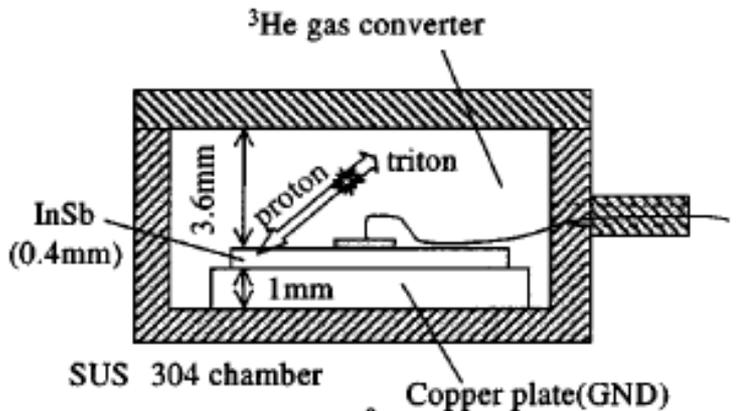
- + Динамический диапазон от 1 фотона (400нм)
- + Размер 1x1 - 6x6 (ммхмм)
- + Пиксел 25-100 мкм
- +  $\Delta t < 1$ нс
- + GAIN  $\sim 1E6$
- + Стабильная работа в магн. полях до 15Тл
- + Невысокая стоимость (см. PMT)



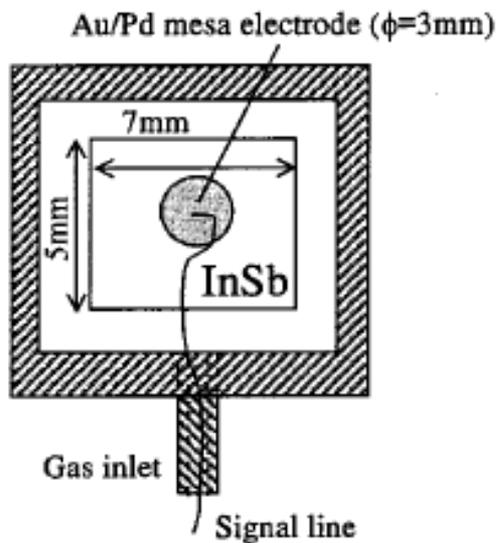
- + Постоянная эффективность в широком диапазоне (1-200 мэВ)
- + Высокое врем. разрешение
- + Стабильная работа в магн. полях до 15Тл

- Низкая эффективность
- Низкое соотношение сигнал/фон

# Криогенный полупроводниковый детектор

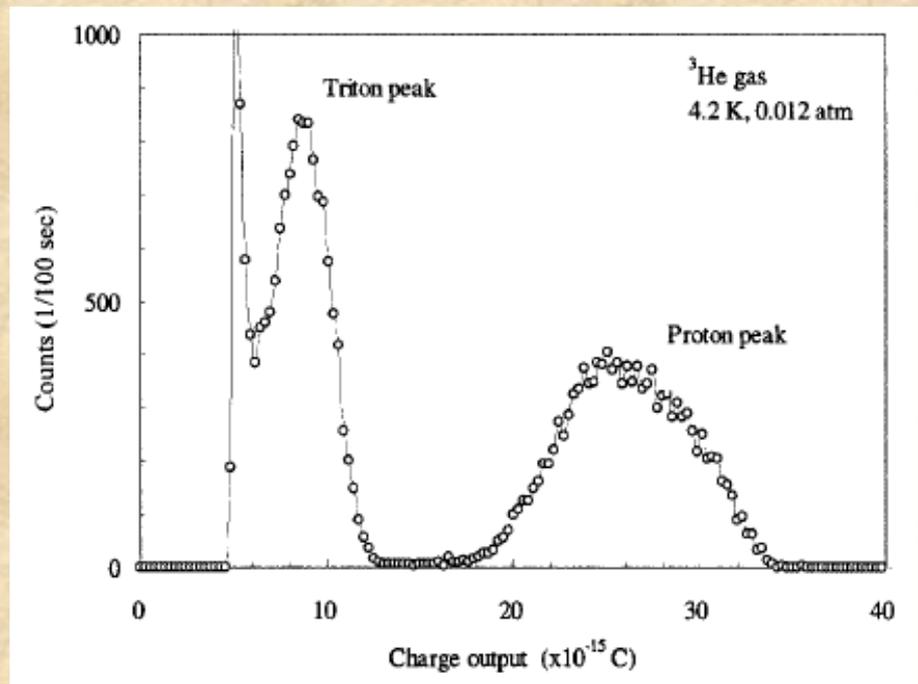


neutrons  
(a) side view



(b) top view

- Полупроводник InSb (5мм x 7мм x 0.4мм)
- конвертор He-3: 4.2К, давление до 1.5 атм (160 атм при 300К)
- временное разрешение 80 нс
- пространственное разрешение 60мкм
- эффективность 20% (1.8А)



- Амплитудный спектр  $P(\text{He-3})=0.012$  атм, 4.2К

# MILAND project (MWPC, MSGC, SGPC) for SXD&Reflect

- MWPC: 320ммx320мм, 15 бар He<sub>3</sub>/CF<sub>4</sub>
- Макс. скорость счета ~1 МГц (10%)
- Простр. разрешение ~1.2 мм
- Эффективность >70% (2.5A)
- n/γ: 10<sup>-8</sup> (Co-60)
- frontend: <1 мкс
- 640-канальный параллельный readout (ASIC)

2 режима работы детектора:

- 1) Приоритет эффективности
- 2) Приоритет простр. разрешения

