

# **Лаборатория мезоатомов в 2004**

**Ю.М.Иванов**

# Сотрудники лаборатории мезоатомов

**С.А.Вавилов  
Л.А.Вайшнене  
Н.П.Волков  
Ю.А.Гавриков  
А.С.Денисов  
В.В.Иванов  
Ю.М.Иванов  
А.А.Котов  
А.В.Кравцов  
Л.П.Лапина  
П.М.Левченко**

**Д.Л.Николаев  
Л.Ф.Павлова  
А.А.Петрунин  
Т.Н.Савченкова  
В.В.Скоробогатов  
В.М.Суворов  
В.В.Сулимов  
С.И.Труш  
А.И.Щетковский  
Л.А.Щипунов**

# Направления работы

## n CMS

- Завершение проекта создания мюонных камер CMS

## n Канализирование

- Вывод протонного пучка высокой интенсивности в ИФВЭ
- Создание прототипа кристаллического ондулятора

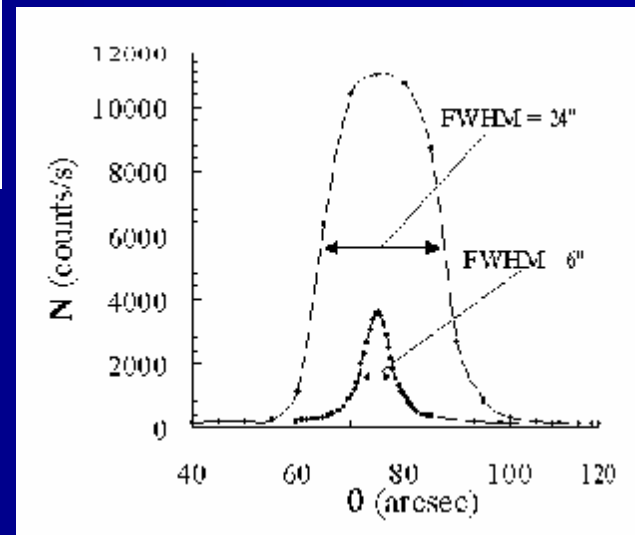
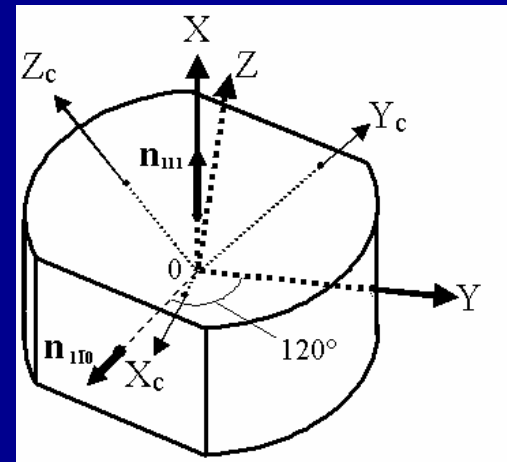
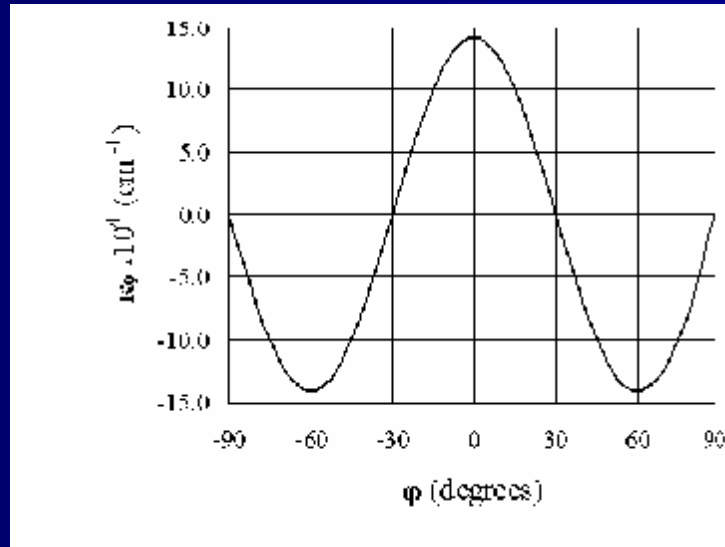
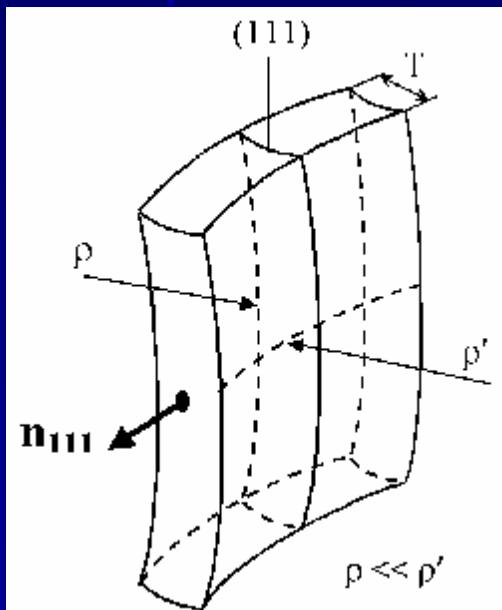
## n Мезоатомы

- Разработка многоэлементного полупроводникового детектора

## n Ядерные реакции

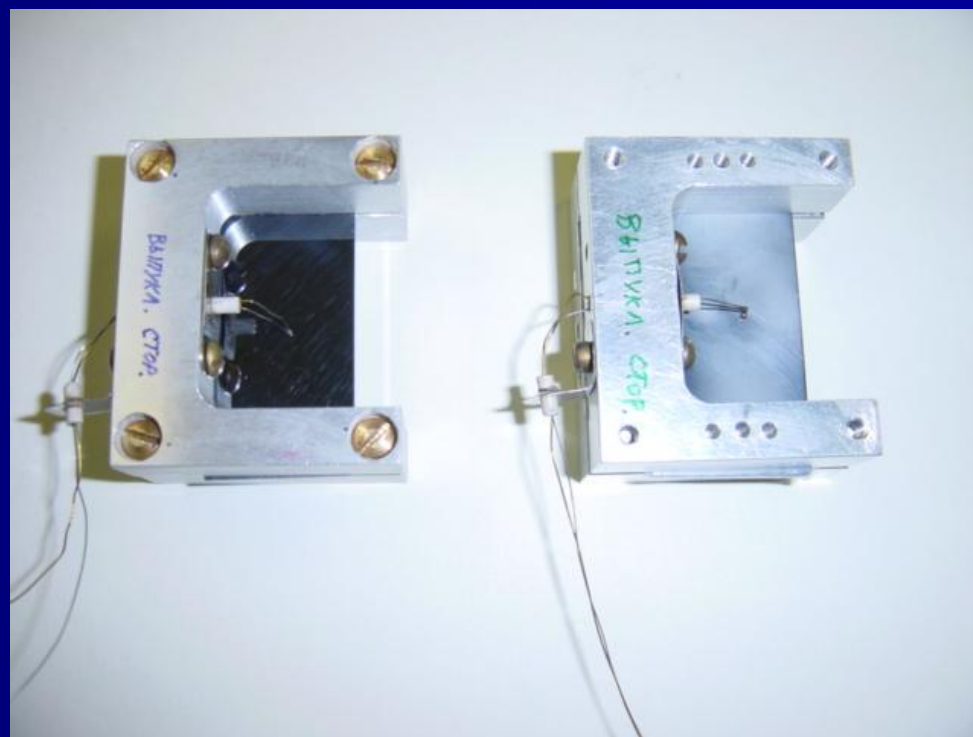
- Исследование деления тяжелых ядер протонами и нейтронами

