

EPERCUR

# ЭПЕКУР\*

- поиск нестранного члена антидекуплета  
пентакварков в упругом  $\pi$ - $p$ -рассеянии и реакции

$\pi$ - $p \rightarrow K$

И.Г. Алексеев, И.Г. Бордюжин, В.П. Канавец, Л.И. Королева, Б.В. Морозов,  
В.М. Нестеров, В.В. Рыльцов, Д.Н. Свирида, А.Д. Сулимов, Д.А. Федин  
ИТЭФ, Москва

В.А. Андреев, В.В. Голубев, А.И. Ковалев, Н.Г. Козленко, В.С. Козлов, А.Г. Крившич,  
Д.В. Новинский, В.В. Сумачев, В.И. Тараканов, В.Ю. Траутман, Е.А. Филимонов  
ПИЯФ, Гатчина

M. Sadler

ACU, Abilene

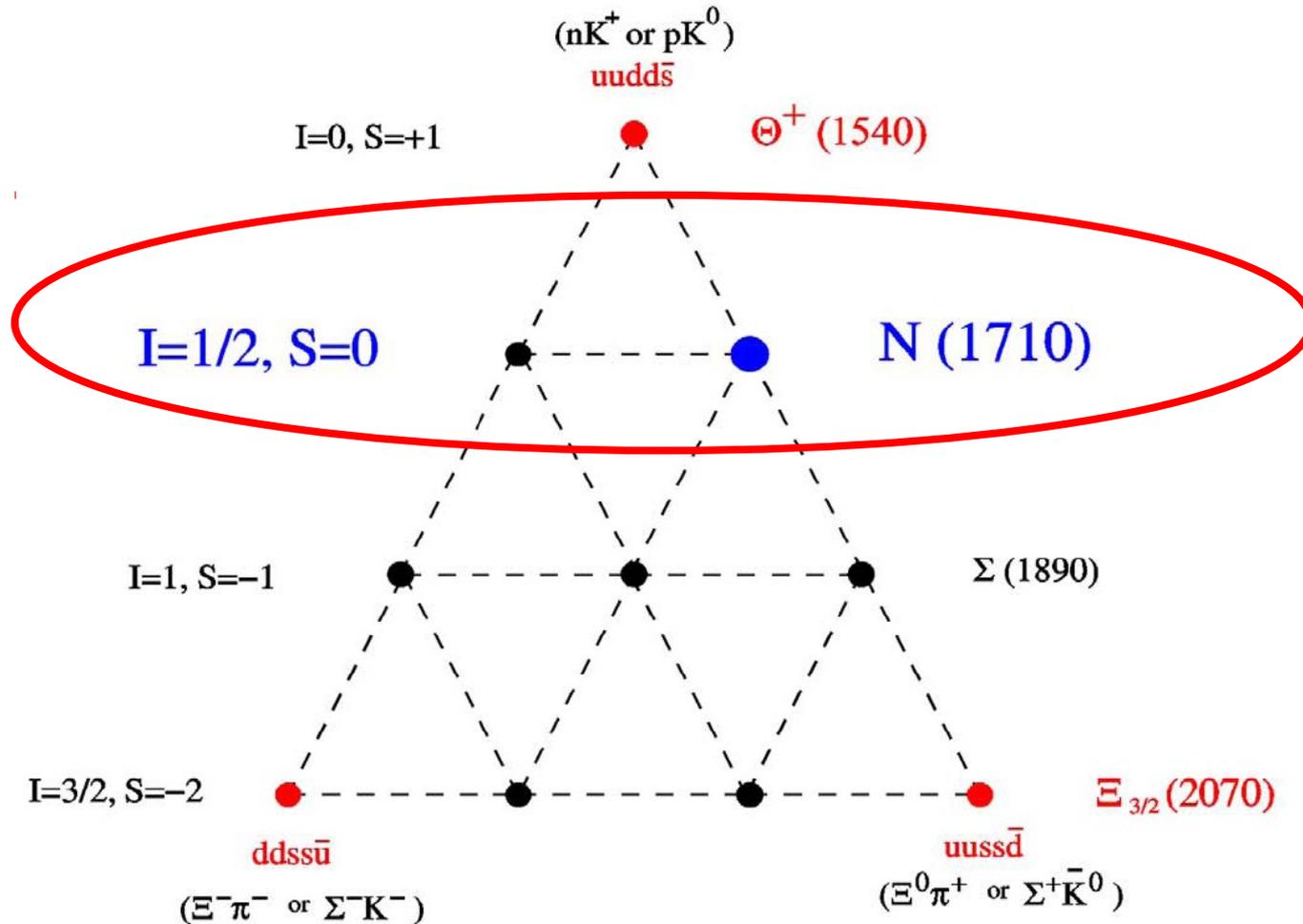
\*Эксперимент по поиску ПЕНТАКварка в Упругом Рассеянии (и реакции  $\pi$ - $p \rightarrow KS0$ )

Семинар Отделения физики высоких энергий ПИЯФ, 19 апреля 2011 года

# Антидекуплет пентакварков



anti-decuplet in the chiral soliton model by Diakonov, Petrov and Polyakov (1997)





# 2009 PHYSICS EVENTS - EDINBURGH - SCOTLAND

## **Narrow Nucleon Resonances:**

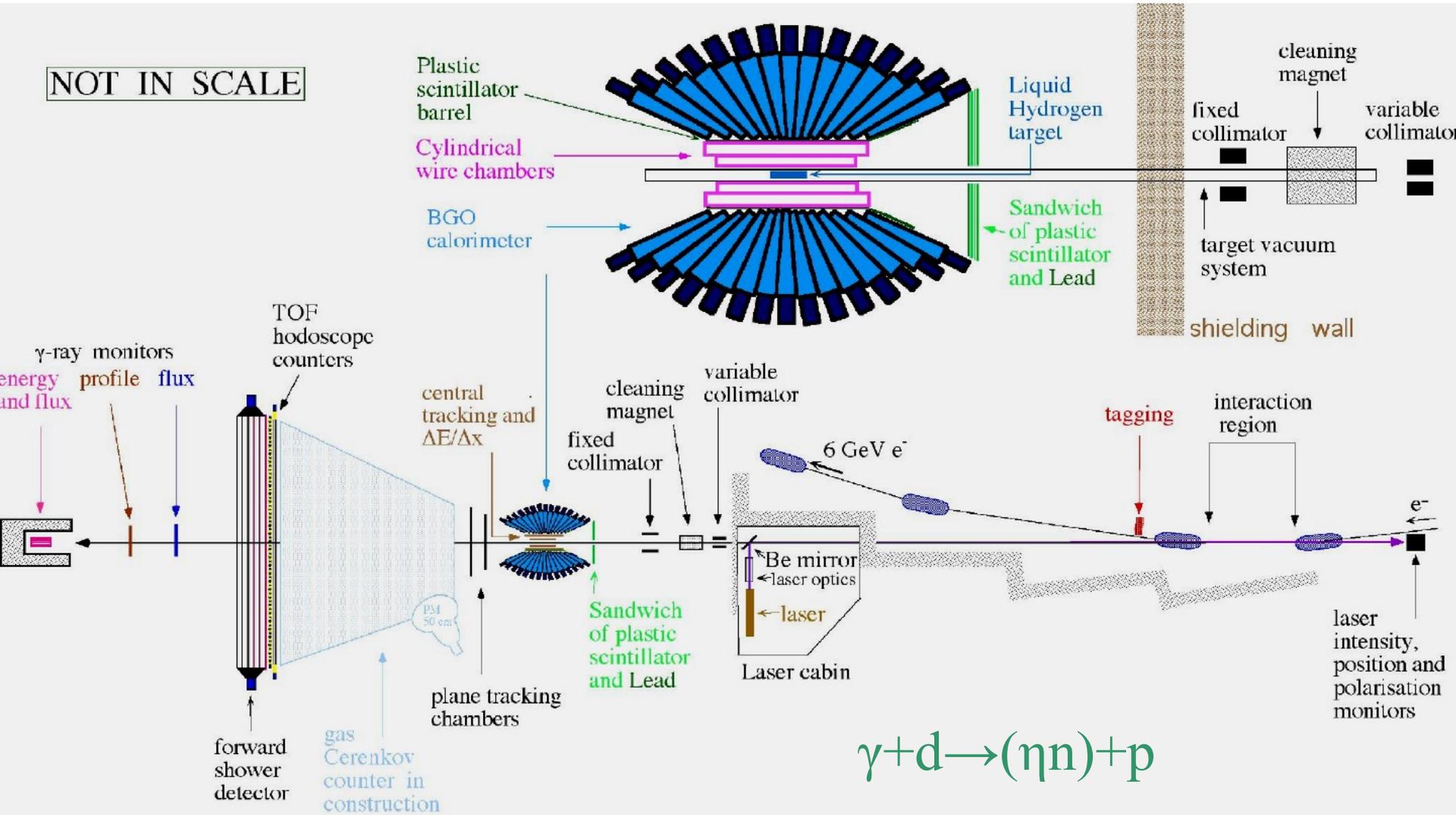
## **Predictions, Evidences, Perspectives**

