

# Лаборатория редких распадов

## Состав лаборатории

- Гордеев В.А. Зав.лаб. Д.ф.м.н.
- Елкин Ю.В. С.н.с. К.т.н.
- Комаров Е.Н. С.н.с. К.ф.м.н.
- Шеглов Ю.А. С.н.с. К.ф.м.н.
- Ивочкин В.Г. С.н.с.
- Левченко М.Г. Н.с. К.ф.м.н.
- Воробьев С.И. М.н.с.
- Косьяненко С.В. М.н.с.
- Виноградова Л.Л. Ст.лабор.иссл.

# Участие в проектах

1. ФАМИЛОН (ЛЯП ОИЯИ)
2.  $\mu$ SR (ЛЯП ОИЯИ, ПИЯФ)
3. МАП 2 (ПИЯФ)
4. Muon
5. D-ZERO (FNAL)
6. Методические разработки

РОССИЯ

2005

Эксперимент  
ФАМИЛОН

ИЯФ  
С-Петербург

ОИЯИ  
Дубна

ИТЭФ,  
ИШМ,  
МФТИ  
Москва

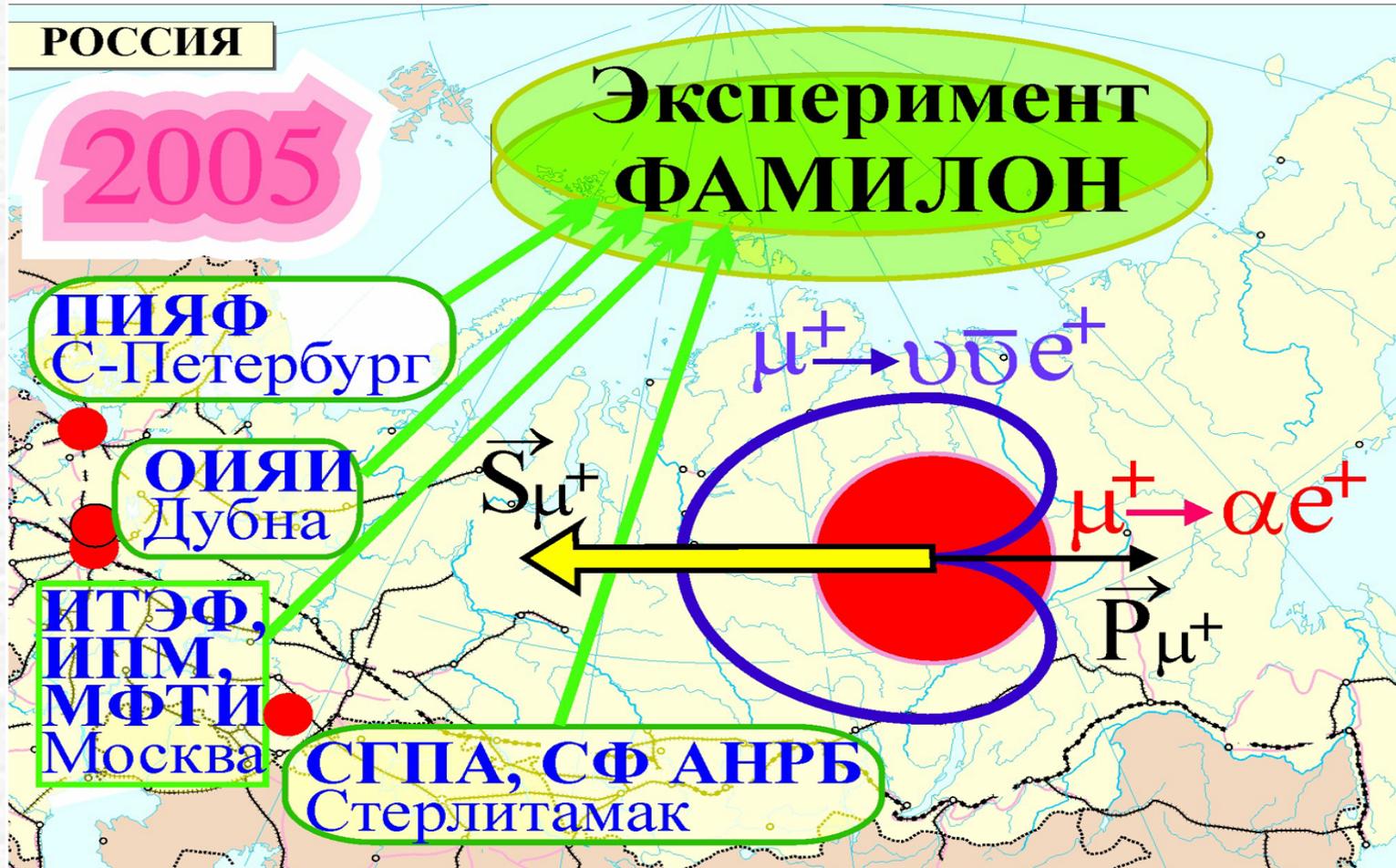
СГПА, СФ АНРБ  
Стерлитамак

$\mu^+ \rightarrow \nu \bar{\nu} e^+$

$\mu^+ \rightarrow \alpha e^+$

$S_{\mu^+}$

$P_{\mu^+}$



$$\mu \rightarrow e + \alpha$$

F.Welczek, Phys.Rev., 1982, **49**,1549.

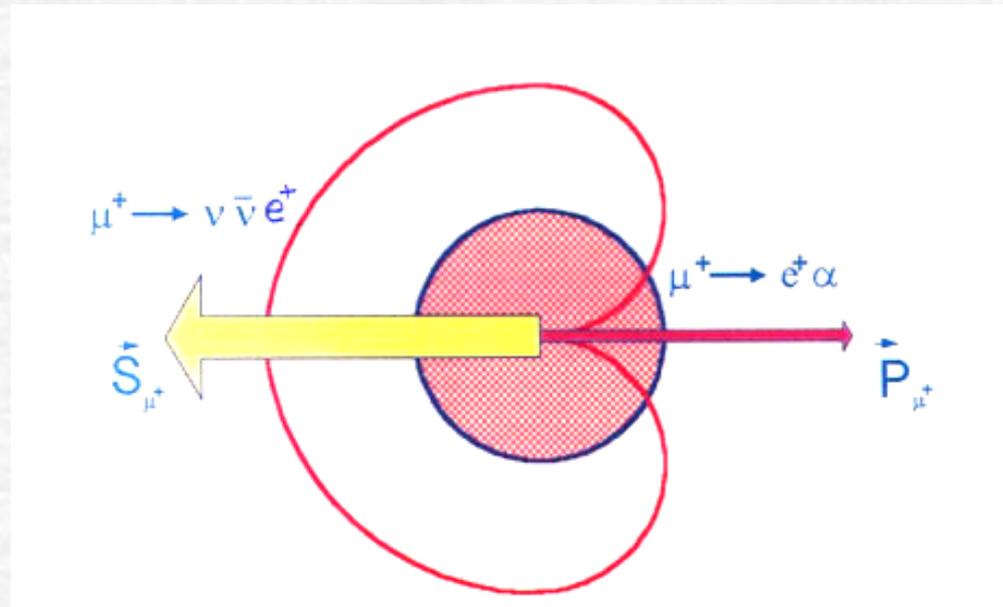
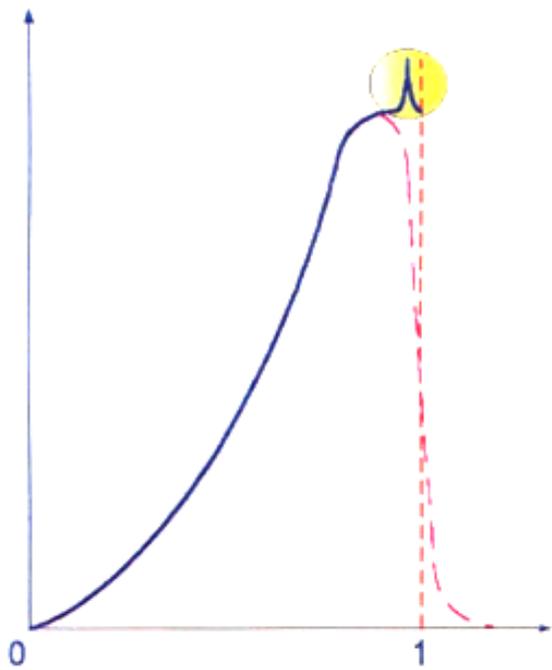
G.Gelmini, S.Nussinov, T.Yanagida, Nucl.Phys.,  
1983, **B219**, 31.

A.Anselm, N.Uraltsev, 1983, ZhETF, **84**, 1961.

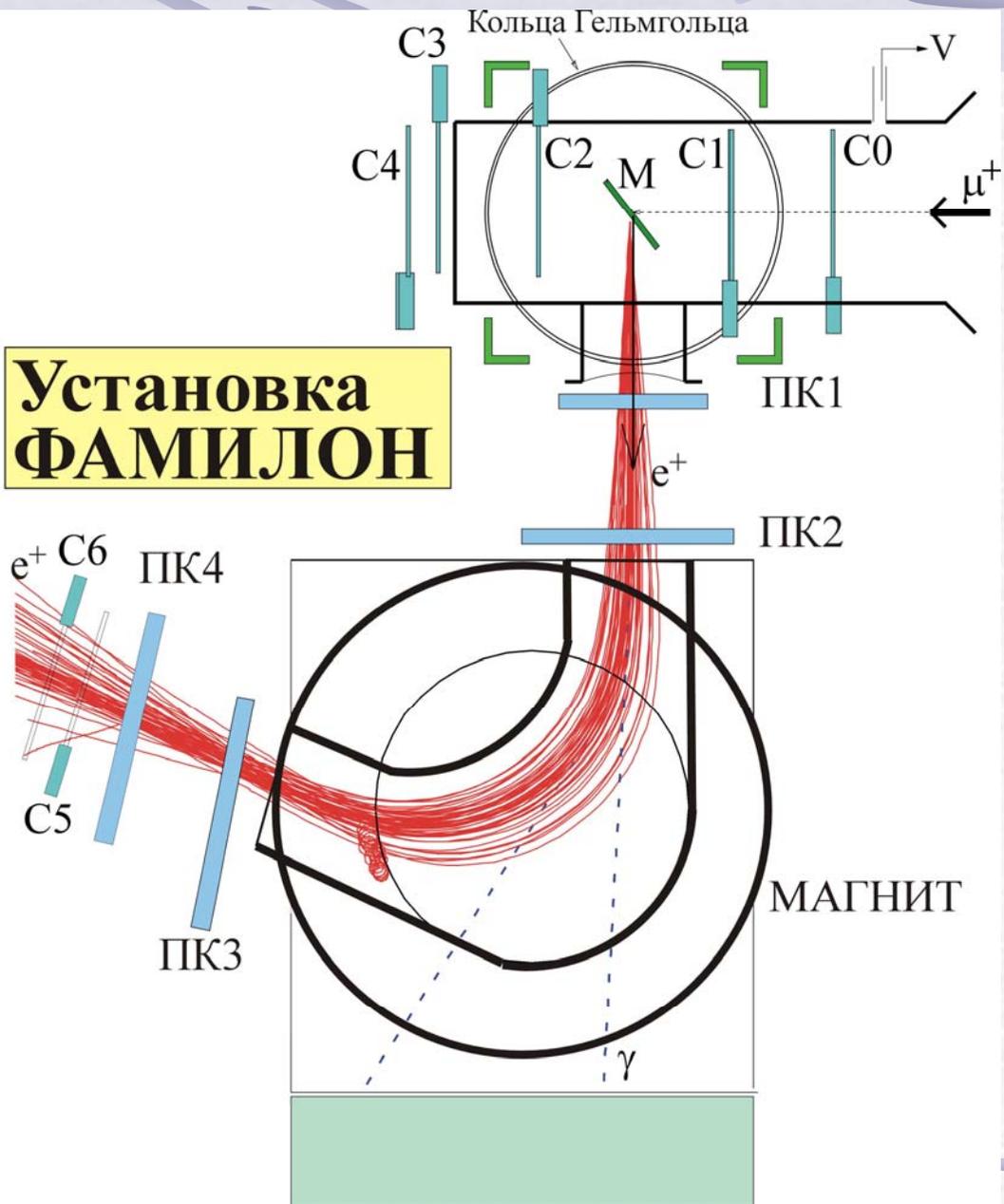
$$\mathbf{s} \rightarrow \mathbf{d} + \alpha$$