# Упругоквазимозаичный эффект в кремнии



# Кристаллы для вывода протонного пучка высокой интенсивности

Плоскость (111)  
Длина по пучку 2.65 мм  
Изгиб 400 мкрад

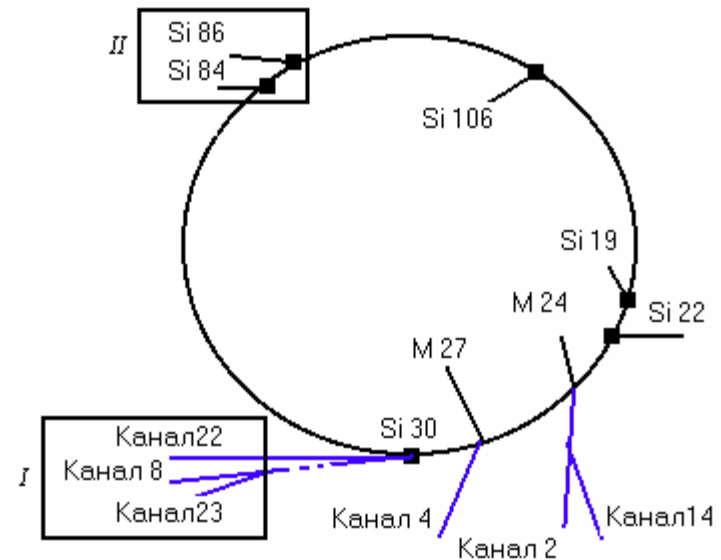


# Схема пучков на У-70

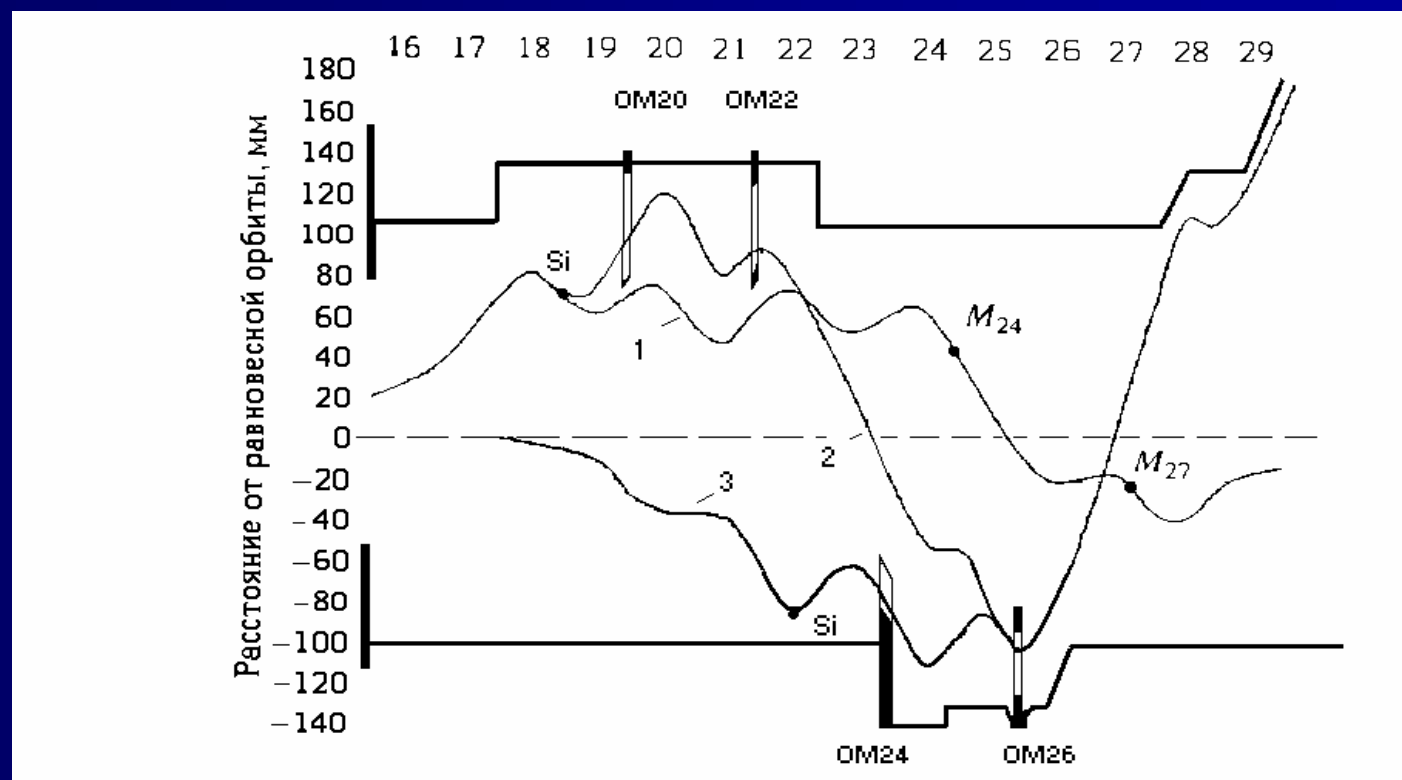
Si19, Si22, Si106 – кристаллические станции для вывода пучка

Si30 – кристаллическая станция для отбора от выведенного в направлении канала 8 пучка около  $10^7$  протонов и отклонения их в канал 22