Эдинбург, 8-11 июня 2009 года: <http://2009physicssevents.org>

# **$N(1685) ???$**

- Фоторождение  $\eta$ -мезона на нейтроне
- Комптоновское рассеяние на нейтроне

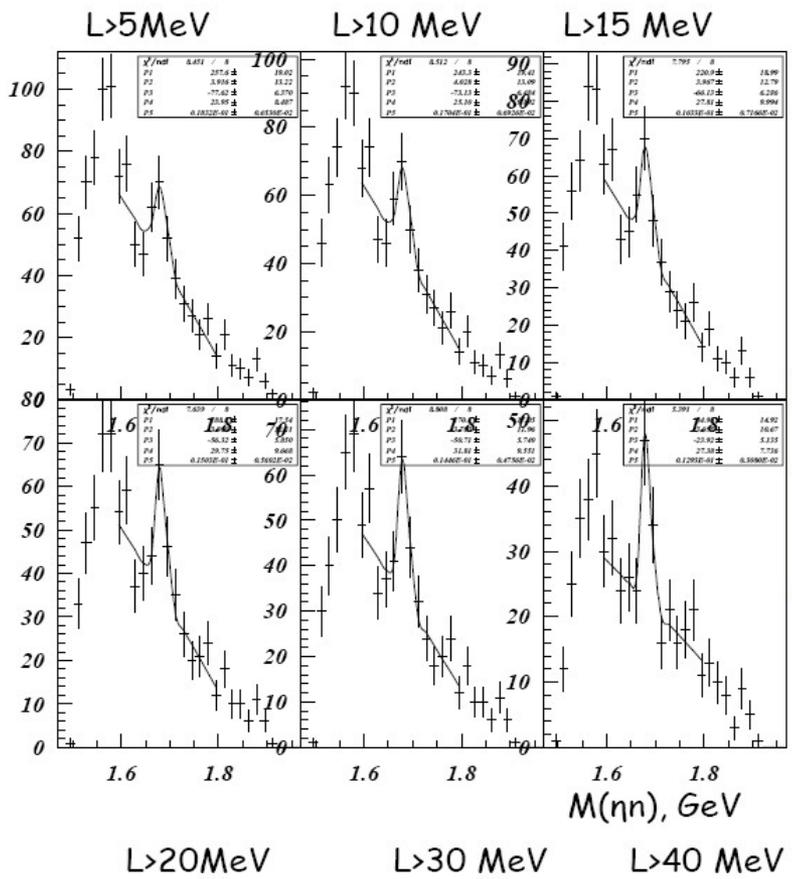
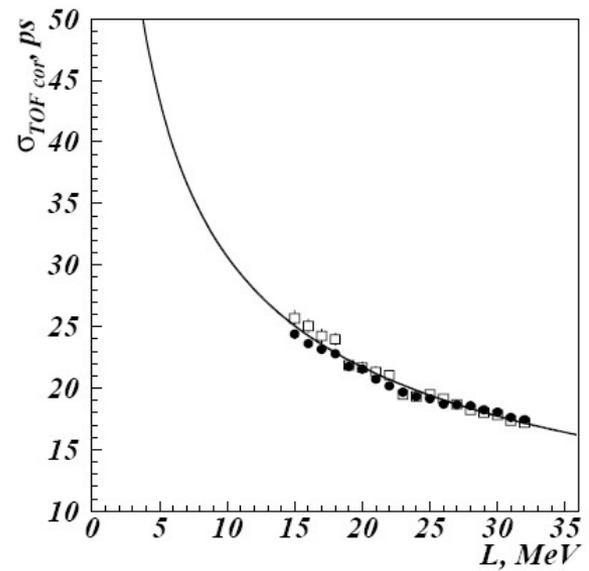
# GRAAL Setup



# Dependence of $M(\eta n)$ spectrum on TOF resolution (different cuts on the neutron light output in the Russian Wall at GRAAL)

$$\sigma(M(\eta n)) \sim \sigma_{TOF}$$

$$\sigma_{TOF} \sim 1/\sqrt{\text{Light output}}$$



Narrow peak  
 $\Gamma \leq 30$  MeV

“Test Measurements of prototype counters for CLAS12 Central Time-of-Flight System using 45-MeV protons”,  
V.Kuznetsov et al, CLAS-Note 2009-016, Arxiv 0905.4109 [Phys-Det].



Russian Wall at GRAAL,

# comparison of free and quasi-free cross sections

quasi-free total cross sections corrected for Fermi smearing with correction factors calculated by folding known free proton cross section, respectively ETA-MAID prediction with momentum distribution of bound nucleons.

result:

in  $S_{11}(1535)$  peak below 0.9 GeV perfect agreement between free and quasi-free proton data and quasi-free neutron data scaled by 2/3.

Fit parameters for  $S_{11}$  Breit-Wigner:

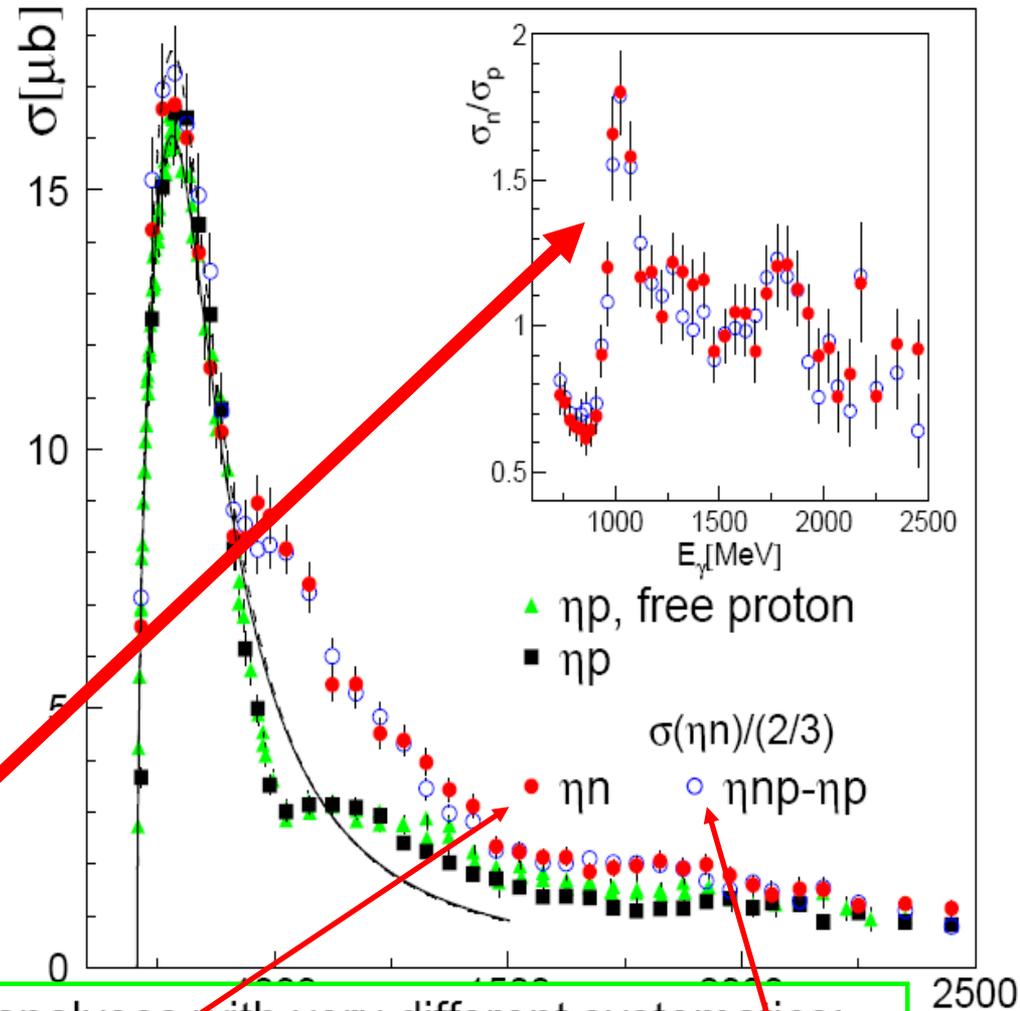
proton:

$W=1538$  MeV,  $\Gamma=157$  MeV,  $A_{1/2}^p=103$

neutron:

$W=1538$  MeV,  $\Gamma=148$  MeV,  $A_{1/2}^n=85$

narrow structure around 1 GeV in neutron/proton ratio,



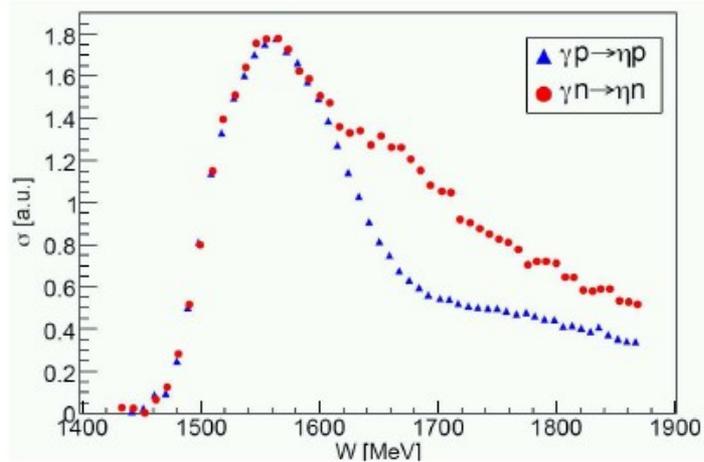
cross section for  $\gamma n \rightarrow \eta n$  from two analyses with very different systematics:

(1)  $\eta$  in coincidence with recoil neutrons

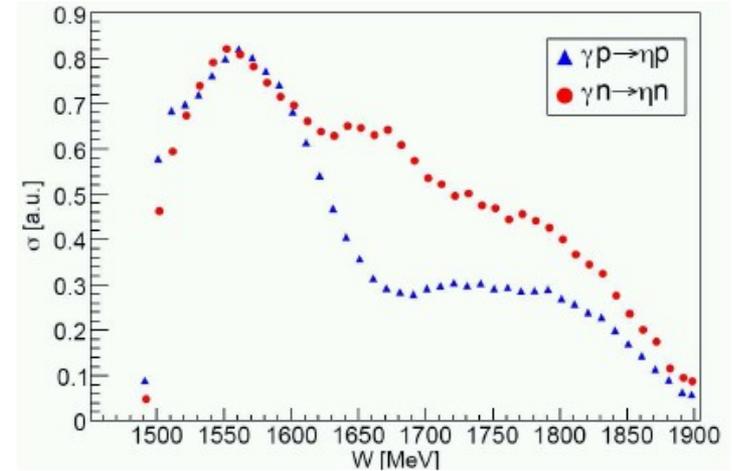
(2) difference of inclusive cross section and  $\eta$  in coincidence with recoil protons

# preliminary excitation functions (PhD thesis D. Werthmüller)

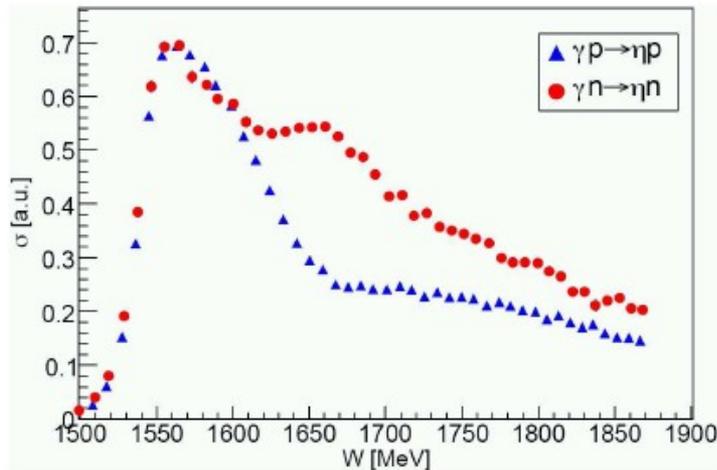
●  $W = f(E_\gamma), 130 < \Delta\Phi < 220$



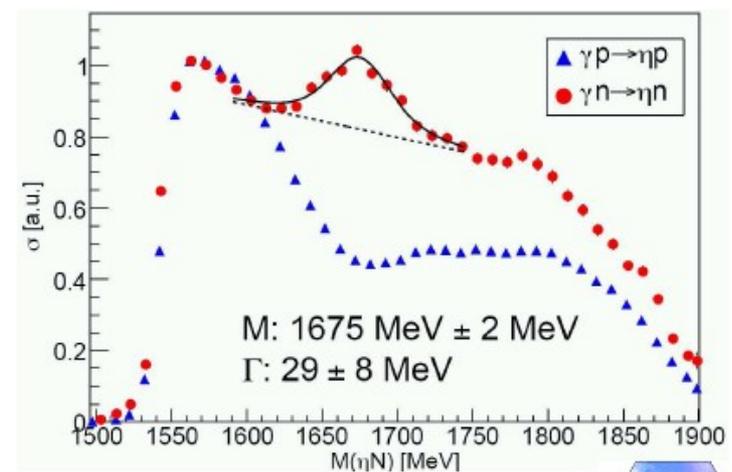
●  $W = f(n, \eta), 130 < \Delta\Phi < 220$



●  $W = f(E_\gamma), 170 < \Delta\Phi < 190$



●  $W = f(n, \eta), 170 < \Delta\Phi < 190$



# Comparison Narrow Structure

- narrow structure in excitation function of  $\gamma n \rightarrow n\eta$ :

- **GRAAL:**  $W \approx 1680 \text{ MeV}, \Gamma < 30 \text{ MeV}$

- **Tohoku-LNS:**  $W \approx 1666 \text{ MeV}, \Gamma < 40 \text{ MeV}$

- **ELSA:**  $W \approx 1685 \text{ MeV}, \Gamma < 60 \text{ MeV}$

- **MAMI-C:**  $W \approx 1675 \text{ MeV}, \Gamma < 40 \text{ MeV}$

- Effect of photo-excitation of D15(1675) ?
- Coupled channel effect of S11(1535) and P11(1710) ?
- Interference effect of S11(1535) and S11(1650) ?
- New narrow state with stronger photo-coupling to the neutron ?
  - polarization observables needed !!