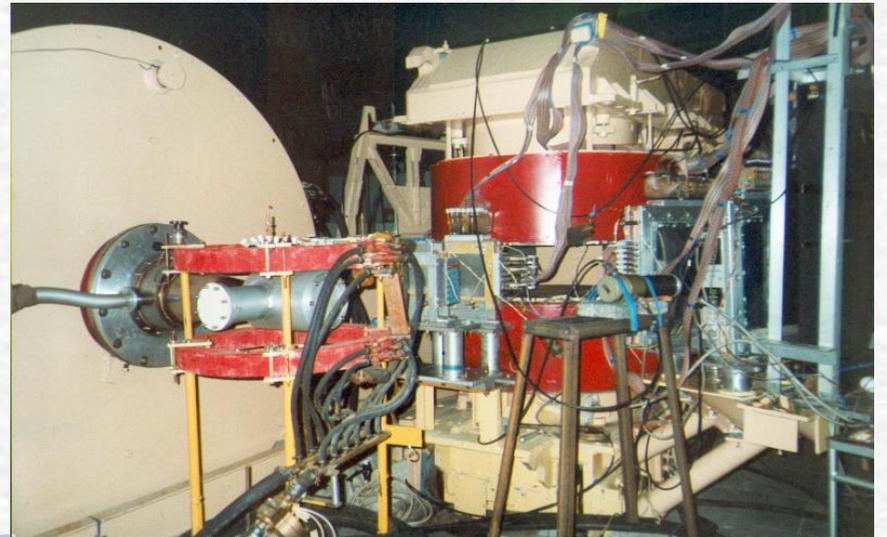
$$\mu \rightarrow e + \alpha$$

$$\nu_{\mathbf{H}} \rightarrow \nu_{\mathbf{L}} + \alpha$$



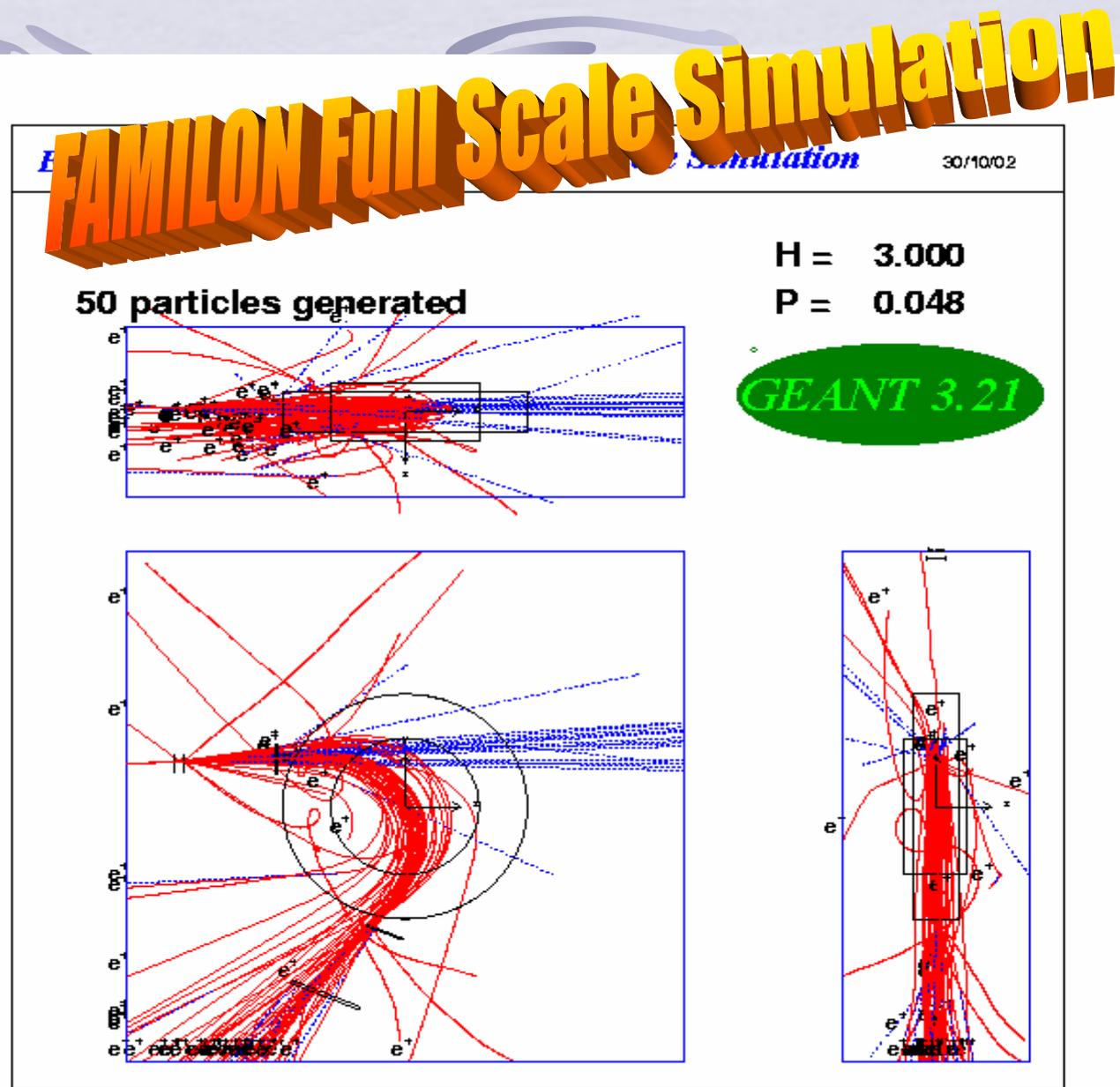
# Установка ФАМИЛОН





## The aims of simulation procedure were:

1. Optimization of the geometry arrangement of the set-up elements.
2. Analysis of the action of the density substances along the positron trace.
3. Evaluation of the positron momentum measurement precision.
4. Calculation of the positron detection efficiency.



# FAMILON: Angle measurement precision

defines the distance between blocks of prop. chambers behind magnet.

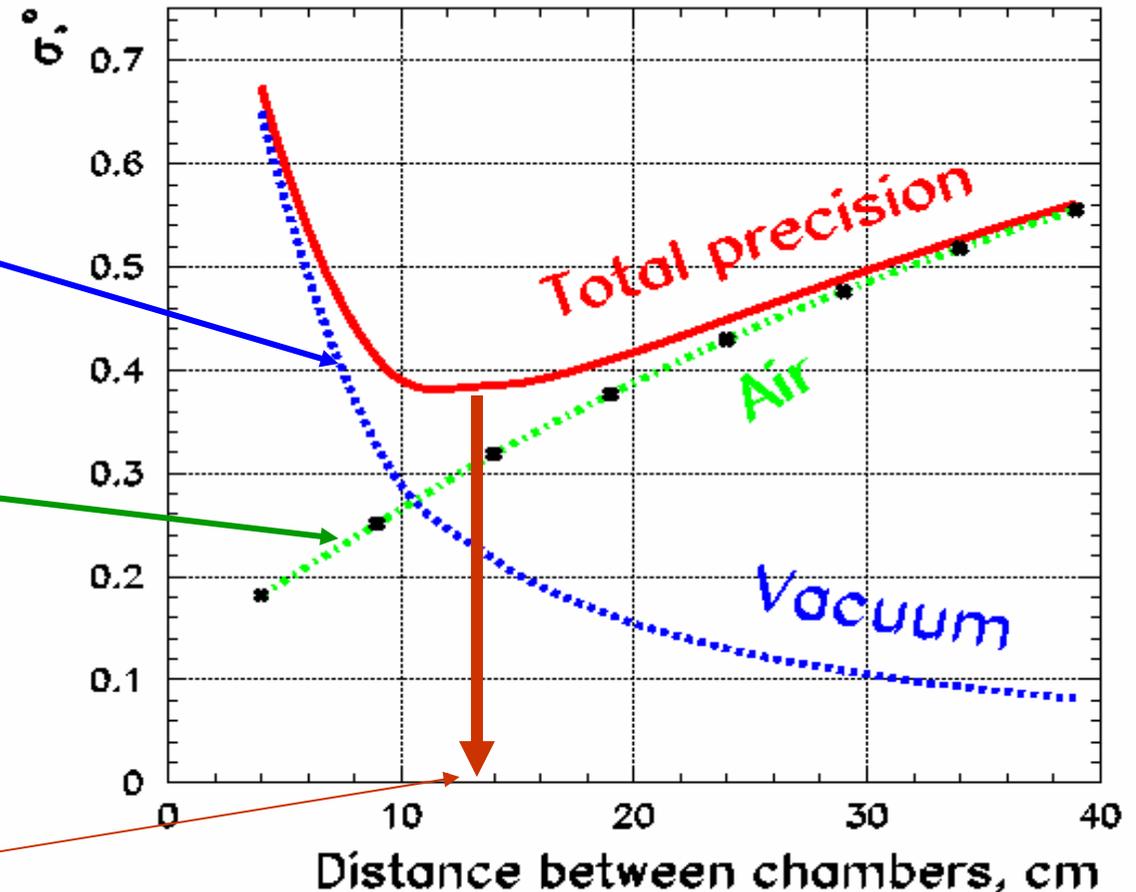
## Two factors must be taken into account:

1. Errors in measuring of coordinates due to discrete disposition of sensitive wires in proportional chambers.

2. Positron multiple scattering in air between the chamber samples.

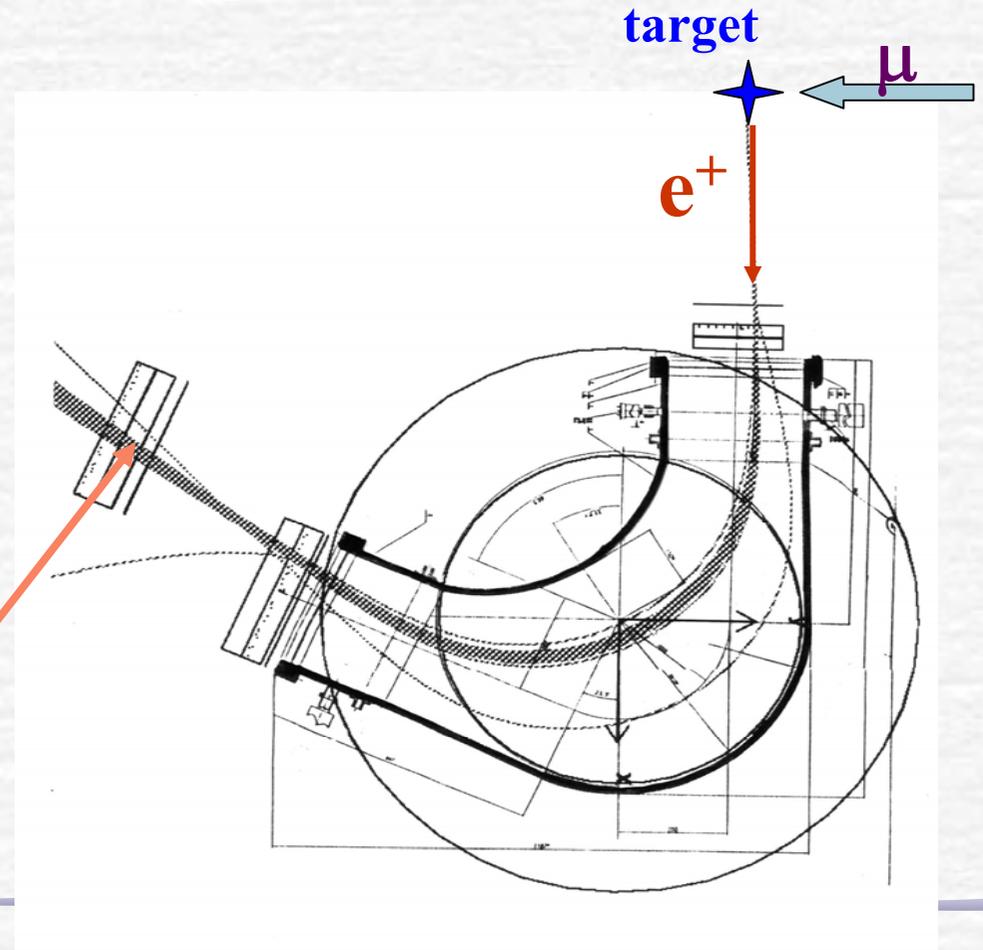
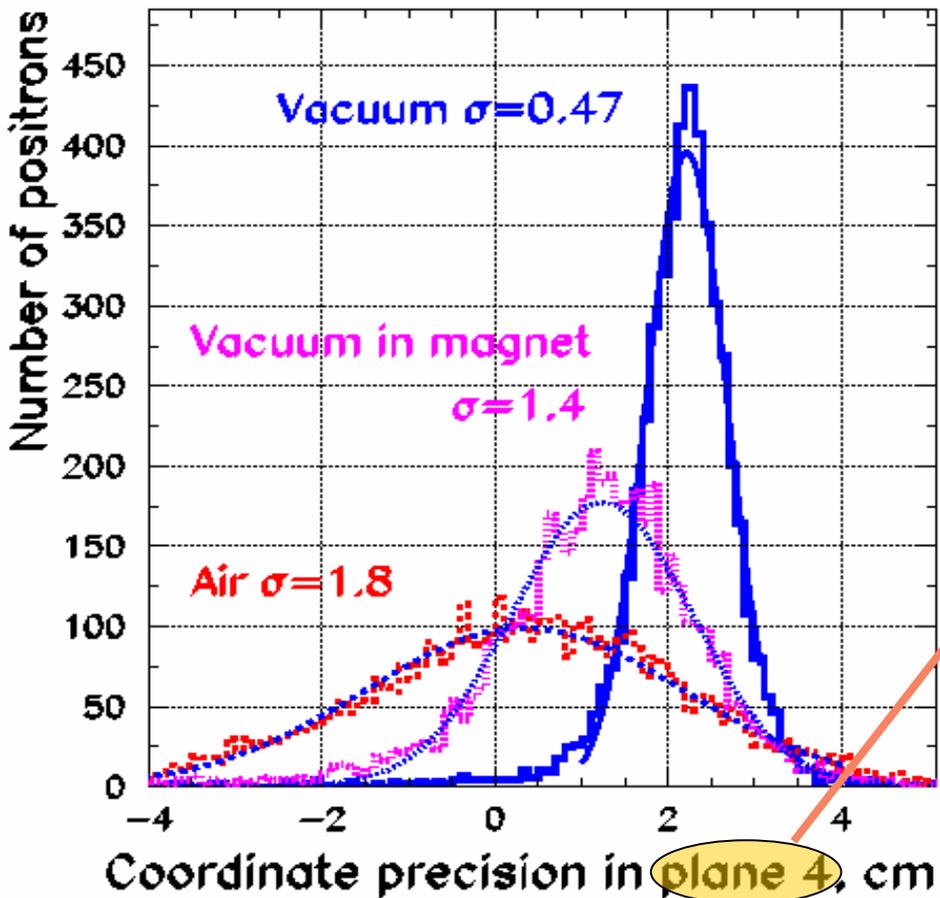
Both factors depends on distance between the samples.