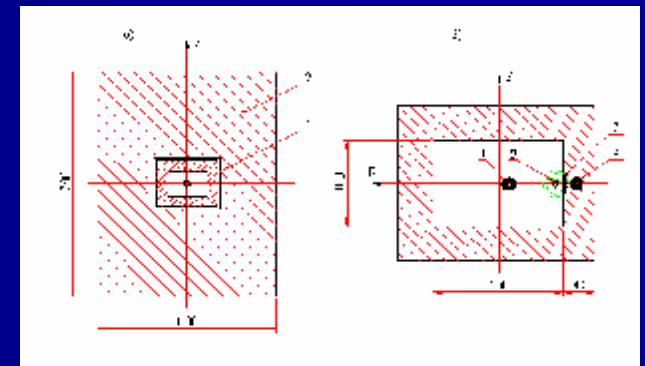
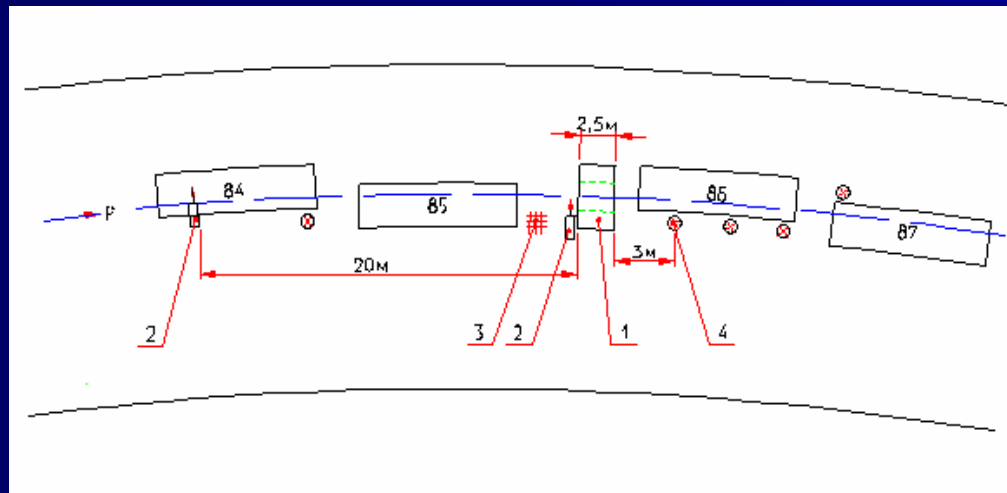
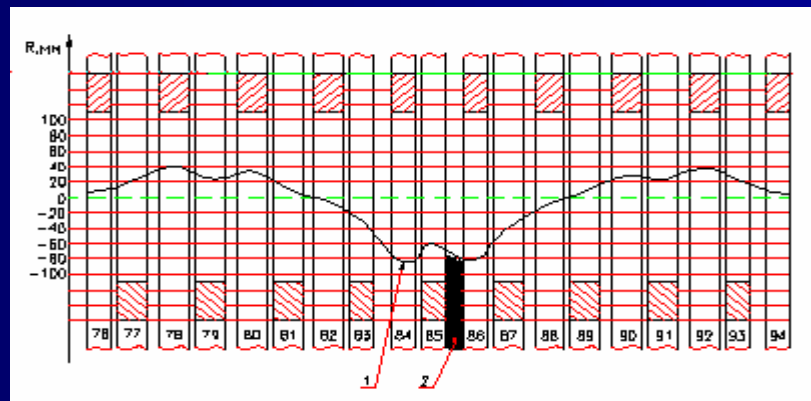
Si84, Si86 – кристаллические станции для испытания кристаллов