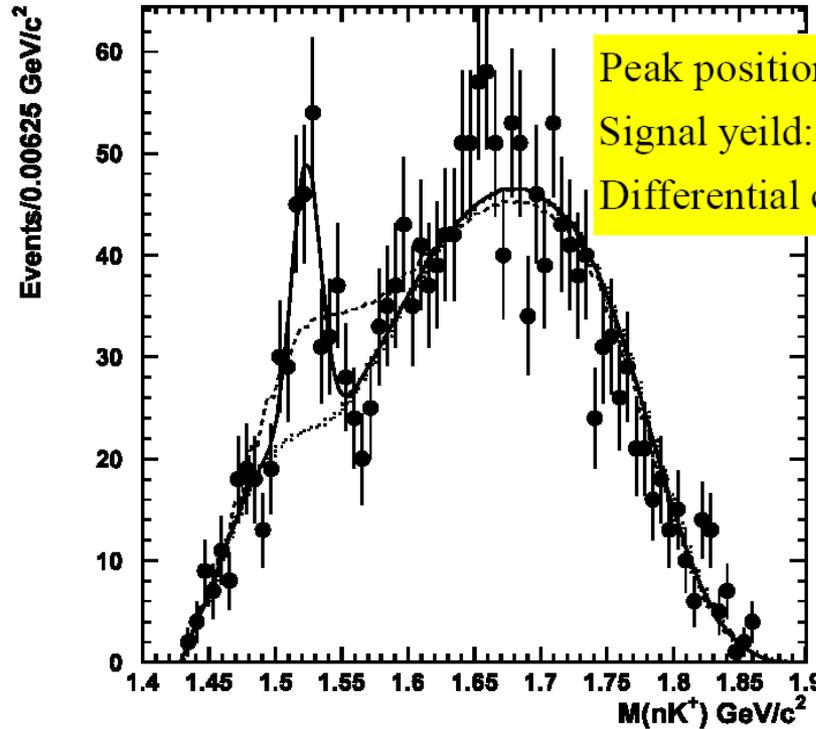
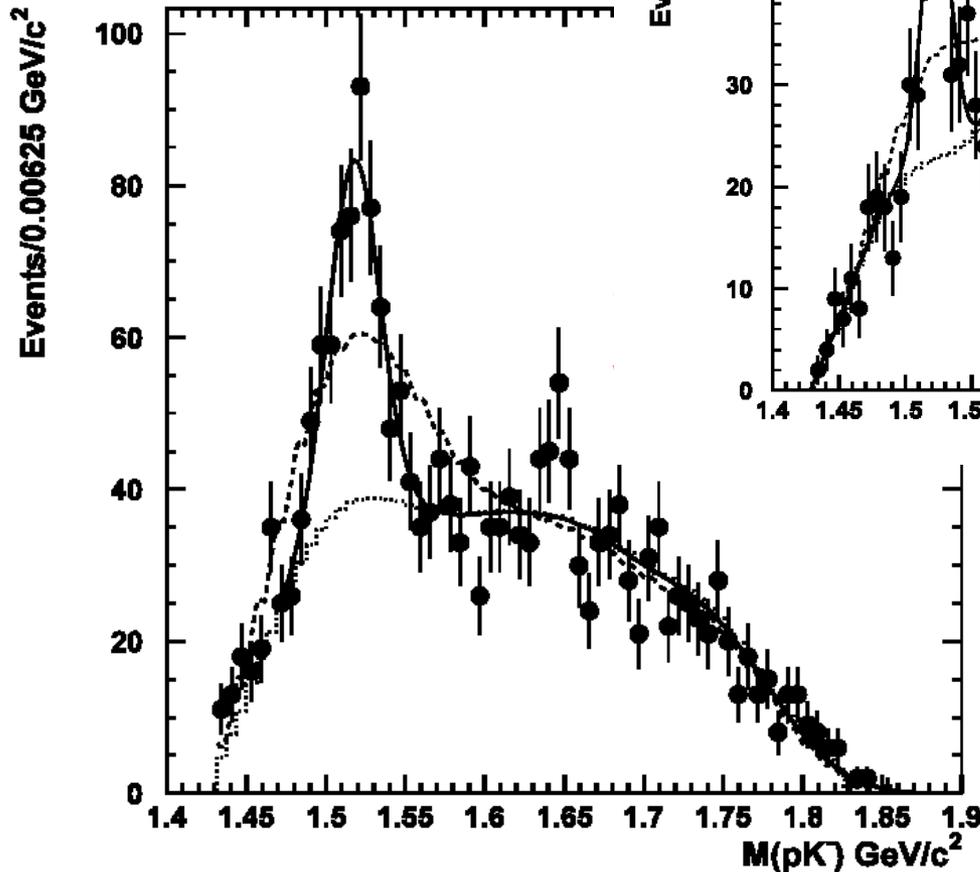
- ✓ Узкая особенность наблюдается:
  - $d\sigma/d\Omega \gamma n \rightarrow \eta n$  (GRAAL, ELSA, MAMI, LNS)
  - $d\sigma/d\Omega \gamma n \rightarrow \gamma n$  (GRAAL)
  - $\sigma \gamma p \rightarrow \eta p, \gamma n \rightarrow \sigma^0 n$  ( $\sigma$ GRAAL -CLAS -MAMI)

✗ Не наблюдается:

- $d\sigma/d\Omega \gamma p \rightarrow X$  (GRAAL, CLAS, etc)
- $d\sigma/d\Omega \gamma n \rightarrow \sigma^0 n$  (GRAAL, LNS, etc)
- $C_x \gamma n \rightarrow \sigma^0 n$  (MAMI)
- $\sigma \gamma p \rightarrow \sigma^0 p$  (ELSA)

$\square + \square nK^+$

$\square (1520) \square pK^-$

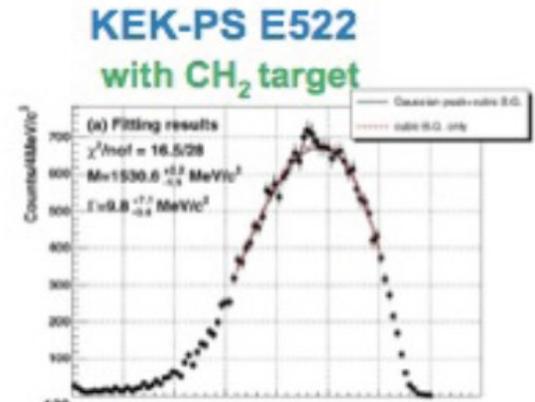
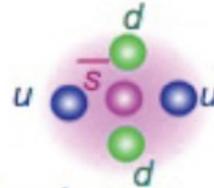


Peak position:  $1.527 \pm 0.002 \text{ GeV}/c^2$   
Signal yield:  $116 \pm 21$  events  
Differential cross-section:  $12 \pm 2 \text{ nb}/\text{sr}$

Probability of  $1/5000000$  may not be low enough.  
"Extraordinary claim requires an extraordinary evidence."  
High statistics data was collected in 2006-2007 with the same experimental setup.  
Blind analysis is under way to check the  $\Theta^+$  peak

# E19: Search for pentaquark, $\Theta^+$ , by $\pi^- p \rightarrow K^- X$ reaction $\sim 2\text{GeV}/c$

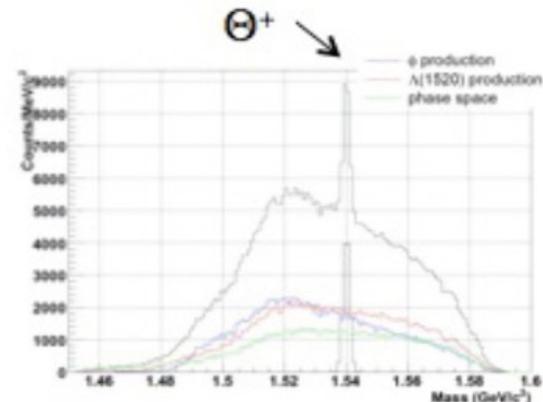
- Exotic five quark state ( $qqqq\bar{q}$ )  
c.f. meson( $q\bar{q}$ ), baryon( $qqq$ )
- Existence/No existence is not established yet.
  - Positive results at low energy  
LEPS, etc
  - Negative results at high energy
  - Acceptance is different . LEPS .vs. CLAS
- Very narrow width. Why ?



PLB635(2006)72

## Expected spectrum

Search for  $\Theta^+$  by hadronic reaction,  
 $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$  channel with Liq.  $\text{H}_2$   
 high resolution of  $\sim 2\text{MeV}$   
 high statistics of  $62\sigma$



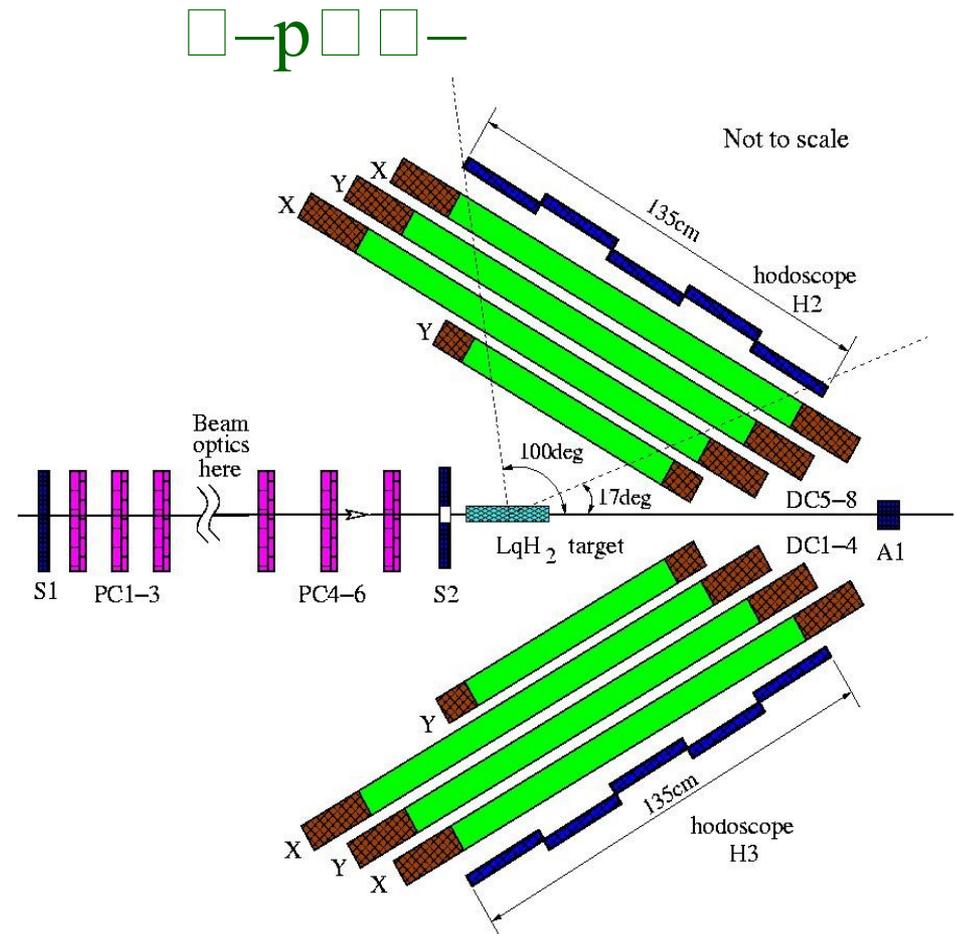
1 week data-taking with  $10^7/\text{spill}$  beam  
 based on KEK-E522 result