Optimal distance is determined by the minimum of the total precision.



# Coordinates measurement precision

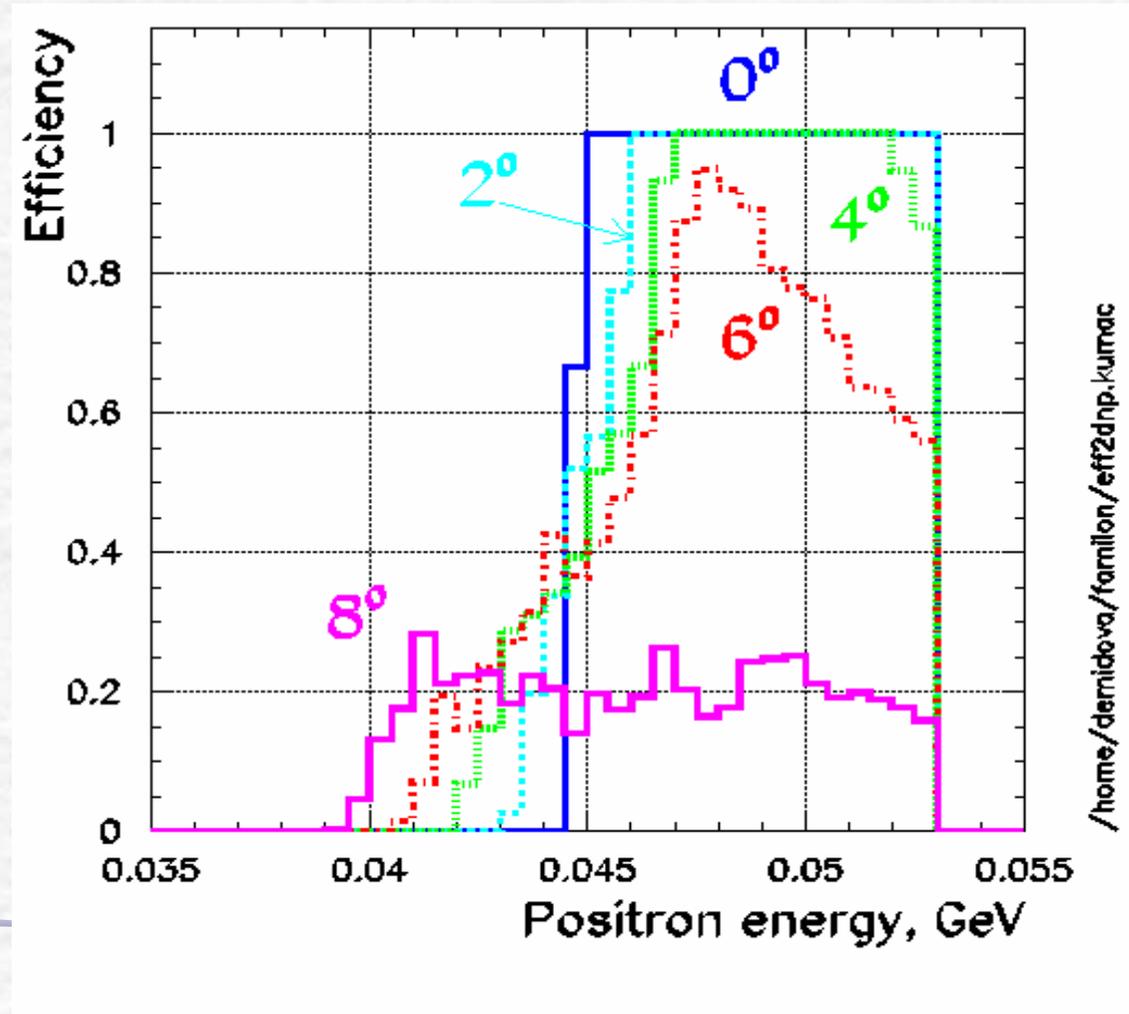
Momentum measurement precision is determined by  
coordinate precision



# Motne Kario efficiency evaluation

Efficiency of positron registration  $\varepsilon$  depends on energy  $E$  and angle  $\theta$  of positron  $\varepsilon = F(E, \theta)$ .

$\varepsilon$  is defined by geometrical disposition of the magnetic spectrometer elements: size of the magnetic field region, scale and location of the proportional chambers and distance between the target and spectrometer.

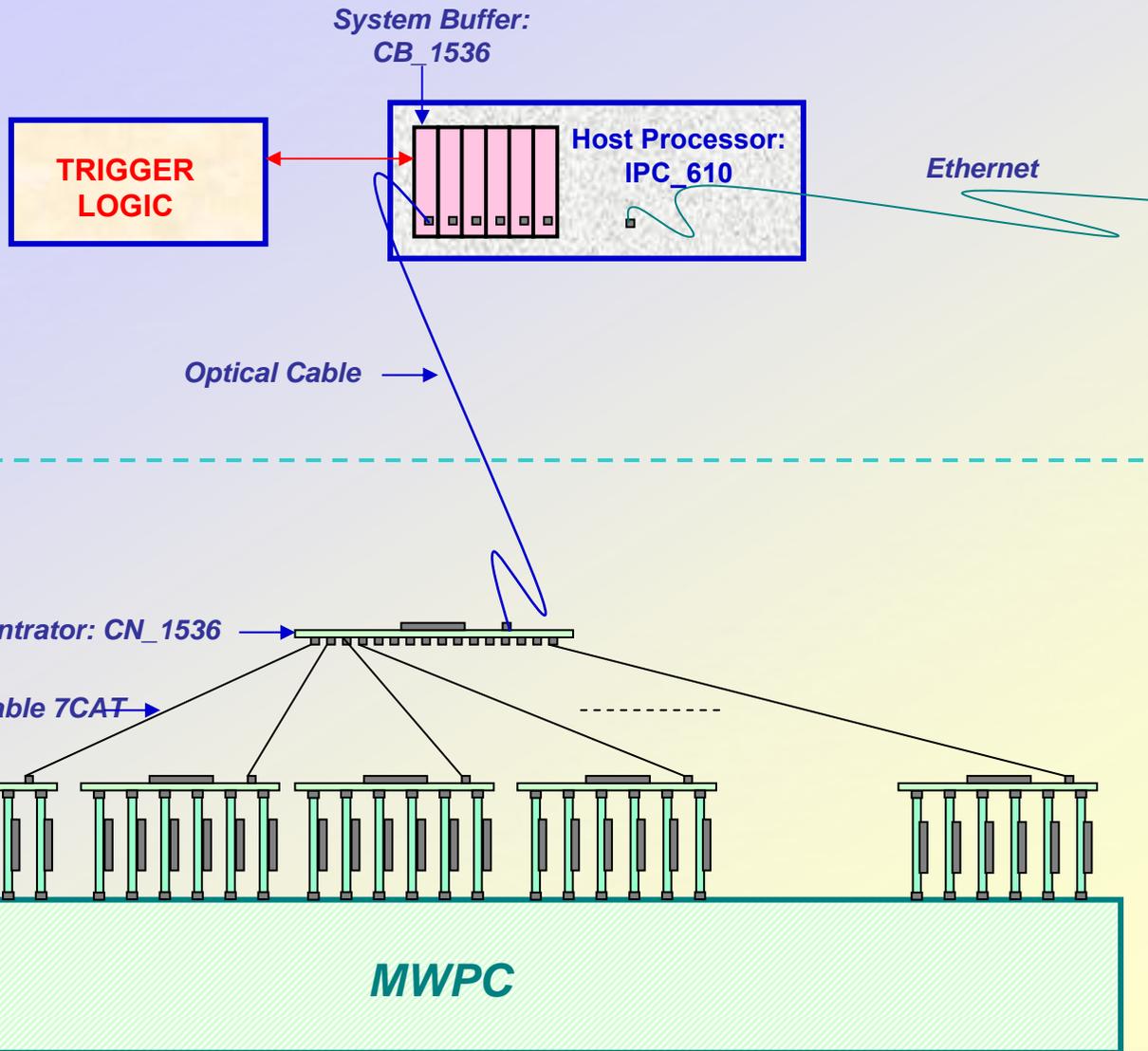


## Predicted relative precision $\sigma_p/P$ of the positron momentum measurement for different Sut-up modification.

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1. Extreme precision (vacuum elsewhere) -  | $5 \cdot 10^{-4}$                     |
| 2. Maximal precision for the available design of proportional chambers (vacuum + 3 plane of the) - | $2.5 \cdot 10^{-3}$                   |
| 3. Vacuum only in inside of the magnet -   | $5 \cdot 10^{-3}$                     |
| 4. Helium elsewhere -  | $3 \cdot 10^{-3}$                     |
| 5. Air elsewhere -   | $9 \cdot 10^{-3}$                     |
| 6. <i>Vacuum inside of the magnet, helium in the residual volume -</i>                             | <i><math>2.6 \cdot 10^{-3}</math></i> |

# CROS3\_PWC Архитектура

**1000 Channel in 2005**  
**Parameters:**  
Delay 10 – 1280 ns    Gate  
10 – 640 ns            Trigger  
Rate ~100KHz





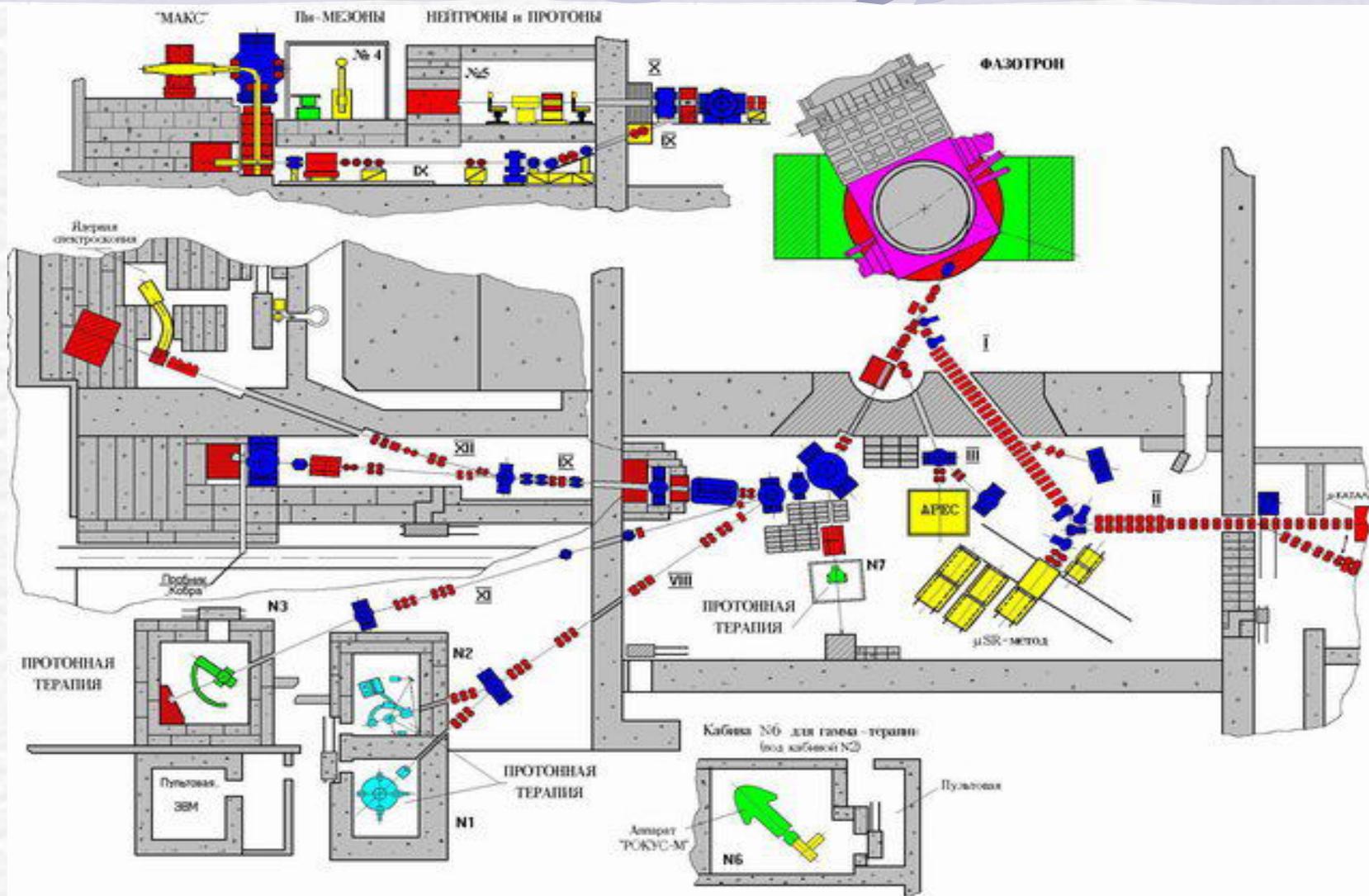


СХЕМА ПУЧКОВ ФАЗОТРОНА ДЛЯ ОИИ

# Планы по эксперименту ФАМИЛОН на 2007 год

- **Формулировка основных задач по проекту на 2007г.**
- **- Проведение на синхроциклотрона ПИЯФ тестовых и физических измерений (в эксперименте по исследованию квазиупругого рассеяния протонов на ядрах) с использованием системы считывания информации CROS3.**
- **- Проведение на фазотроне ЛЯП ОИЯИ работ по восстановлению тракта поверхностных мюонов (ликвидация последствий аварии марта 2005 г.).**
- **- Реконструирование установки ФАМИЛОН после завершения восстановительных работ на фазотроне ЛЯП.**
- **- Проведение тестовых и физических измерений на установке ФАМИЛОН с использованием системы считывания информации CROS3**