# Схемы вывода протонного пучка с помощью изогнутых кристаллов



# Стенд для исследования кристаллов вблизи поглотителя пучка





# Кристаллическая станция



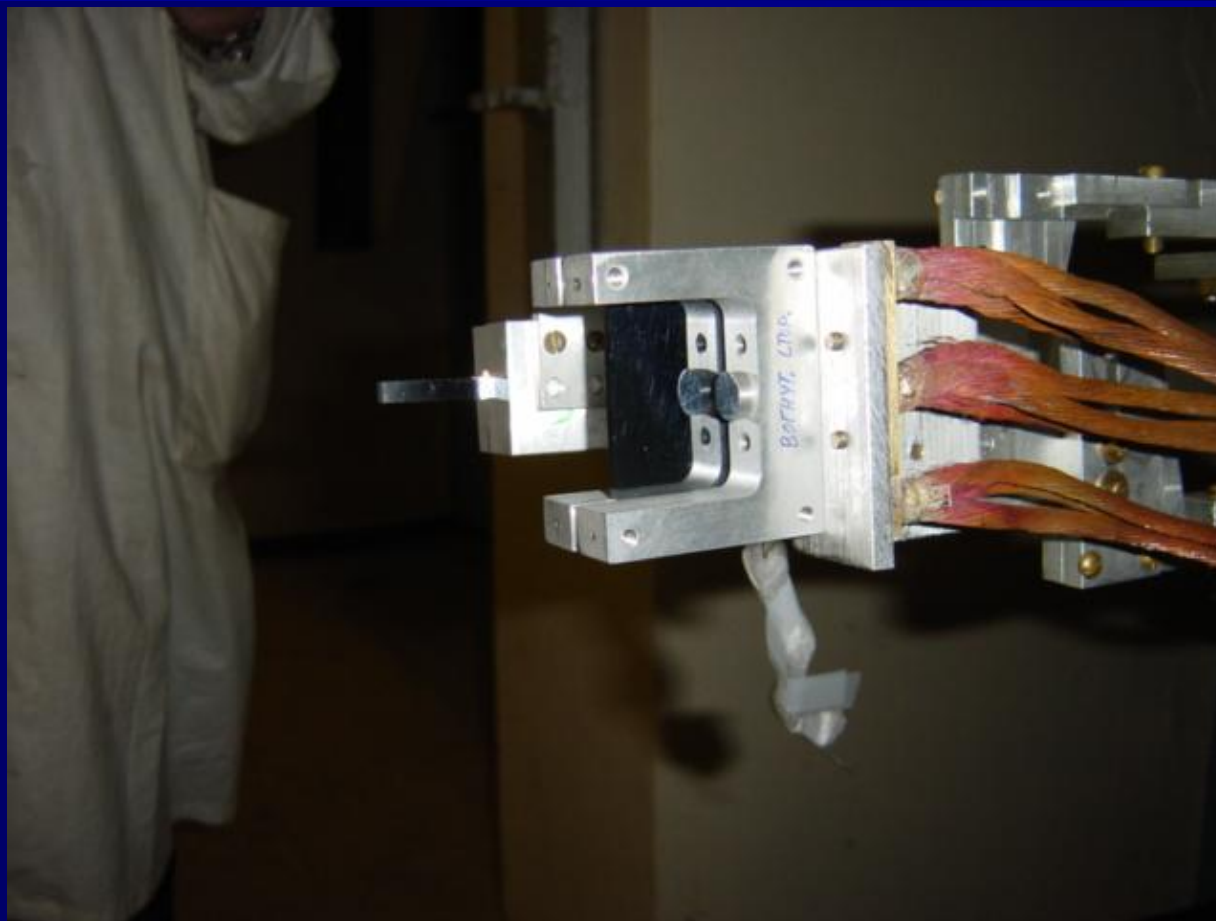
# Кристаллическая станция



# Установка кристаллов



# Установка кристаллов



# **Вывод протонного пучка высокой интенсивности кристаллом с упругой квазимозаикой**

**Пучок в кольце У-70**       **$5.5 \cdot 10^{12}$  протон/цикл**

**Выведенный пучок**       **$4.0 \cdot 10^{12}$  протон/цикл**

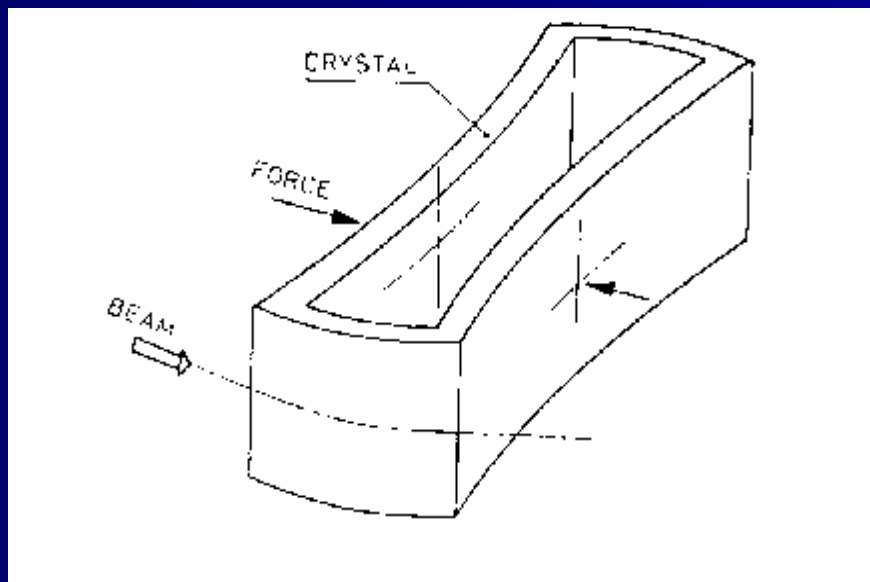
**Эффективность вывода**      **70%**



# Планы

- n Подготовка эксперимента по выводу протонов из SPS в CERN
- n Коллимация и вывод на LHC ?
- n Отклонение дифракционных протонов в TOTEM ?

# Создание O-образных кристаллов для У-70



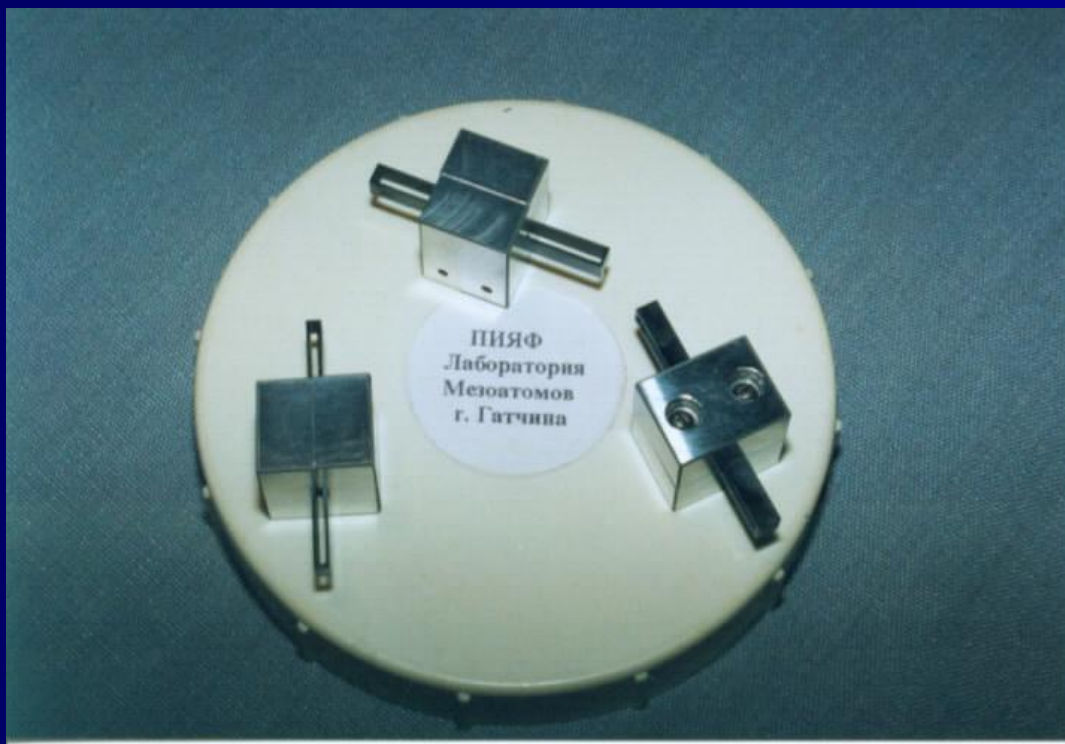
Типичные размеры:  
5 x 5 x 50 мм<sup>3</sup>

# Требования к кристаллу

- n Высота рабочей области ~ 5 мм
- n Ширина рабочей области ~ 1 мм
- n Длина по пучку 3-5 мм
- n Толщина нарушенного слоя ~ 1 мкм
- n Точность ориентации ~ 1
- n Угол изгиба < 1.5 мрад



# Первые О-кристаллы для опытов на У-70 в 1998-1999 гг.



Интерференционная картина от изогнутого торца О-кристалла



# Основные этапы работы над O-кристаллами

- n Январь-июнь 2003 – изготовление параллелепипеда из кремния
  - Вырезка ориентированного параллелепипеда из слитка
  - Шлифовка и ориентировка 6 граней с точностью  $< 1'$
  - Глубокая полировка 6 граней с плоскостностью  $< 2$  колец
- n Август-октябрь 2003 – разрезка параллелепипеда и пробное изготовление нескольких O-кристаллов
- n Ноябрь 2003-август 2004 – шлифовка и полировка заготовок, выборка пазов, ручная доводка