Day-1 experiment!



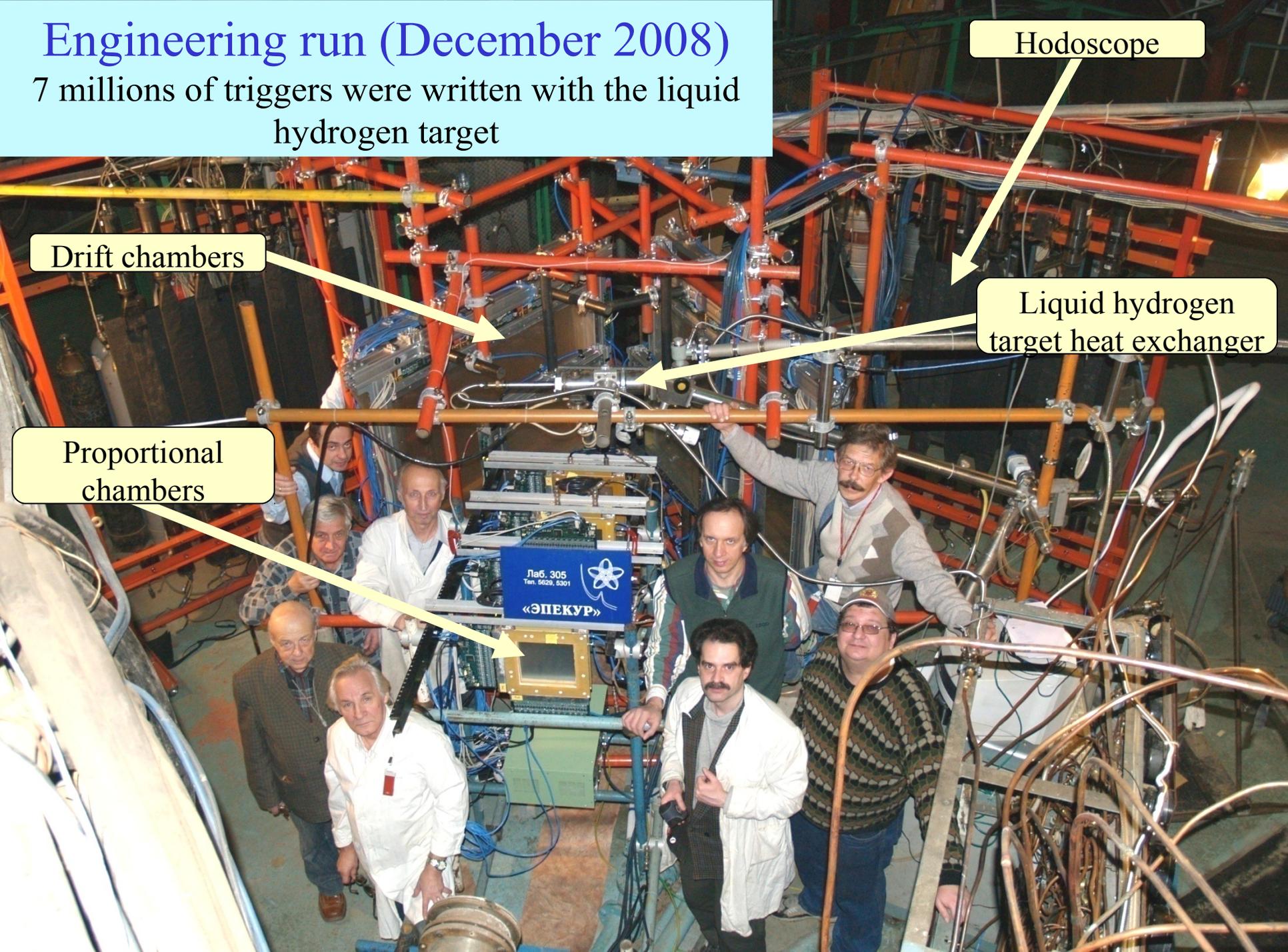
# Установка для упругой реакции

- Пионный пучок ускорителя У-10 ИТЭФ с большим углом поворота (322), нитевая или сепараторная мишень в кольце.
- Пропорциональные камеры в первом фокусе и во втором перед мишенью.
- Жидководородная мишень длиной по пучку 25 см.
- Система дрейфовых камер DC1—DC8 для регистрации рассеянных частиц.
- Система триггерных счетчиков S1, S2, A1 и H2, H3 с возможностью измерения времени пролета (идентификация протона отдачи).
- Измерение полей поворотных магнитов с точностью лучше 0.1% (ЯМР).
- Измерение разности времен пролета пионов и антипротонов между S1 и пучковым вето-счетчиком A1, позволит с высокой точностью контролировать импульс в каждом импульсном диапазоне.



# Engineering run (December 2008)

7 millions of triggers were written with the liquid hydrogen target



Drift chambers

Proportional chambers

Hodoscope

Liquid hydrogen target heat exchanger

Лаб. 305  
Тел. 5629, 5301

«ЭПЕКУР»