# TWIST

## The TRIUMF Weak Interaction Symmetry Test

*Goal: A high precision measurement of the positron ( $T_e$ ) and ( $\cos\theta_e$ ) spectrum from  $\mu$ -decay to test the SM predictions for the weak interaction*

# The *TWIST* Collaboration

## TRIUMF

Ryan Bayest†  
Yuri Davydov  
Jaap Doornbos  
Wayne Faszer  
David Gill  
Peter Gumplinger  
Robert Henderson  
Jingliang Hu  
*John A. Macdonald §*  
Glen Marshall  
Dick Mischke††  
Art Olin  
Robert Openshaw  
Tracy Porcelli‡  
Jean-Michel Poutissou  
Renee Poutissou  
Grant Sheffer  
Bill Shin ‡ ‡

## Alberta

Andrei Gaponenko  
Peter Kitching  
Rob MacDonald  
Maher Quraan  
*Nathan Rodning §*  
John Schaapman  
Glen Stinson

## British Columbia

Blair Jamieson  
Mike Hasinoff

## Montreal

Pierre Depommier

## Regina

Ted Mathie  
Roman Tacik

## Kurchatov Institute

Vladimir Selivanov  
Vladimir Torokhov

## Texas A&M

Carl Gagliardi  
Jim Musser  
Robert Tribble  
Maxim Vasiliev

## Valparaiso

Don Koetke  
Paul Nord  
Shirvel Stanislaus

*§ Deceased*

Graduate Students

† also UVic

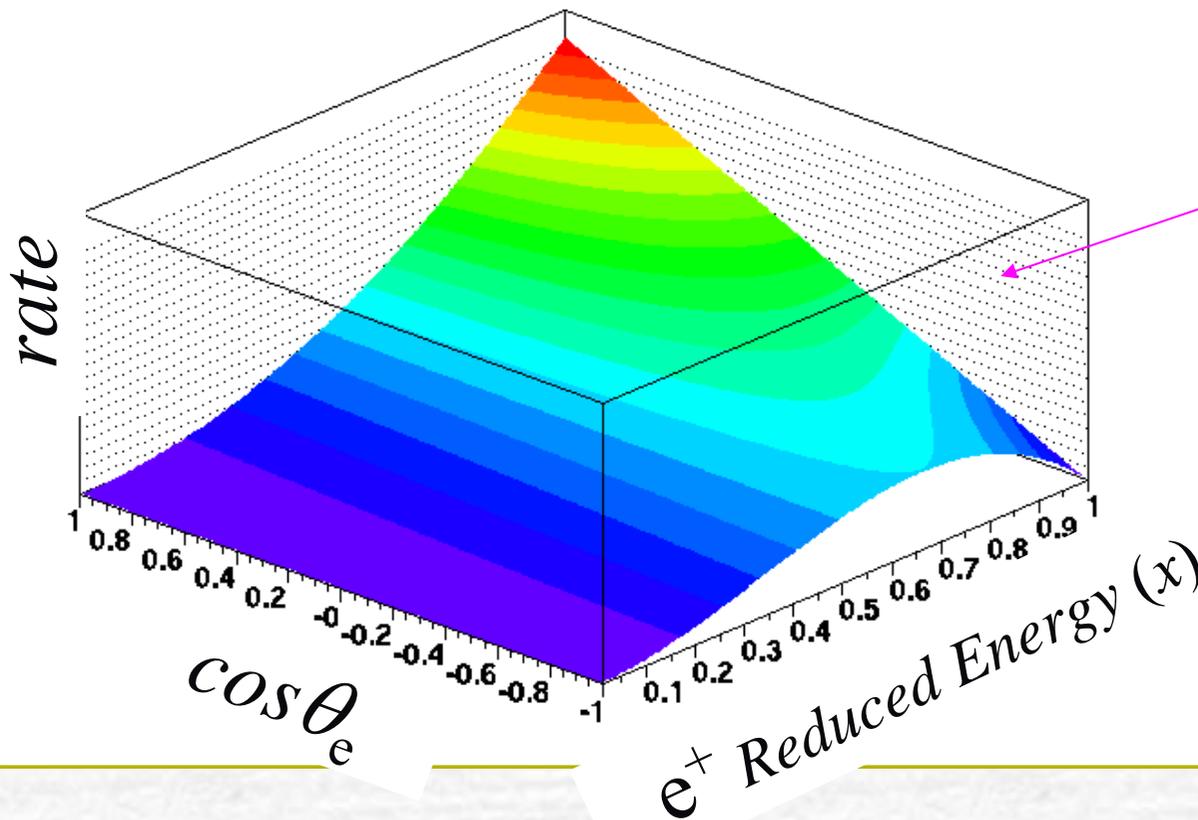
‡ also UNBC

‡ ‡ also Saskatchewan

† † also LANL

# $e^+$ spectrum in $x, \cos \theta_e$

$$\text{rate} \sim x^2 \left[ 3 - 3x + \frac{2}{3} \rho (4x - 3) + 3\eta x_o \left( \frac{1-x}{x} \right) + P_\mu \xi \cos \theta_e \left( 1 - x + \frac{2}{3} \delta (4x - 3) \right) \right]$$



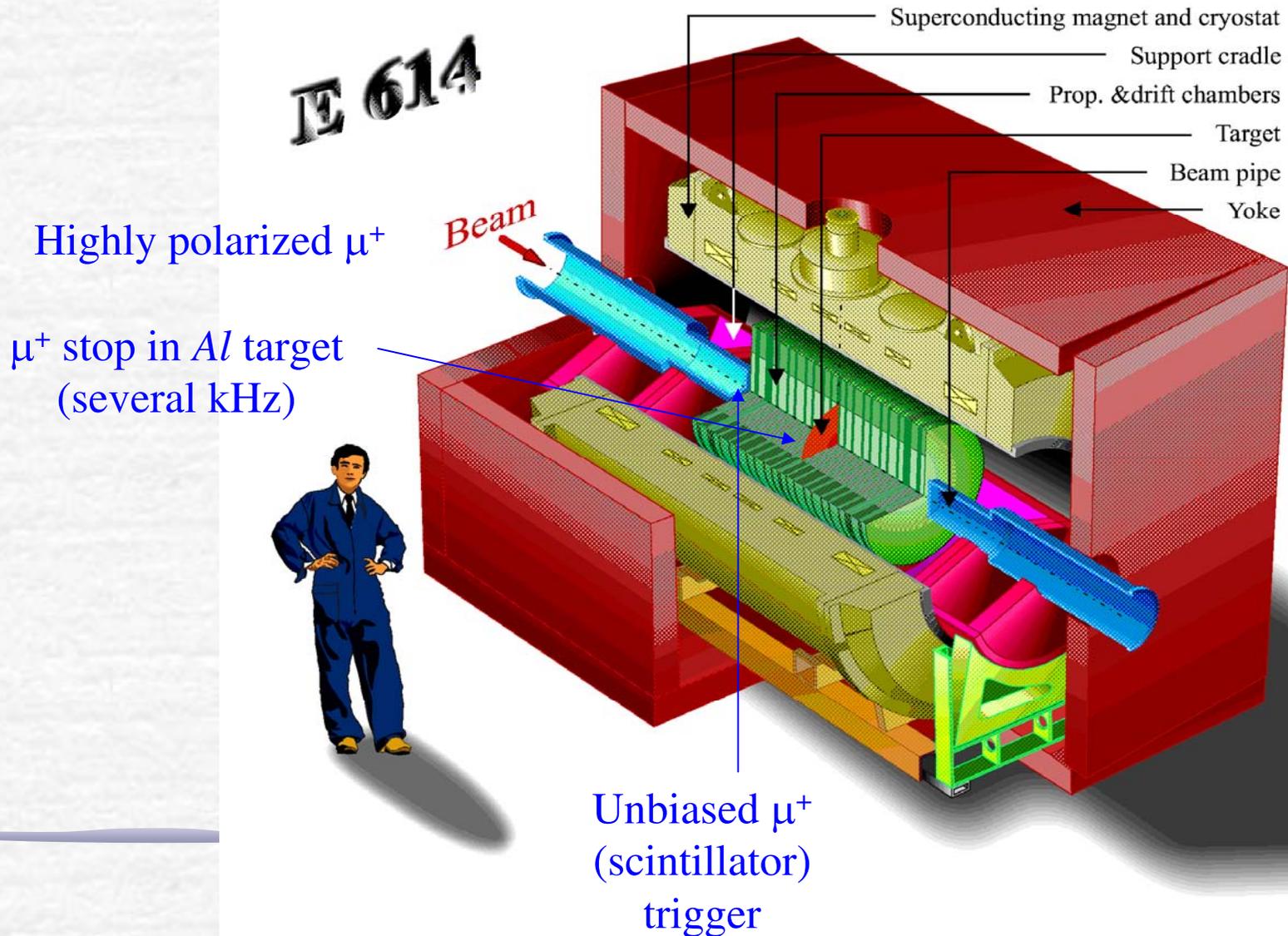
## *TWIST --*

- will measure the  $e^+$  spectral shape to very high precision
- ↓
- will extract  $\rho, \xi, \delta$  to a few parts in  $10^4$
  - $\eta$  is being measured at PSI

## The *TWIST* program:

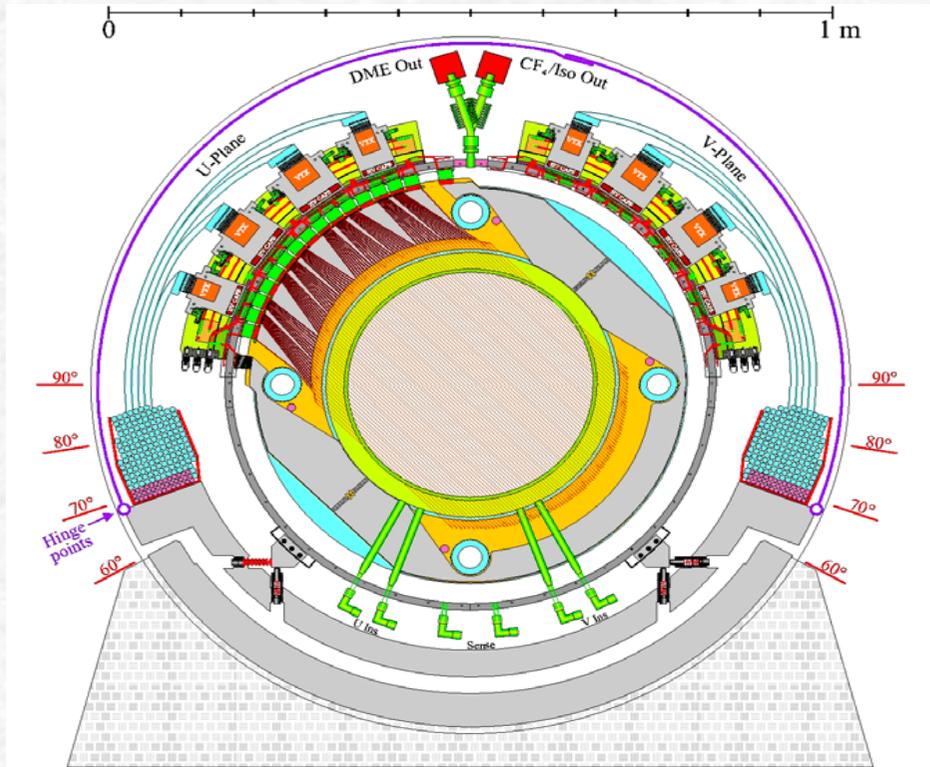
- Collect *high precision data* to obtain the  $e^+$  spectrum from  $\mu$ -decay as a function of  $x$  and  $\cos\theta_e$
- Detailed *study of systematic* errors in *TWIST*
- Extract the *best values* of the spectral parameters  $\rho, \eta, \xi, \delta$  *simultaneously* (the first time this has been done)
- Obtain a precision in  $\rho, \xi, \delta$  (a) of  $10^{-3}$  and (b) a *few parts in  $10^4$*  ( $\sim 10^{-3}$  precision for  $\eta$ )
- Compare  $\rho, \eta, \xi, \delta$  from our fit with Standard Model values