# Изготовление параллелепипеда из кремния



# Изготовление прецизионного отрезного станка





# Обработка граней, обмер деталей



# Выборка паза



# Изгиб кристаллов



# Проверка кристаллов на рентгеновском дифрактометре





# Готовые O-кристаллы



# Создание прототипа кристаллического ондулятора

- n University of Ferrara, Italy

- n LNF INFN, Frascati, Italy

- n IHEP, Protvino, Russia

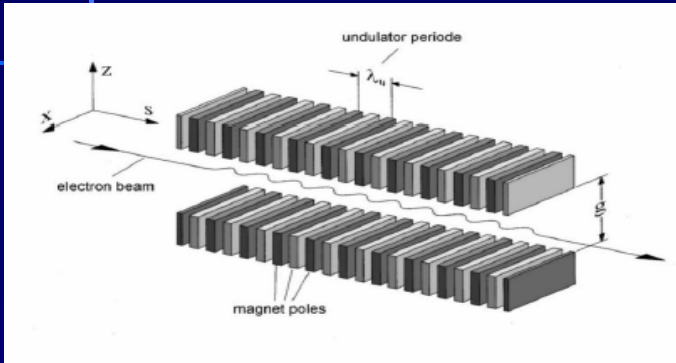
- n PNPI, S-Petersburg, Russia

  - Yu.M.Ivanov, A.A.Petrinin, V.V.Skorobogatov,  
L.P.Lapina, V.V.Ivanov

# Goals of research

- n To learn preparing crystals with regular periodical deformations
- n To observe and study undulator radiation from periodically bent crystals
- n To develop compact bright source of hard X-rays for 0.1-1.0 MeV range

# Generation of undulator radiation with magnets

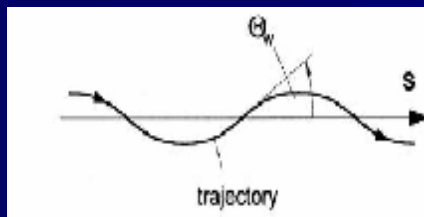


The maximum trajectory angle is

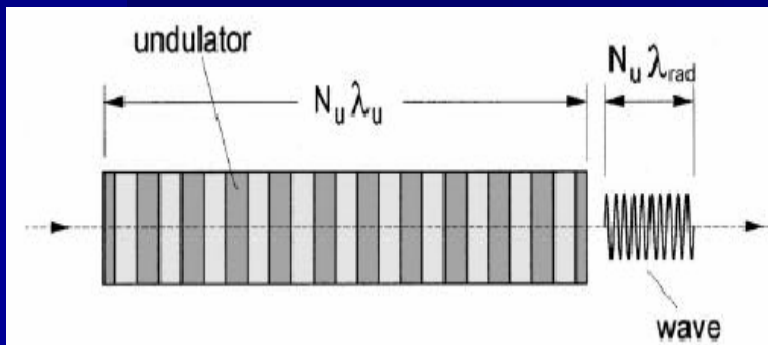
$$\Theta_w = x'_{\max} = \frac{1}{\gamma} \frac{\lambda_u e \tilde{B}}{2\pi m_0 c} \quad \text{or}$$

$$\Theta_w = \frac{K}{\gamma}$$

where K is wiggler or undulator parameter



$$K = \frac{\lambda_u e \tilde{B}}{2\pi m_0 c}$$



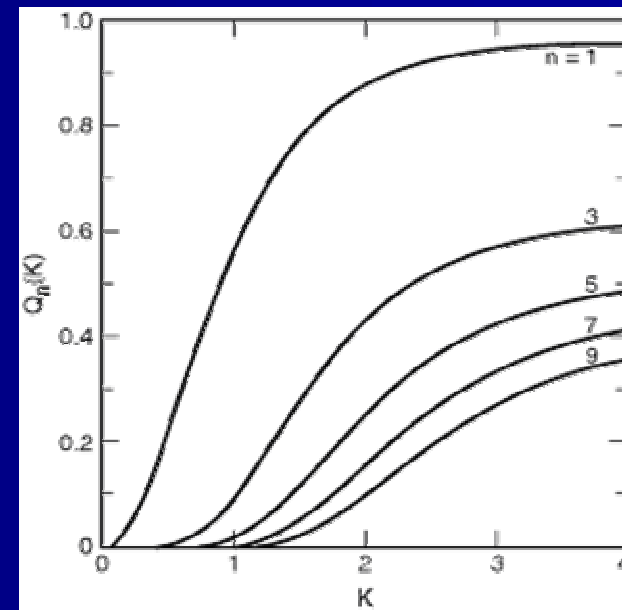
**undulator**     if  $K \leq 1$  i.e.  $\Theta_w \leq 1/\gamma$   
**wiggler**        if  $K > 1$  i.e.  $\Theta_w > 1/\gamma$