# Калибровка импульса канала по импульсу ускорителя

Пропорциональны  
е камеры

2й фокус

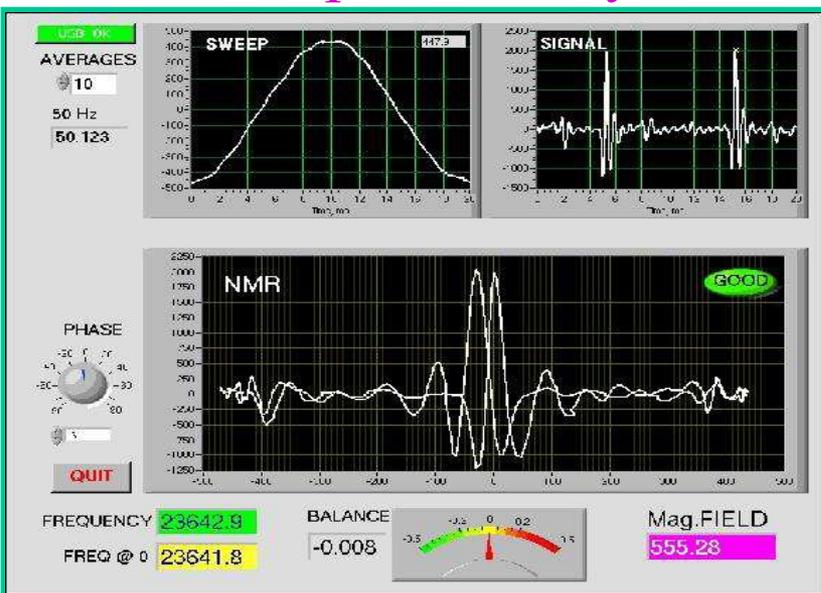
Поворотный  
магнит

1й фокус

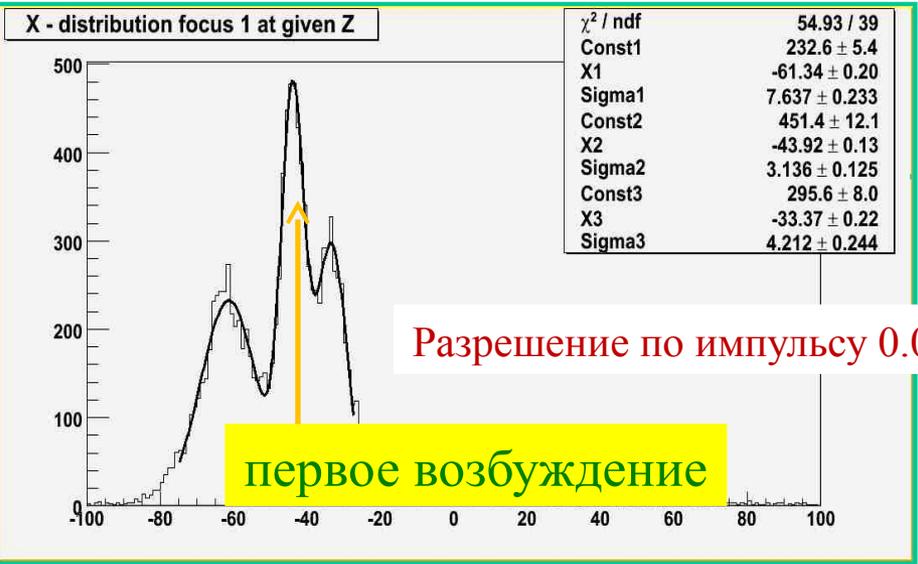
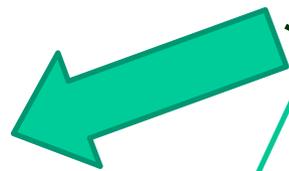
Пропорциональны  
е камеры

$p + 7\text{Be} \square p + 7\text{Be}^*$

Внутренняя  
бериллиевая мишень



Датчик  
ЯМР



Разрешение по импульсу 0.06%.

первое возбуждение

Импульсы ускорителя: 1.06, 1.20 и 1.30 ГэВ/с.



# Триггер

Основной триггер – срабатывание камер и пучковых счетчиков плюс отсутствие сигнала в антисчетчике – очень мягкий триггер.

~10 тысяч триггеров за сброс при способности системы принять более 100 тысяч.

Счетчик перед мишенью

Антисчетчик

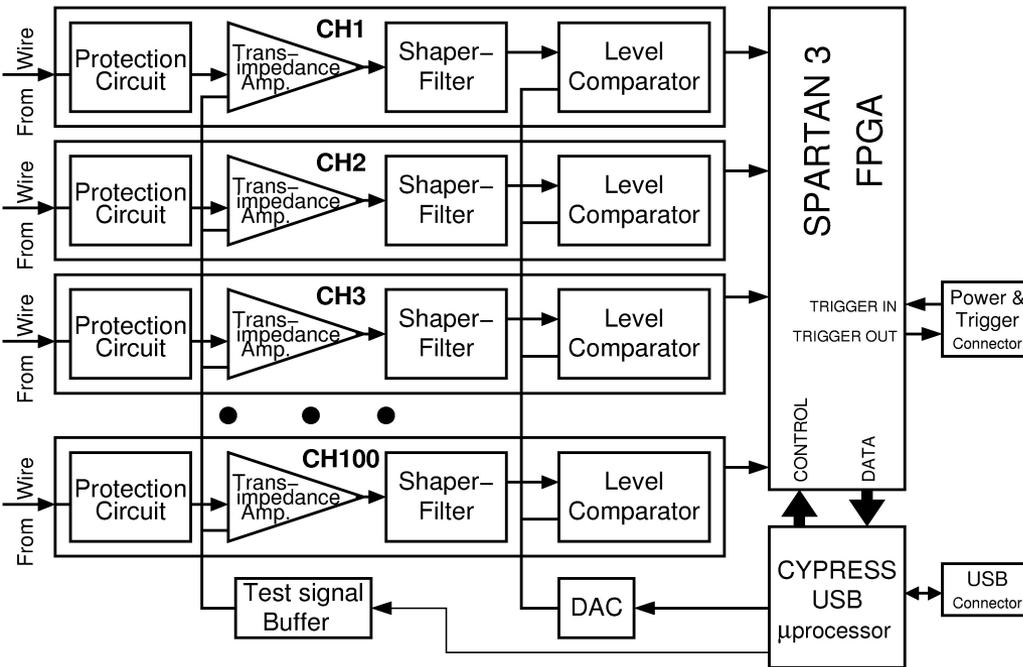
Мажоританое совпадение 3 из 8 пропорциональных камер

Упругие события – около 2%

The screenshot displays the trigger control software interface. At the top, it shows 'Gate Delay, ms' and 'Gate Length, ms' both set to 500. Below these are status buttons: 'USB OK' (green), 'BEAM' (green), 'BLOCK' (red), 'Running' (green), 'Emulate Cycle' (OFF), and 'Ext Gate' (blue). A 'QUIT' button is also present. Two graphs are shown: 'BEAM IN GATE' (Time, ms) and 'BEAM IN CYCLES' (Cycles). The 'Trigger Conditions' section includes parameters for P3, Api, Ap, Prop1F, Prop2F, and Prescalers. The 'Additional Scalers' section shows counts for 1FLeft, 1FRight, and Special Scalers (Beam 1F, Beam 2F Blk). The 'Triggers' section shows 'Triggers NonBlocked' and 'Triggers' counts.

Trigger Conditions	Main	Mom1F	Peak2F	TOFpi	TOFp	Rsrv
P3	108129					
Api	95930					
Ap	95933					
Prop1F	327470					
Prop2F	108084					
Prescalers	1	101	908	187	1	1
Prop	10	40				
Drift	10	300				
TOF	10	4095				
Length (x5 ns)	0	0	0	0	0	0
Busy	0	0	0	0	0	0

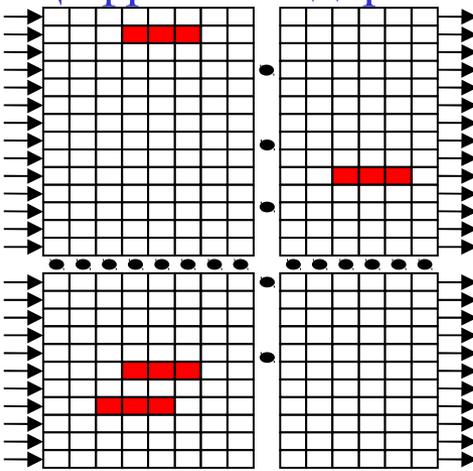
# Платы



## Платы для дрейфовых камер:

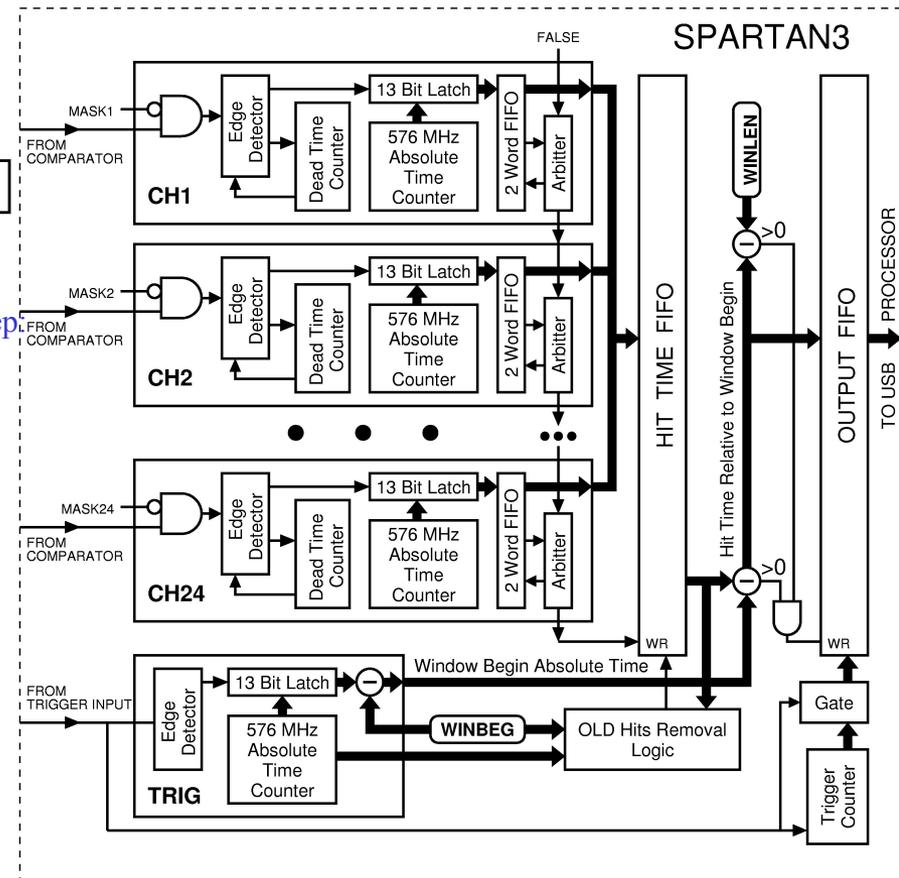
- 24 канала
- малозумящий трансимпедансный усилитель
- программируемый порог
- эффективная частота оцифровки времени 576 МГц
- мертвое время 1500 нс
- передача данных по USB 2.0
- размер платы 300x50 мм<sup>2</sup>
- выделяемая мощность 5.5 Вт
- измерение температуры