# Obtain *high precision data* on the $e^+$ spectrum

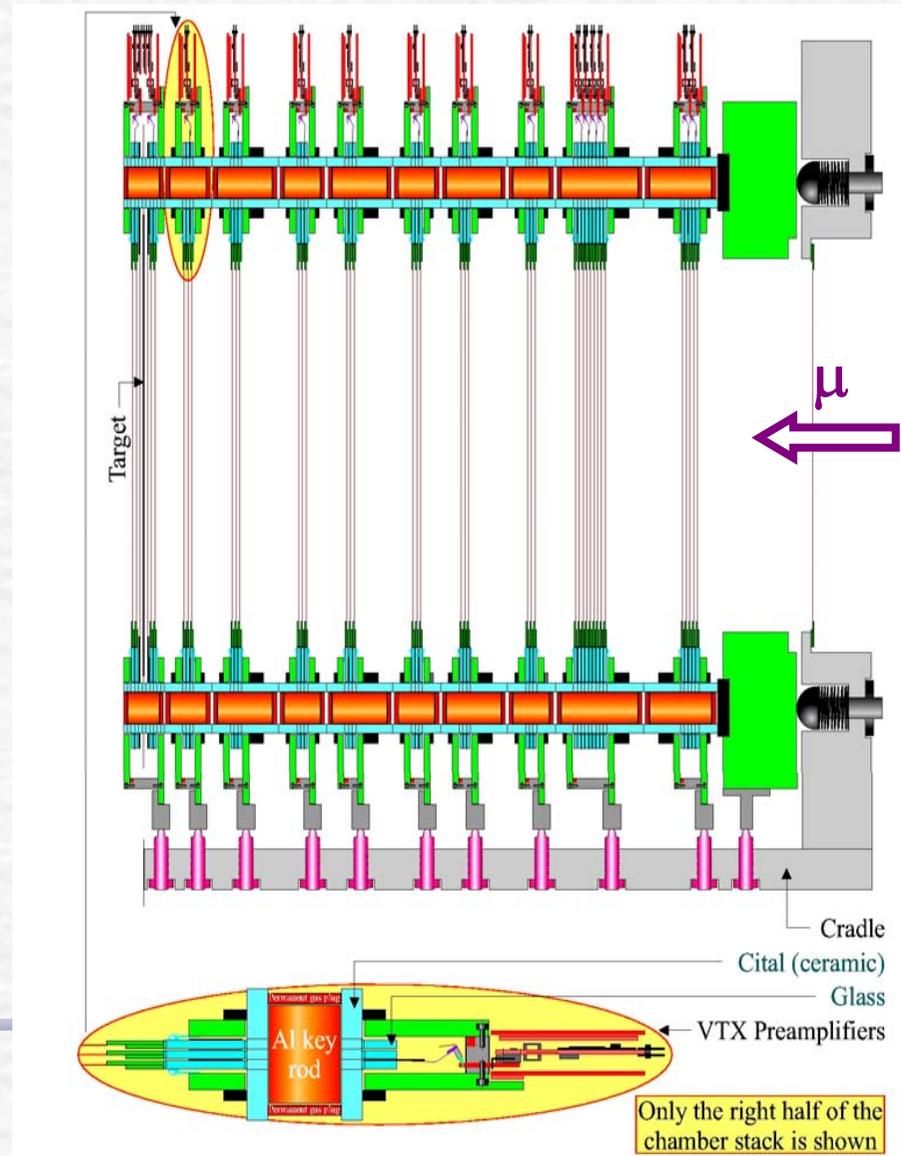


# Chambers & half detector

Planar drift chambers sample positron track



Use 44 drift planes,  
and 12 PC planes

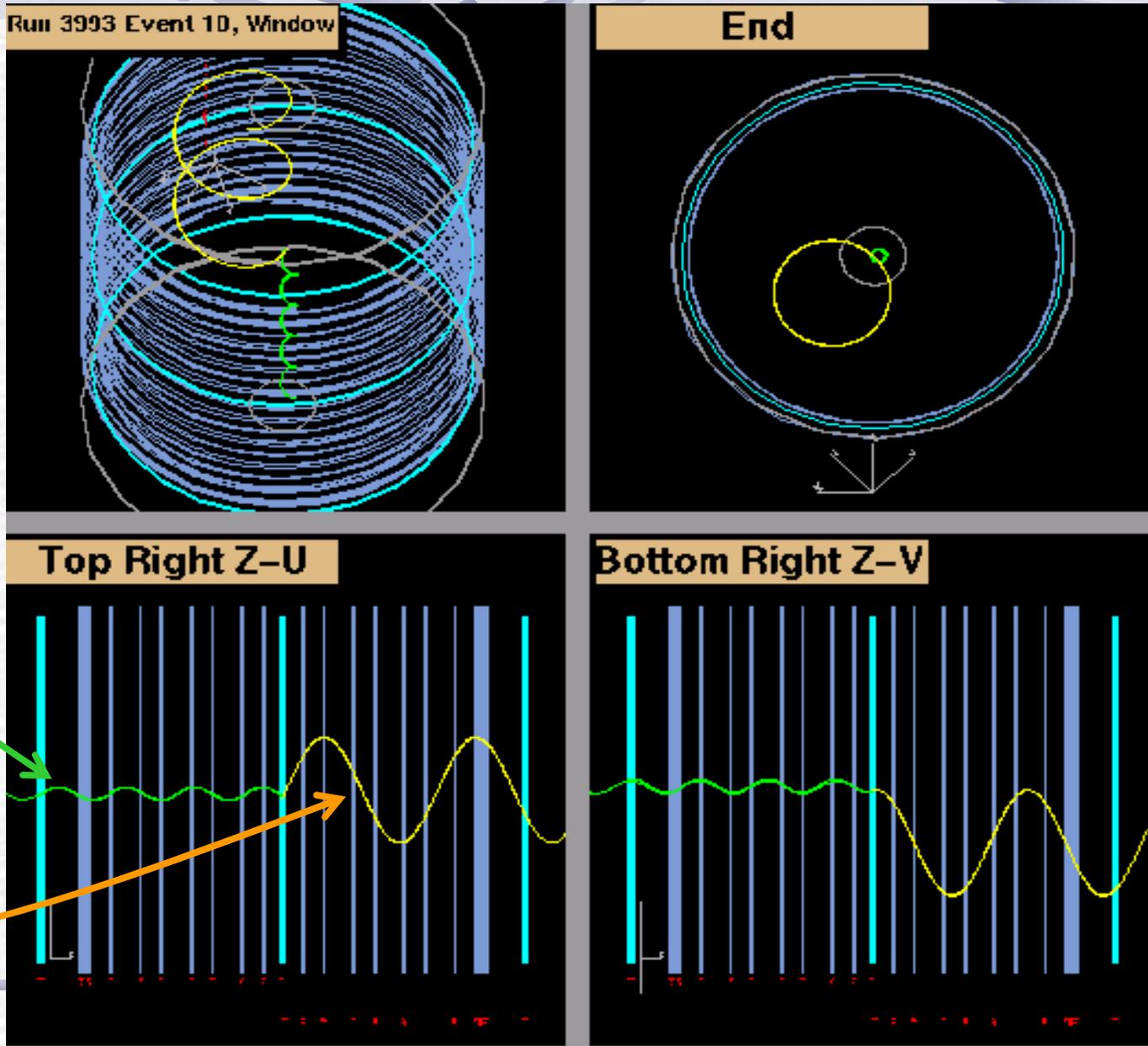


Only the right half of the chamber stack is shown





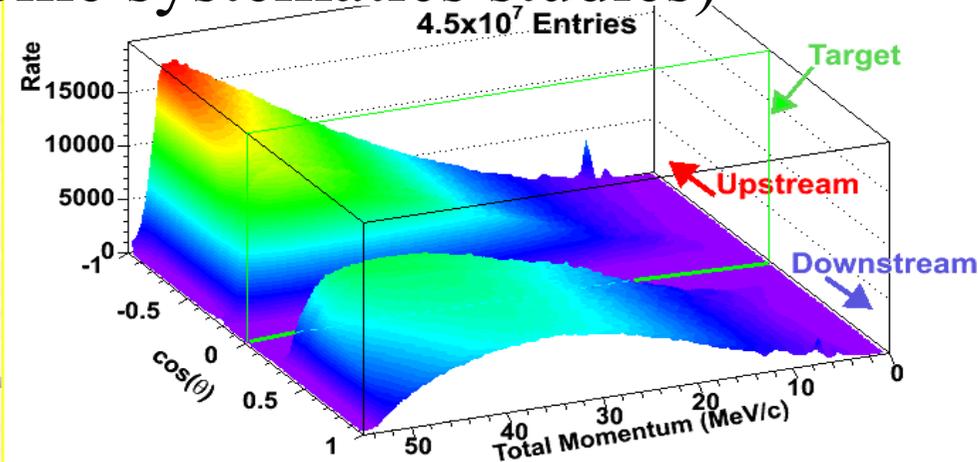
# Typical decay event



# TWIST Data

- High data rates (few kHz) → Data sets of  **$10^9$**  muon decay events in  $\sim$  *two weeks*
- TWIST** is *systematics* limited. (High data rates and computational resources are essential for studying systematic effects.)
- In 2002-03,  $\sim$   **$6 \times 10^9$**  muon decay events on tape.
- Standard data set  $\sim$  **300M triggers** →  **$\sim$ 58M useful events** (smaller samples for some systematics studies)

*Reconstructed muon decay spectrum*



## The *TWIST* timeline:

### • 2004

- Data in hand for measurement of  $\rho$ ,  $\delta$  to  $10^{-3}$
- Study of systematic errors (for  $10^{-3}$ ) *nearly complete*
- Publish measurement of  $\rho$ ,  $\delta$  at  $10^{-3}$  in 2004.
- Take data for measurement of  $P_{\mu\xi}$  - for precision of  $10^{-3}$  - publish 2004/05

### • 2005/06

- Take data for measurement of  $\rho$ ,  $\eta$ ,  $\xi$ ,  $\delta$  to a precision of a *few parts in  $10^4$*  ( $\sim 10^{-3}$  precision for  $\eta$ )

**BOTTOM LINE**: Compare  $\rho$ ,  $\eta$ ,  $\xi$ ,  $\delta$  from our fit with Standard Model values  $\rightarrow$  *New Physics?*

# $\mu$ SR - проекты

1.  $\mu$ SR - исследования в ПИЯФ по программе В.П.Коптева (С.И.Воробьев, Е.Н.Комаров)
2. Создание установки на пучке поверхностных мюонов фазотрона ЛЯП ОИЯИ для исследования магнетиков корреляционным  $\mu$ SR - методом
3. Подготовка проекта по исследованию  $\mu$ SR - методом производных аминокислот (совместно с НИИЯП БГУ и НИИФХ АНБ, Минск)
4. Участие в подготовке эксперимента по исследованию  $\mu$ SR - методом магнитных феррожидкостей (совместно с ЛЯП ОИЯИ)

# Корреляционный $\mu$ SR - метод

- Обычный мюонный эксперимент позволяет оценить среднее соотношение объемов доменов различных сортов по отношению амплитуд прецессии на различных частотах.
- Корреляционный мюонный эксперимент позволяет оценить дисперсию соотношения объемов доменов, вызванную статистическим разбросом размеров.
- В рамках определенной модели это позволяет определить размер доменов.