# Undulator radiation

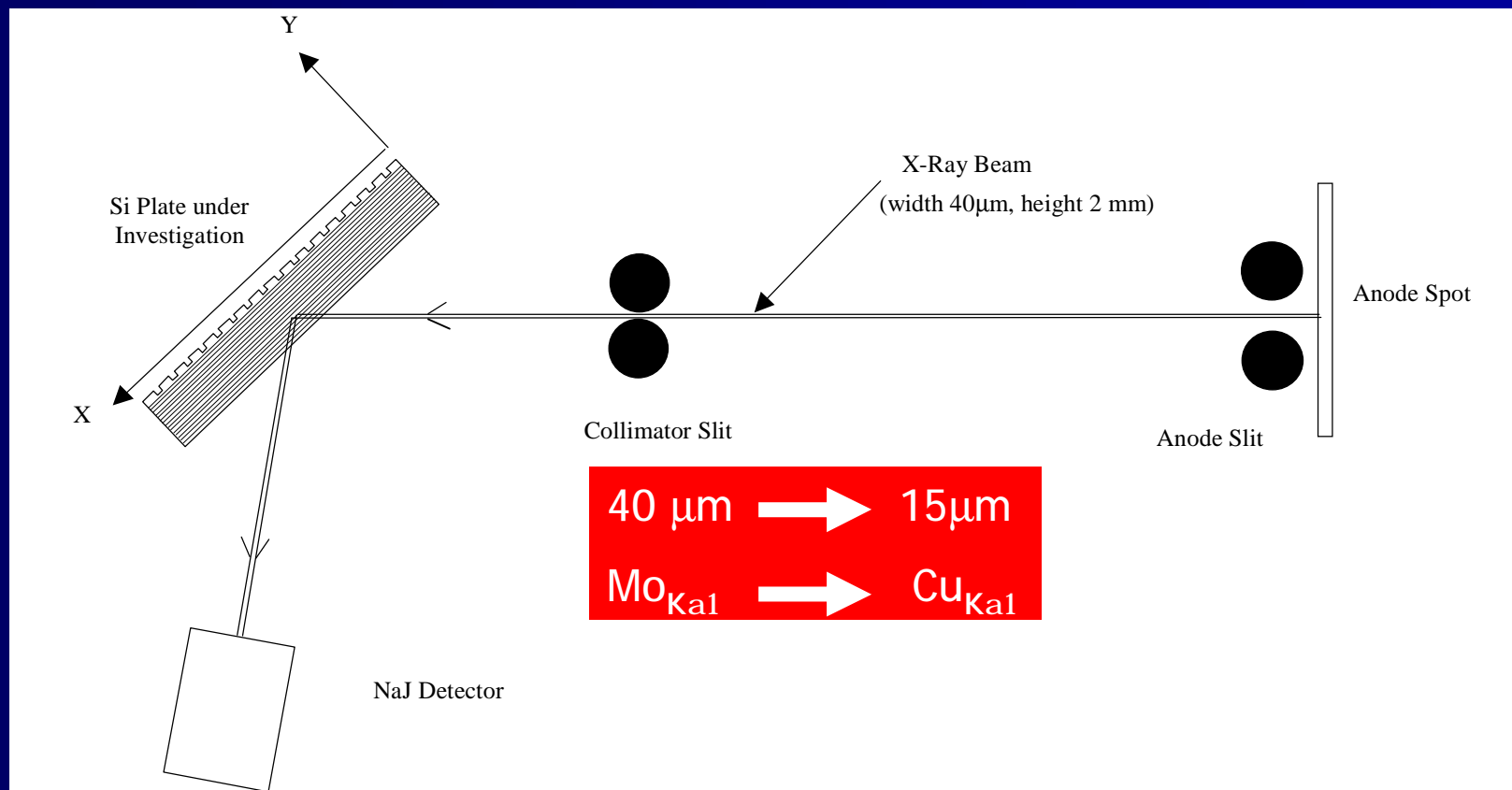
$$\lambda_1[\text{\AA}] = \frac{13.056 \lambda_u[\text{cm}]}{E^2[\text{GeV}]} (1 + K^2/2)$$

$$\sigma_{\gamma'} \cong \sqrt{\frac{\lambda_n}{L}} = \frac{1}{\gamma} \sqrt{\frac{(1 + K^2/2)}{2Nn}}$$