## Цифровая задержка



## Платы для пропорциональных камер:

- 100 каналов
- малозумящий трансимпедансный усилитель
- программируемый порог
- рабочая частота 96 МГц
- цифровая задержка
- мертвое время 200 нс
- передача данных по USB 2.0
- размер платы 270x120 мм<sup>2</sup>
- выделяемая мощность 18 Вт



## Программируемая длина

Платы

USB 2.0

Входы

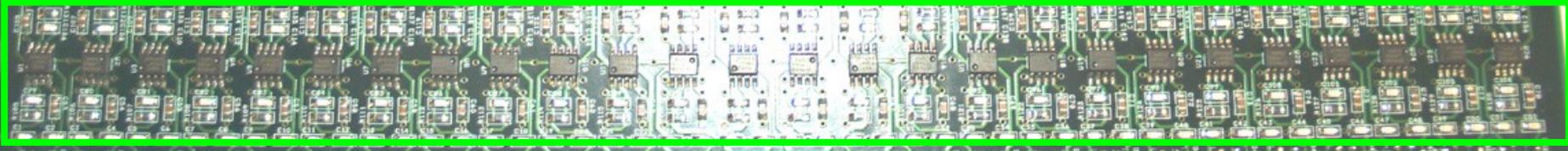
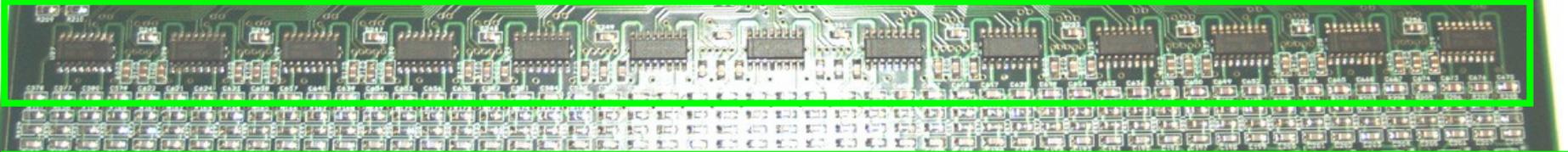
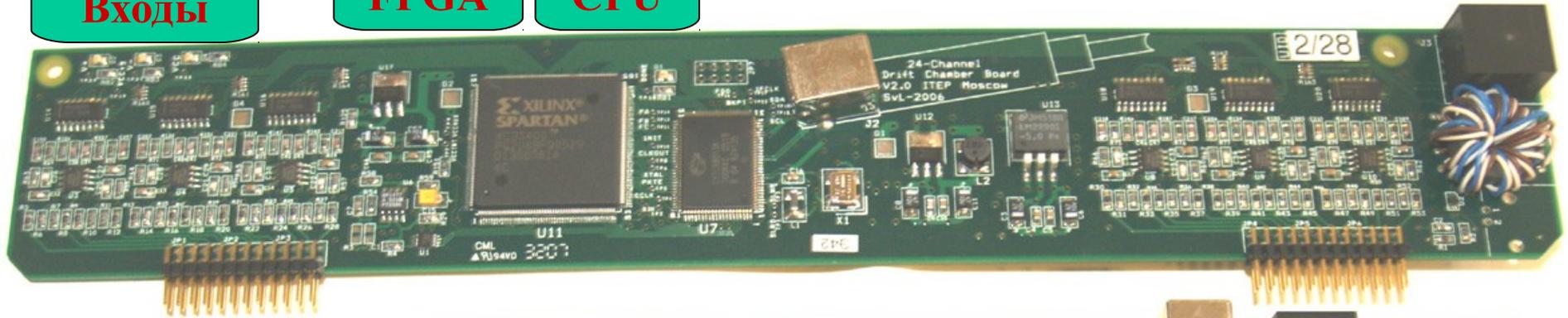
Питание и  
триггер