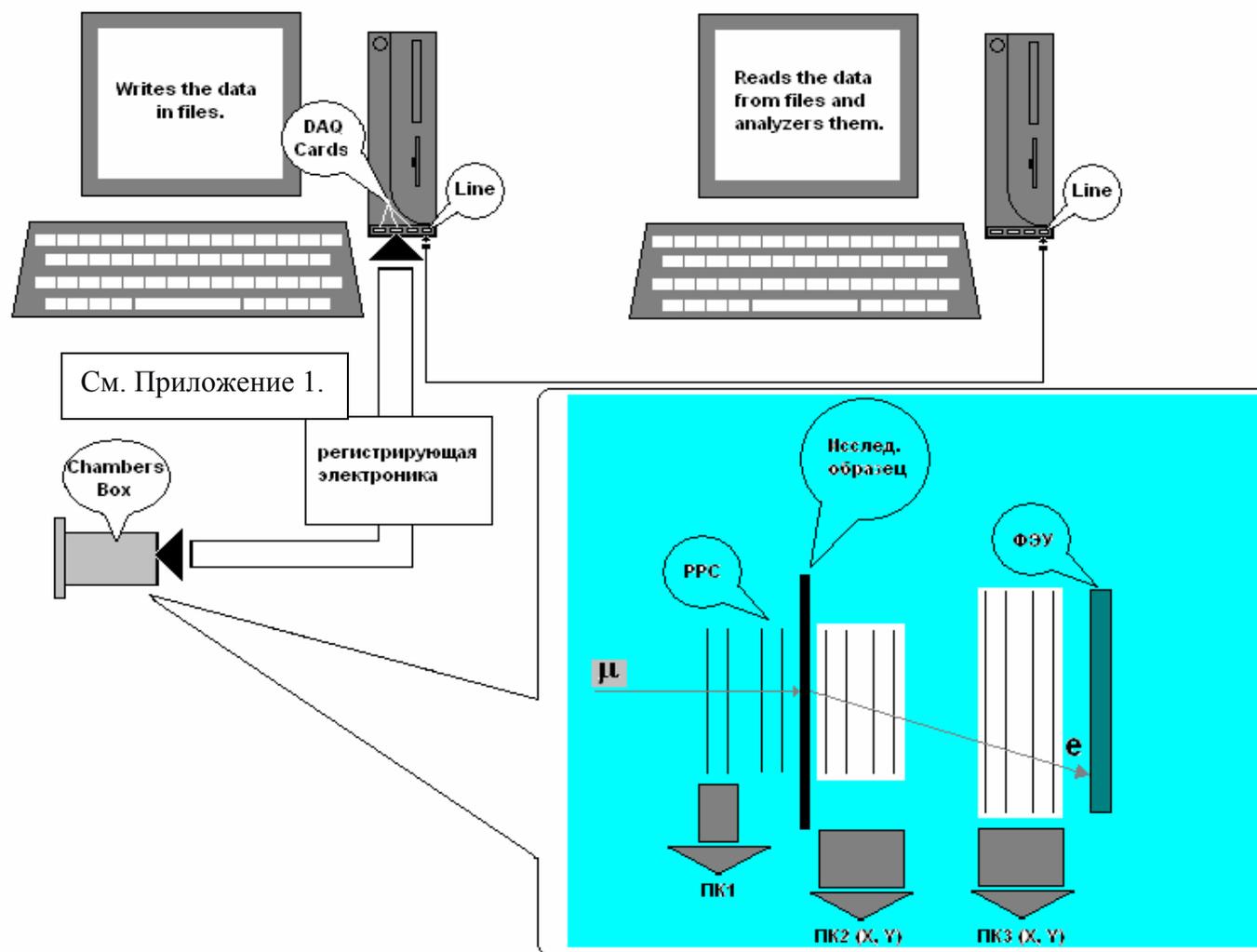


Рис.1. Схема постановки эксперимента.

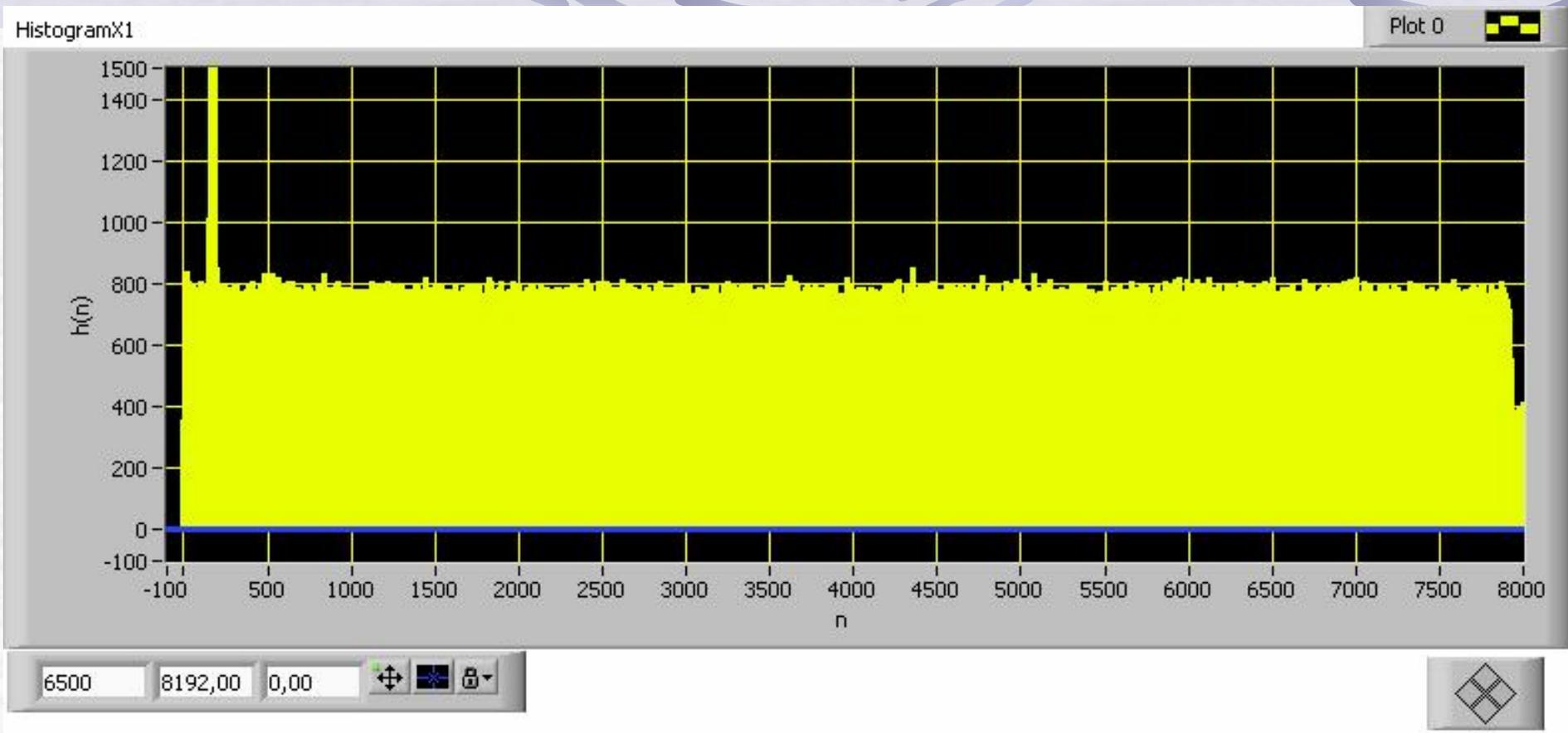


Рис. 8. Работа TDC (то же самое, что и рис. 7).

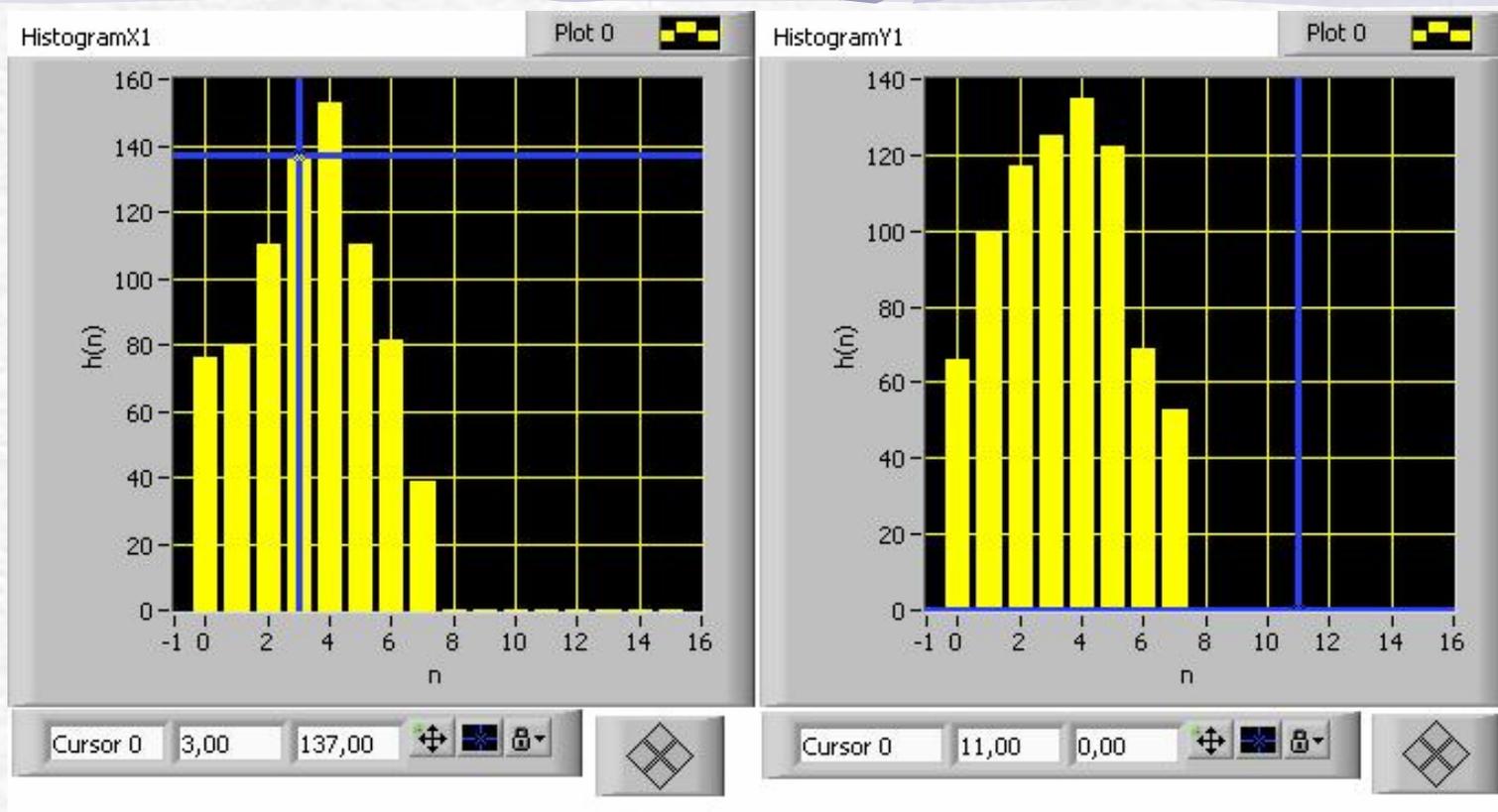


Рис. 10. Координатная система ПК2 (X1, Y1).