$$\dot{S}_n^{\gamma} = 1.431 \times 10^{14} N Q_n I[A]$$

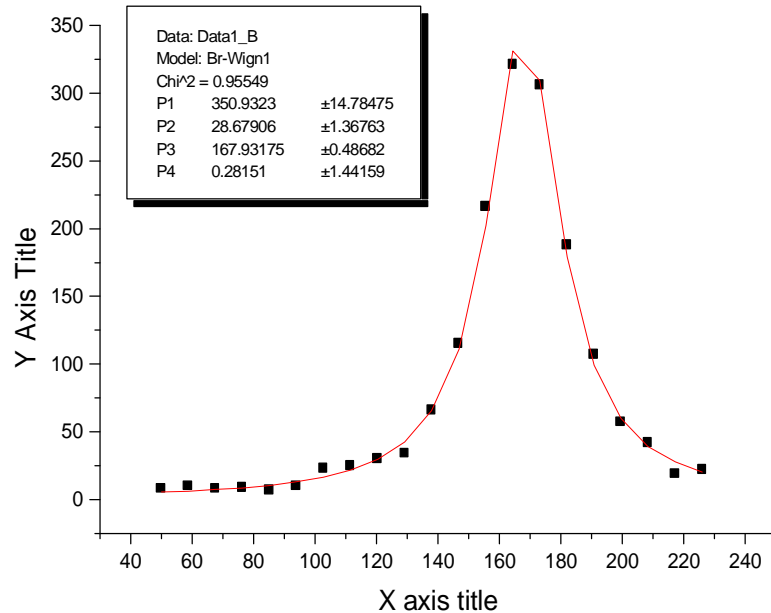


# Characterisation of samples with X-rays: scheme

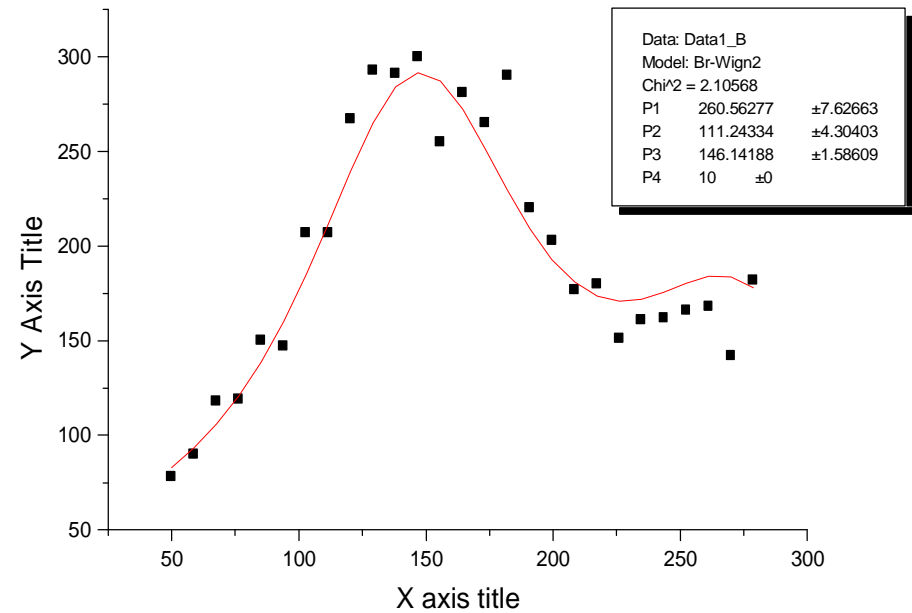


# Characterisation with X-rays: typical diffraction peaks

Diffraction peak from  
smooth surface



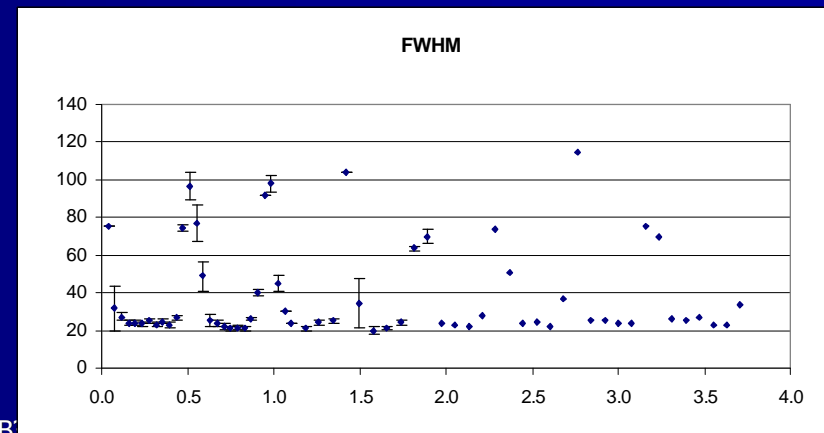
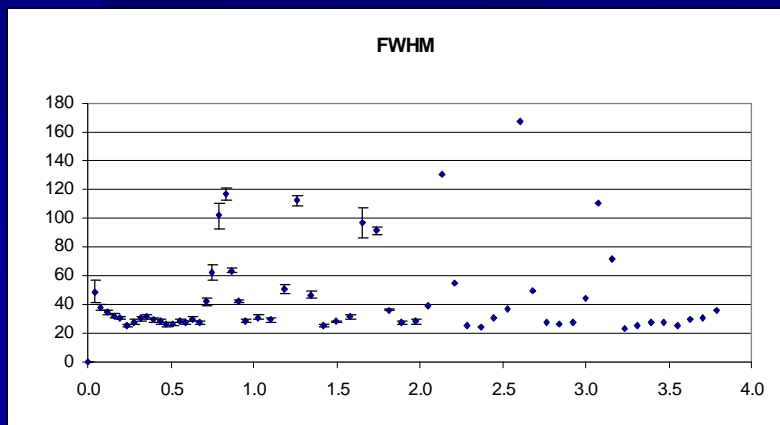
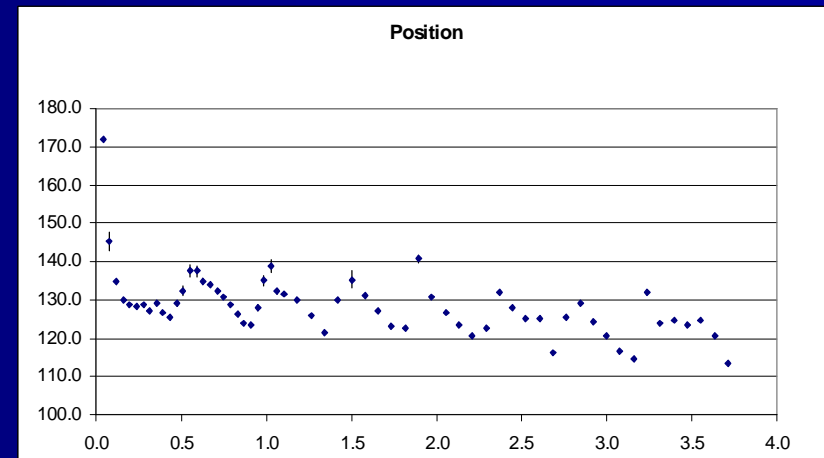
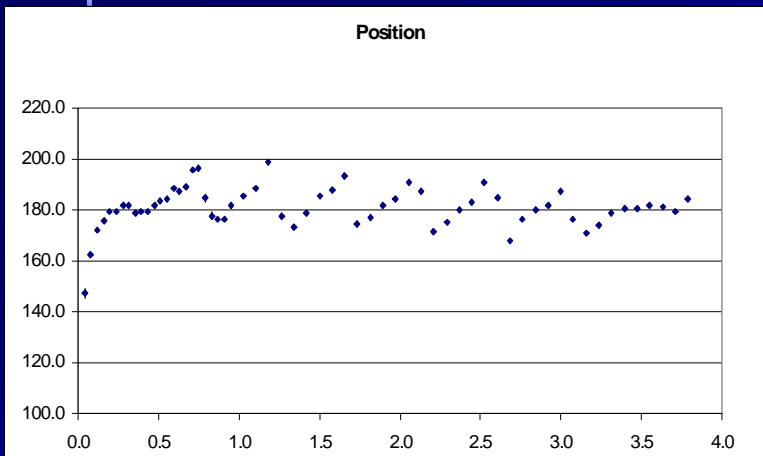
Diffraction peak from  
groove



# Characterisation with X-rays: 6/7-groove sample

6-groove side

7-groove side

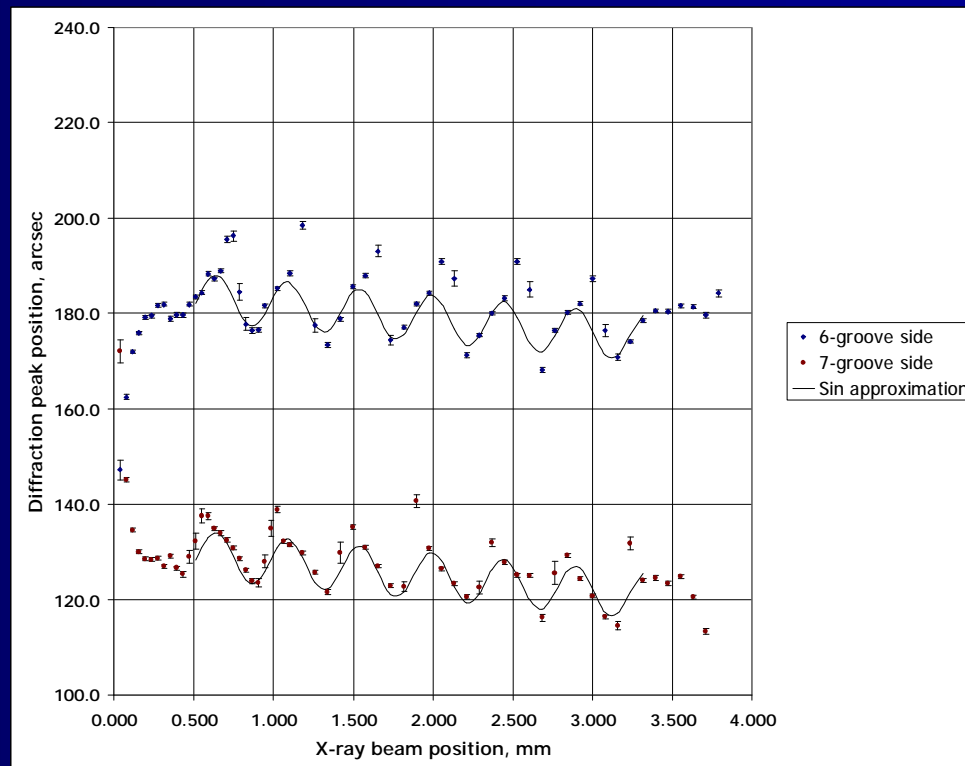




# Characterisation with X-rays: 6/7-groove sample

Fit with function:

$$\text{const} - X * 11'' / 3.6\text{mm} + 5'' * \text{SIN}(2\pi(X - 0.53\text{mm}) / 0.45\text{mm})$$



# Characterisation with X-rays: 6/7-groove sample

- n Amplitude of SIN function gives a maximal particle trajectory angle  $\Theta$  due to periodical bending of crystal
- n Product of the  $\theta$  and relativistic factor  $\gamma$  gives an undulator factor  $K$
- n Measured 6/7-groove sample has  $K \sim 0.5$  for 10 GeV positrons

# Estimated parameters of undulator radiation from 6/7-groove sample

n Energy of first harmonics  $\varepsilon_1 \sim 1.7 \text{ MeV}$

n Relative bandwidth  $\Delta\omega/\omega \sim 16\%$

n Half-width of angular distribution  $\sim 3''$

n Flux in central cone  
phot/positron  $\sim 0.04$

# Установка для исследования излучения кристаллов



# Разработка многоэлементного полупроводникового детектора

Участники работы:

n ЛМА, ОРЭ, ОПЯД ОНИ, КО ПИЯФ, «Позитрон»

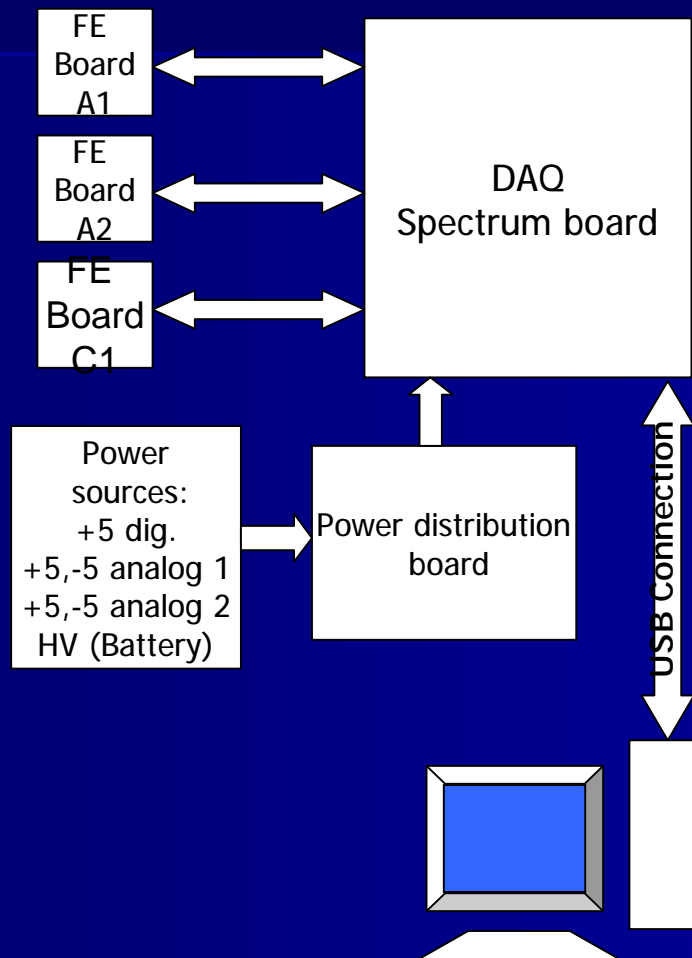
Статус работы:

n Изготовлен CdTe со стрипами 50 мкм

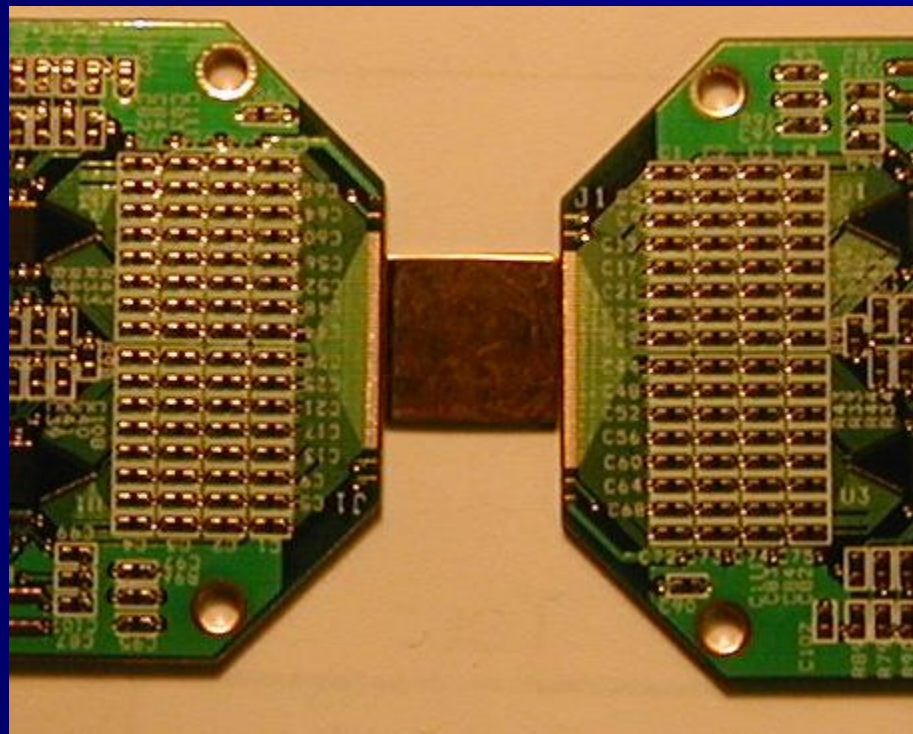
n Закончено проектирование электроники

n В основном закуплены компоненты

# Структурная схема электроники многоэлементного детектора



# CdTe детектор и фронт-ЭНД платы



# Публикации

**В.И.Котов, А.Г.Афонин, В.Т.Баранов, В.М.Бирюков, А.А.Кардаш, В.А.Маишеев, В.И.Терехов, Е.Ф.Троянов, В.Н.Чепегин, Ю.А.Чесноков (Серпухов, ИФВЭ), Ю.М.Иванов (Гатчина, ПИЯФ), "Вывод пучка протонов из ускорителя ИФВЭ с помощью коротких кристаллов кремния", ЭЧАЯ.**

**Ю.М.Иванов, А.А.Петрунин, В.В.Скоробогатов, "Наблюдение эффекта упругой квазимозаичности в изогнутых монокристаллах кремния", Письма в ЖЭТФ.**