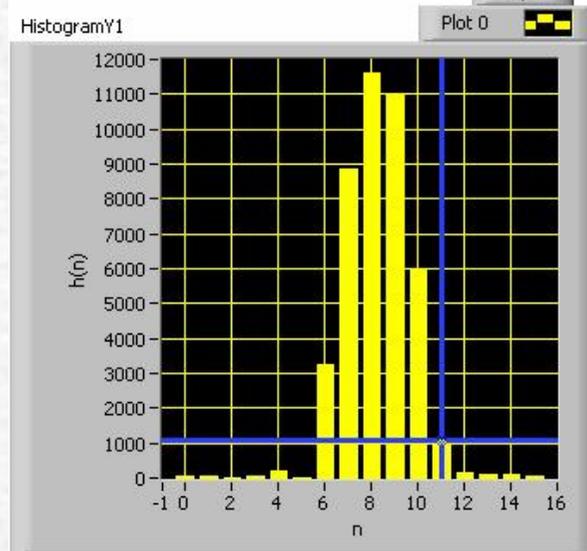
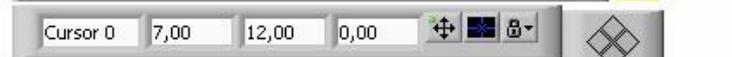
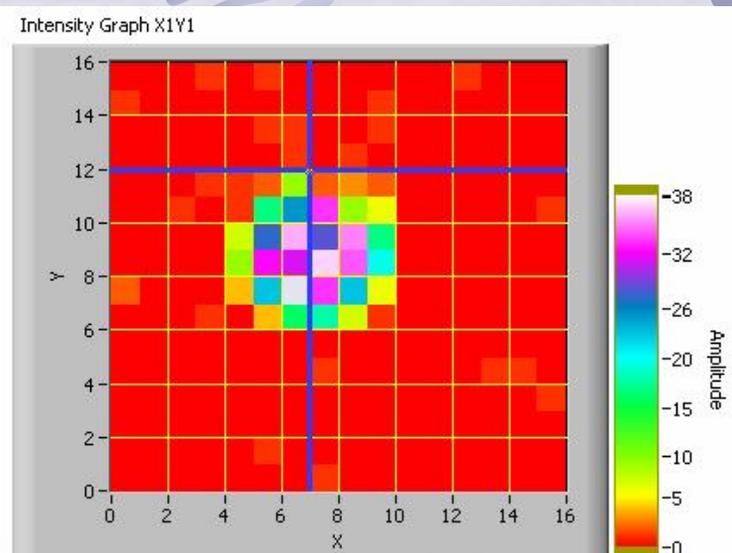
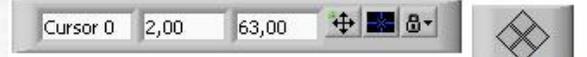
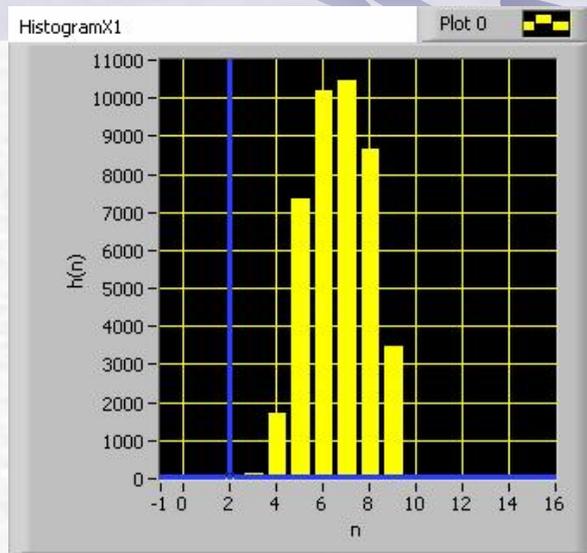
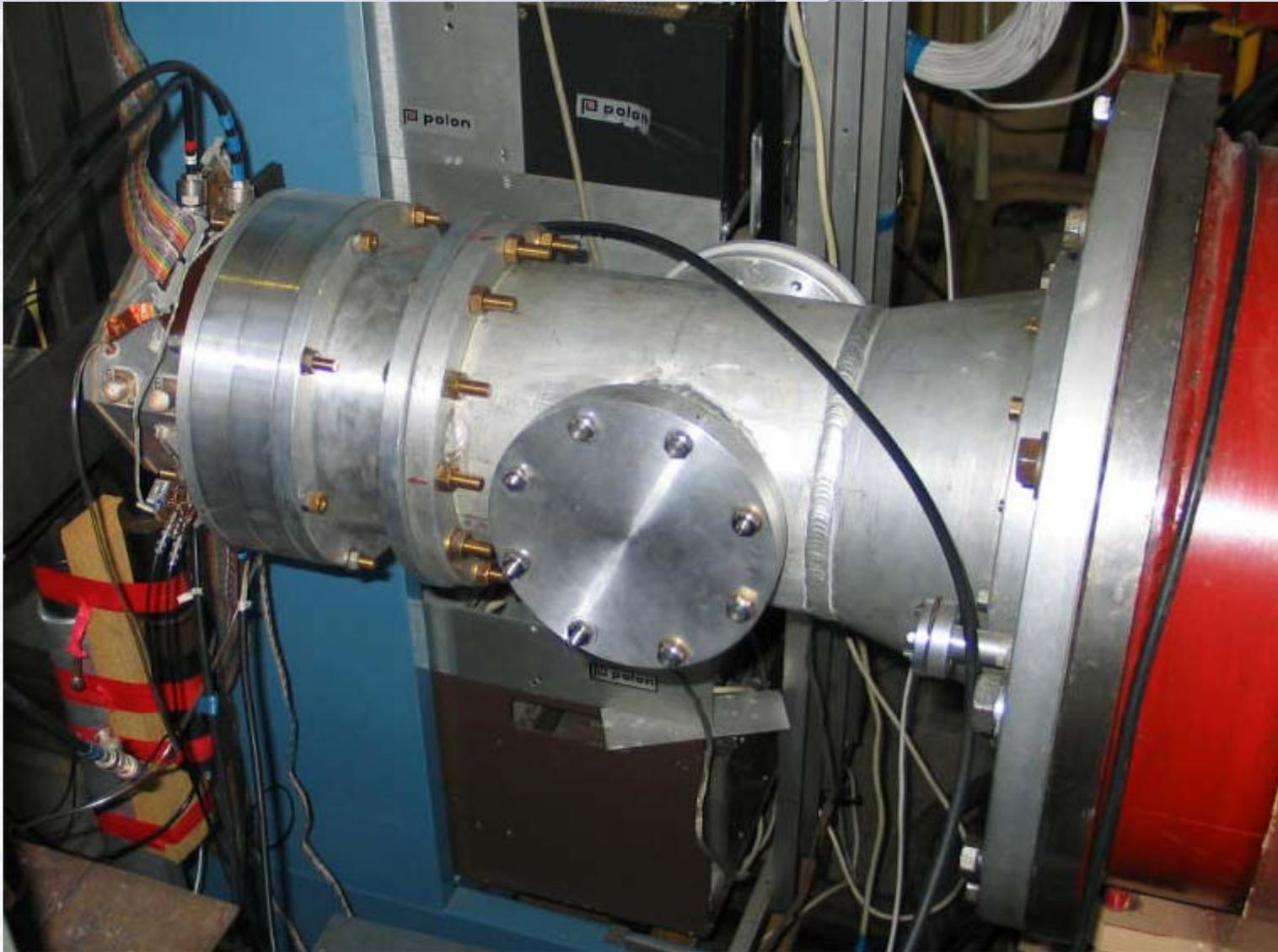


Рис. 11. Координатная система ПКЗ(X2, Y2).





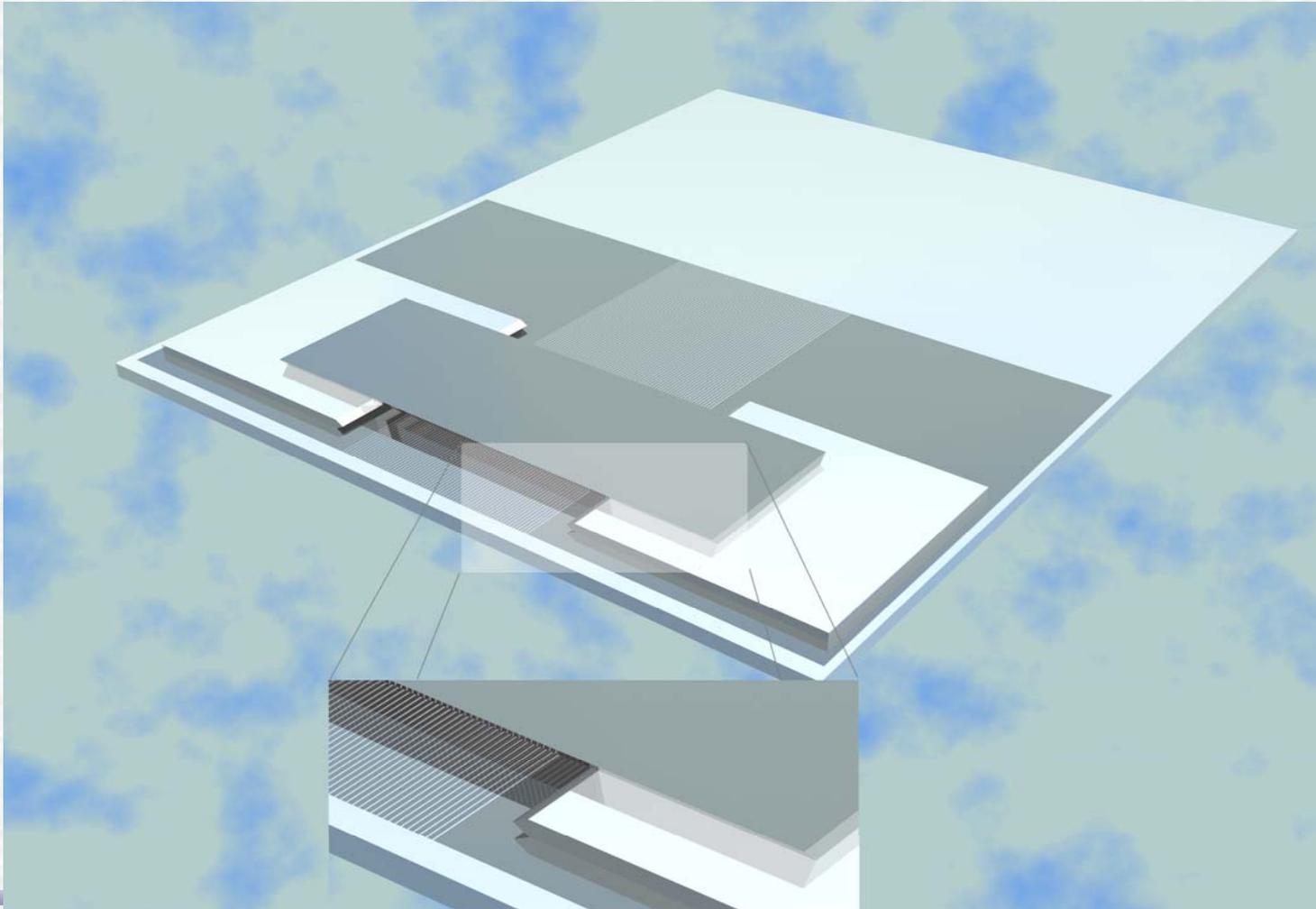
# Исследование производных аминокислот $\mu$ SR - методом

- Целью данной работы является проведение
- $\mu$ SR – экспериментов и расчетов методами
- квантовой химии для оценки влияния свойств
- внешней среды (концентрация раствора,
- ионная сила раствора, кислотность) на
- структуру и состояние производных (солей)
- аминокислот.



Плоскопараллельный позиционно  
чувствительный детектор  
З-ПЧД

- 3-ПЧД является газовым детектором. Достигнутое пространственным разрешением 50 мкм, при ширине стрипа 30 мкм и расстоянием между стрипами 20 мкм.



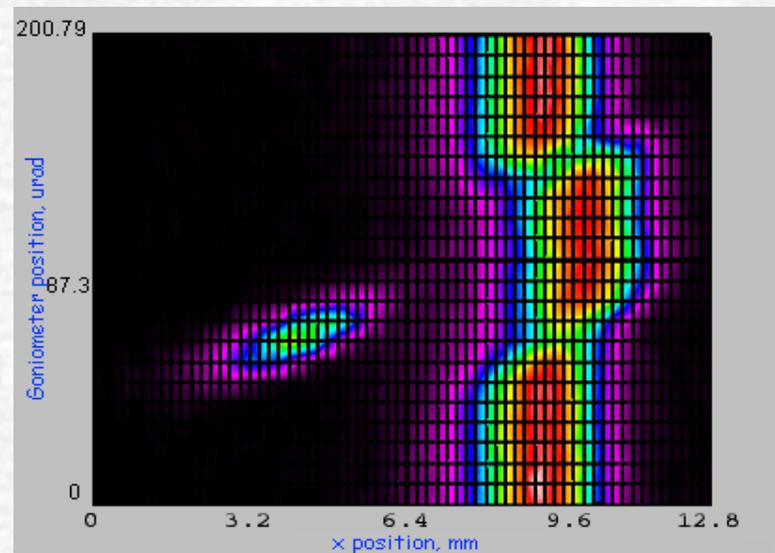
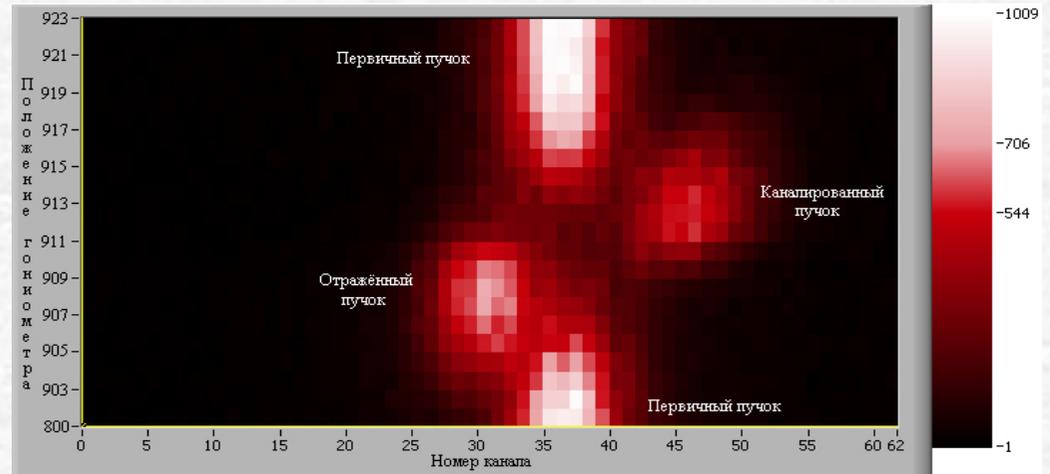
## *Характеристики*

- Высокая нагрузочная способность для X-ray, и заряженных частиц ( $\sim 10^8$  частиц/мм<sup>2</sup>\*с) .
- Высокое пространственное разрешение ( от 50 мкм).
- Счётный режим.
- Низкая стоимость по сравнению с кремневым стриповым детектором.
- Способность работать без внешнего триггера по сравнению с твердотельным детектором.

# Результаты

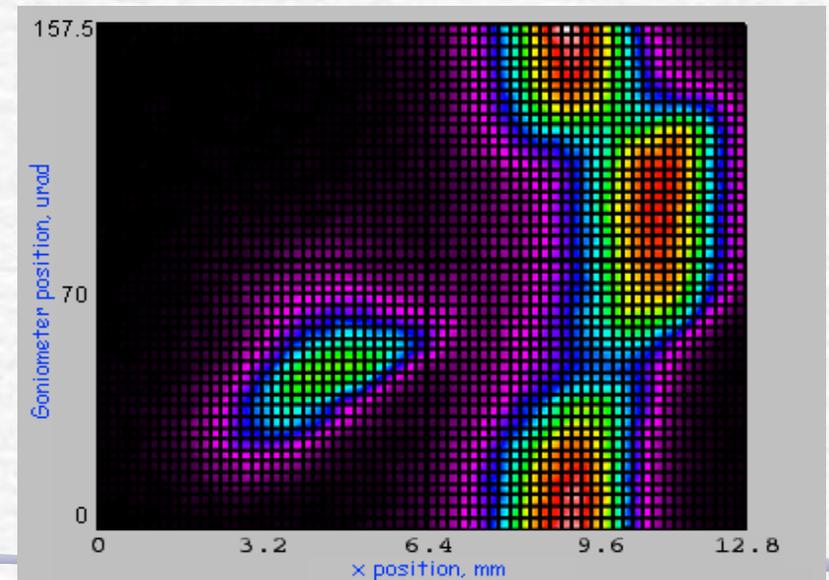
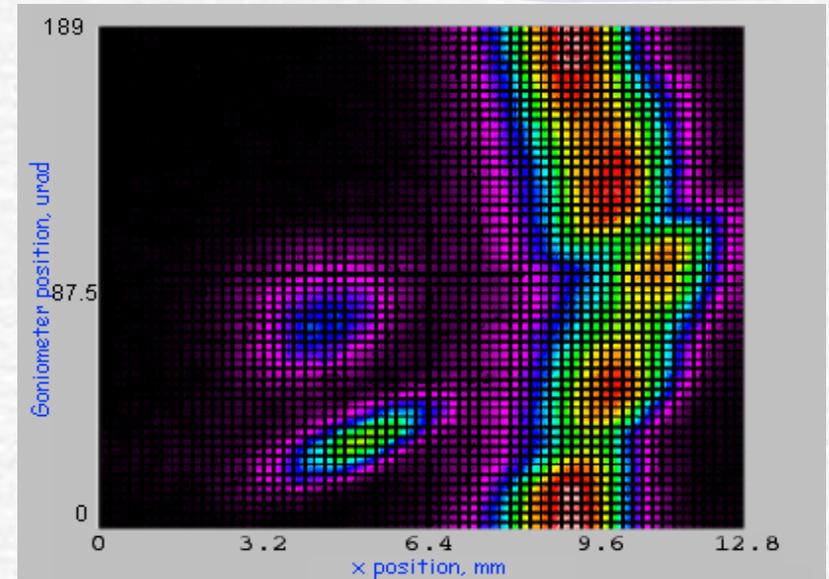
Посредством 3-ПЧД  
наблюдено и  
исследовано явления  
отражения протонов от  
изогнутых атомных  
плоскостей. Для этого  
использовались пучки:

1. 1 ГэВ, Гатчина.
2. 400 ГэВ, ЦЕРН.

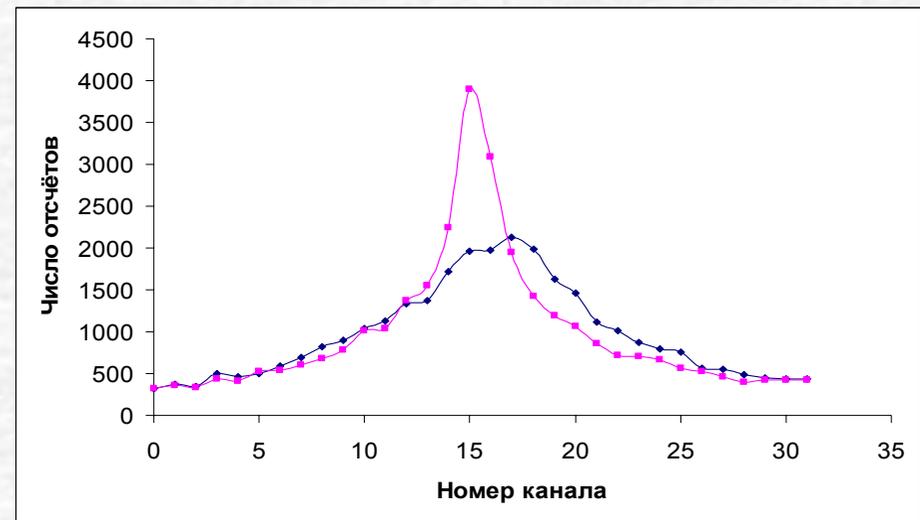


Также с помощью 3-ПЧД были сделаны первые наблюдения отражения протонов с энергией 400 ГэВ, от сборки кристаллов кремния.

1. Два кристалла ориентированны относительно друг друга не оптимальным образом.
2. Два кристалл ориентированны оптимальным образом.



- В Гатчине на 1 ГэВ с помощью 3-ПЧД исследуются плоские кристаллы.
- Наблюдено, что максимум каналированного пика смещается относительно пика пучка прошедшего неориентированный кристалл кремния.

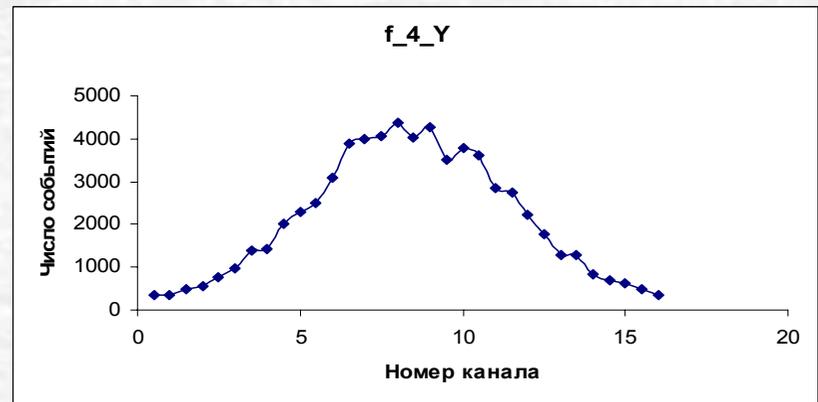
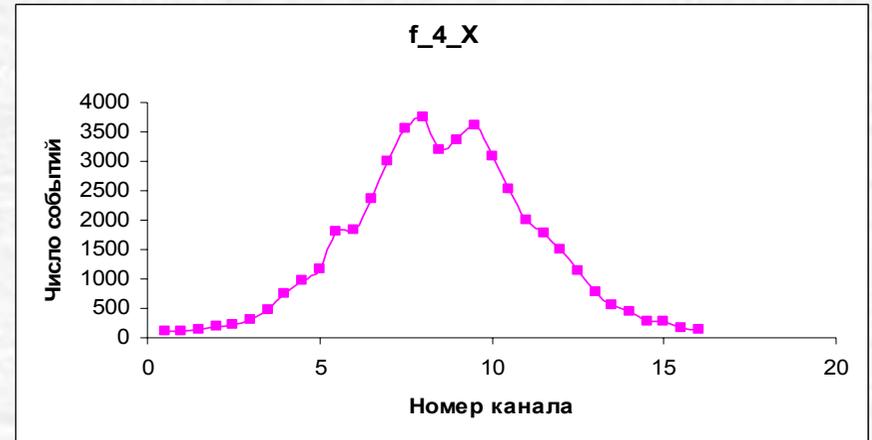


- 3-ПЧД может быть применен в протонной терапии для определения профиля пучка которым облучается больной.

1. Горизонтальный профиль.
2. Вертикальный профиль.

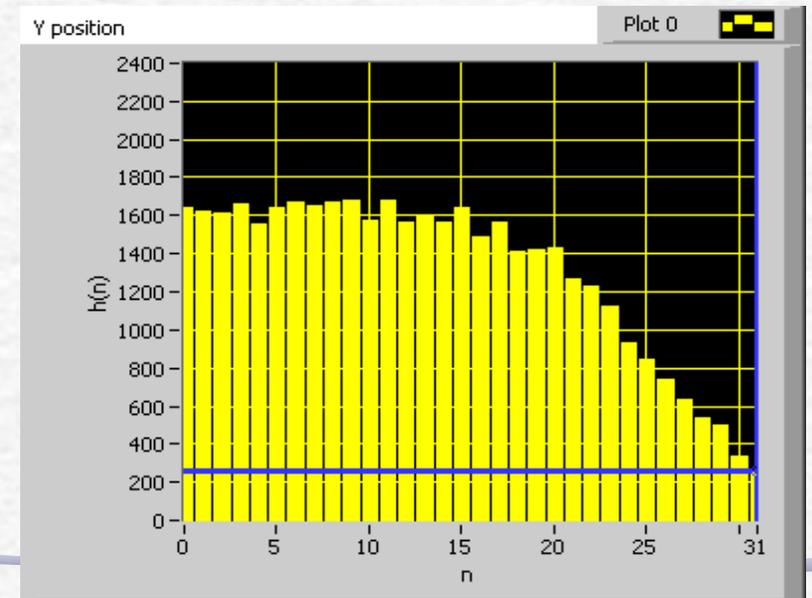
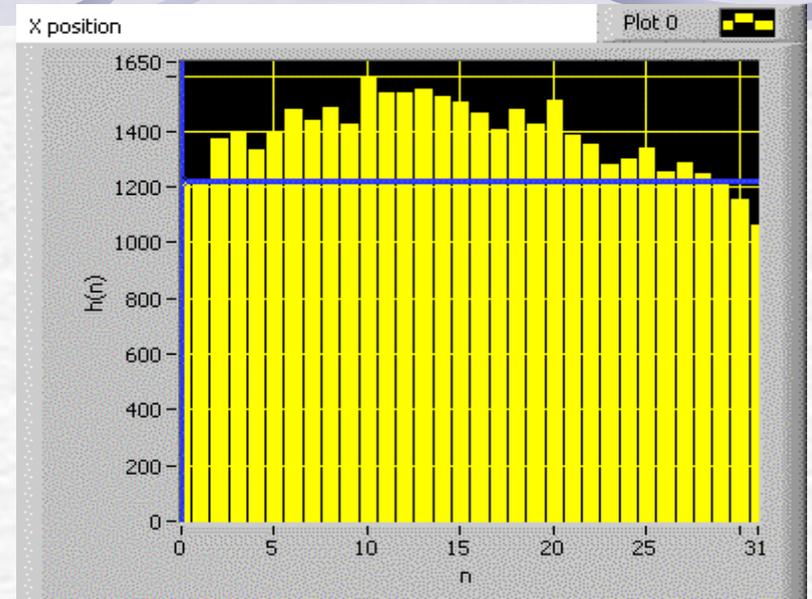
- Преимущества.

- «Моментальная» информация о профиле.
- Счётный режим (линейность).



3-ПЧД удобен для контроля вывода пучка из ускорителя и последующего его формирования.

1. Горизонтальный профиль пучка после коллиматора в экспериментальном зале.
2. Вертикальный профиль.



# Планы

- ☞ Увеличить число каналов 3-ПЧД.
- ☞ НИР 3-ПЧД для позитронно-эмиссионной томографии.
- ☞ Исследовать каналирования на кристаллах Ge, CsI, W.
- ☞ Исследовать возможность формирования малорасходящихся протонных пучков с помощью кристаллов.
- ☞ Наладить методику измерения длин деканалирования кристаллов.

## 6. Публикации 2007 г.

1. V.A.Andreev, V.S, Demidov et al. Search for two-particle muon decay to positron and goldstone massless boson (familon). Preprint ИТЕР №1-07, Moscow, 2007, 17p.
2. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, С.А. Котов, С.М. Микиртычьянц, Г.В. Щербаков, Л.А. Аксельрод, Г.П. Гордеев, В.Н. Забенкин, И.М. Лазебник. *Изучение магнитных свойств сплава  $(Pd_xFe_{1-x})_{0.95}Mn_{0.05}$  с помощью поляризованных мюонов и нейтронов.* ФТТ, том 49, вып. 8, 2007, стр. 1421–1426.
3. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, С.А. Котов, С.М. Микиртычьянц, Г.В. Щербаков. *Исследование магнитных свойств гомогенных медно-марганцевых сплавов.* ФТТ, том 49, вып. 9, 2007, стр. 1660–1663.
4. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, С.А. Котов, С.М. Микиртычьянц, Г.В. Щербаков.  *$\mu$ SR-установка на мюонном пучке синхроциклотрона ПИЯФ РАН.* ПТЭ, том 50, № 6, 2007, стр. 36–42.
5. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, С.М. Микиртычьянц, Г.В. Щербаков. *Исследование магнитных фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей  $\mu$ SR-методом.* В сборнике: «Основные результаты научных исследований ПИЯФ РАН в 2004–2006 годах». Гатчина, ПИЯФ РАН, (в печати).
6. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, С.М. Микиртычьянц, Г.В. Щербаков, А.Е. Пестун, Я.М. Муковский. *Исследование гексагональных манганитов  $HoMnO_3$  и  $YMnO_3$  с помощью мюонного метода.* Письма в ЖЭТФ, том 85, вып. 12, 2007, стр. 795-798.
7. W.Scandale et al., High-efficiency volume reflection of an ultrarelativistic proton beam with a bent silicon crystal, Phys. Rev. Lett., vol.98, 154801 (2007).