Входы

FPGA

CPU



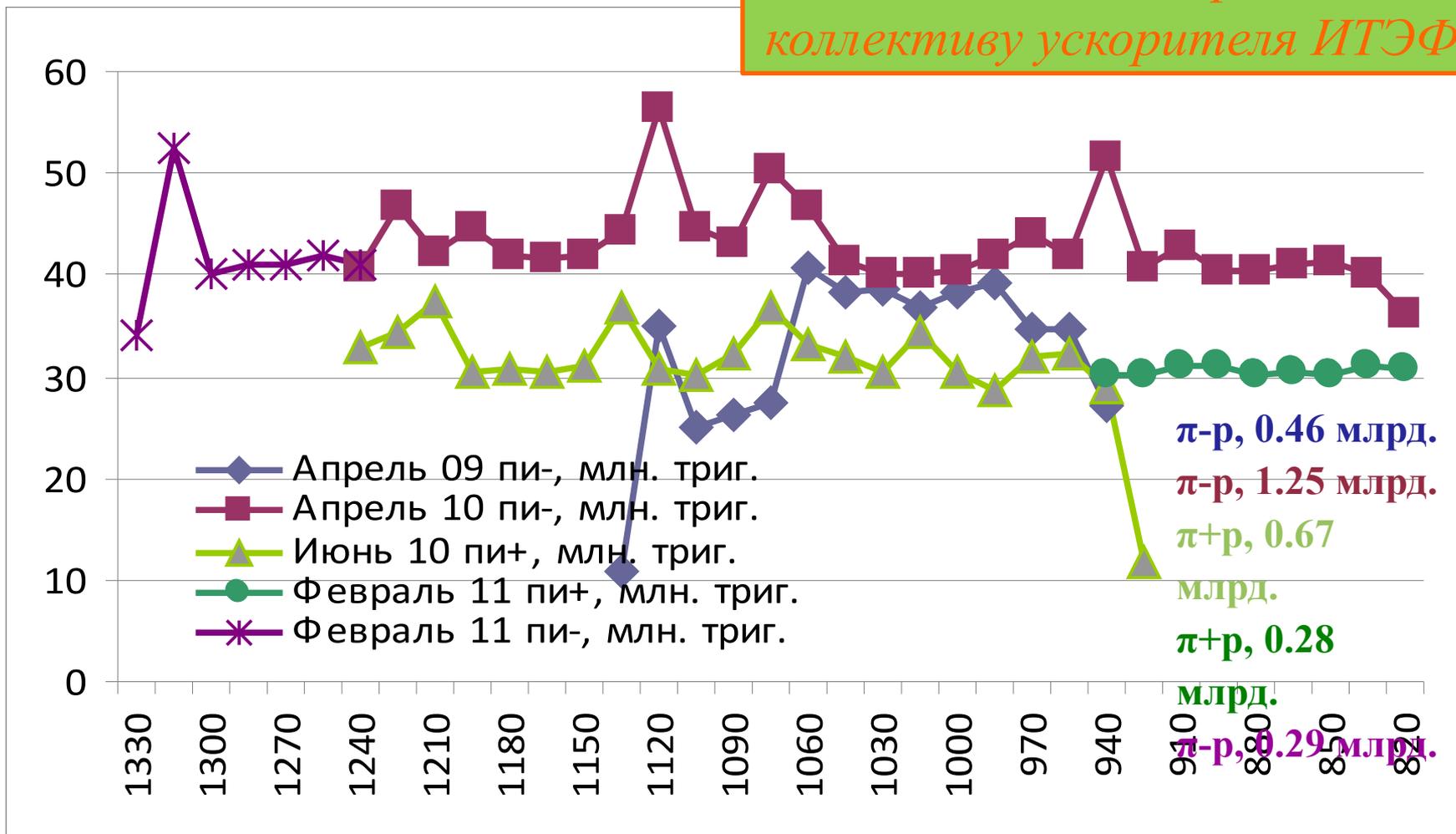
Усилители

Компараторы

# Набор статистики



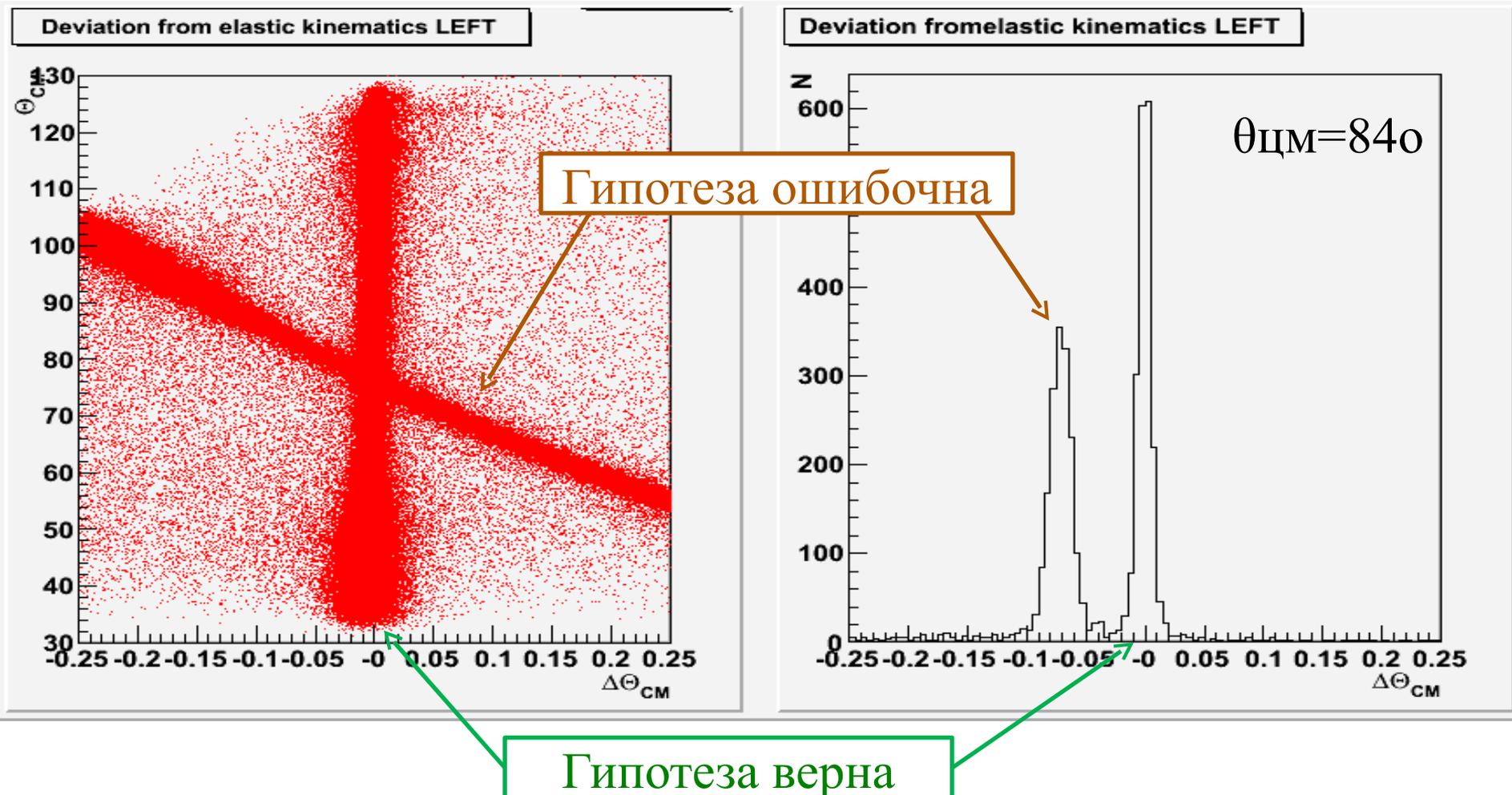
*Особая благодарность коллективу ускорителя ИТЭФ!*



# Выделение упругих событий



Гипотеза – пион полетел в левое плечо



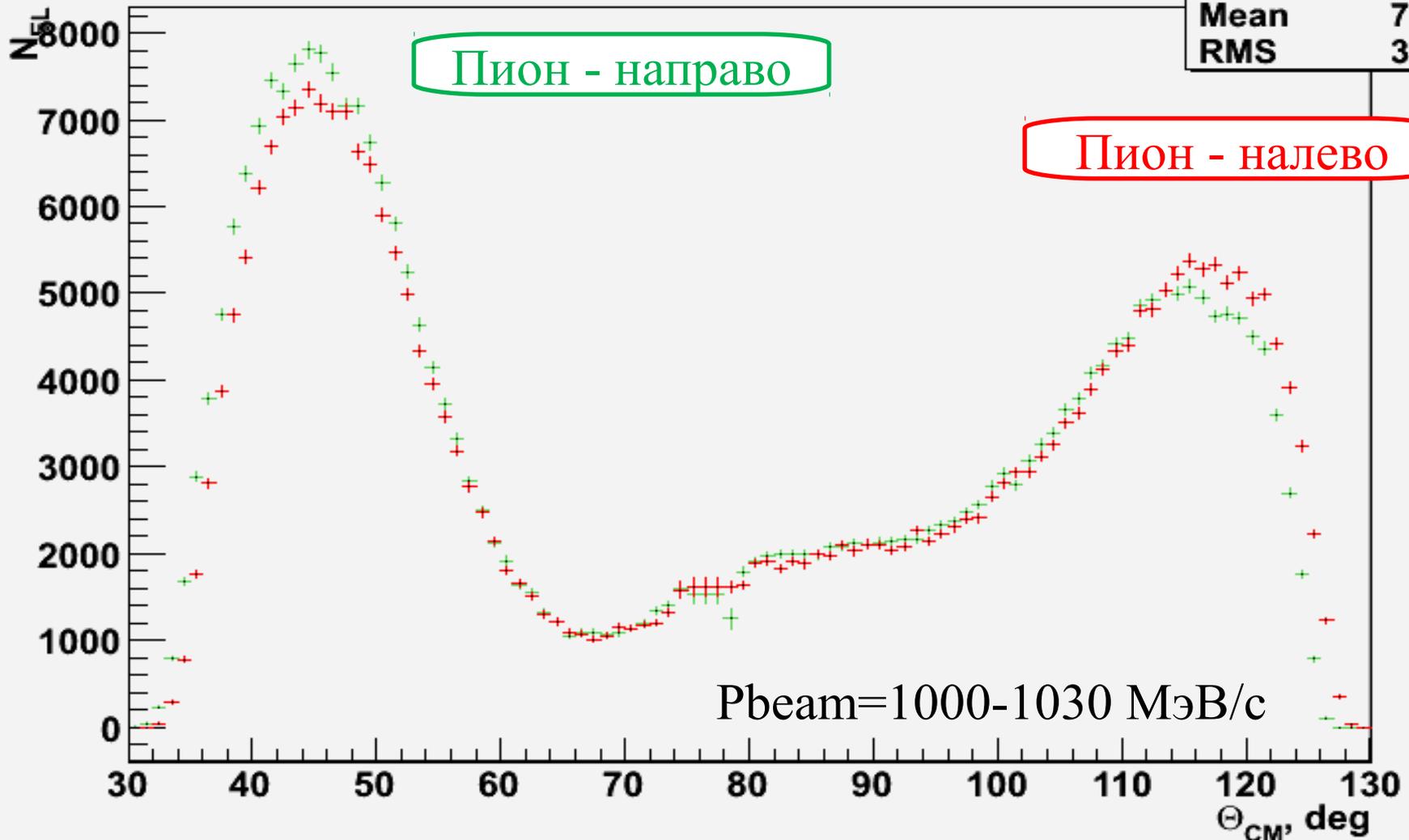
# Угловое распределение упругих событий

(без нормировок)



Number of elastic events vs c.m. scattering angle

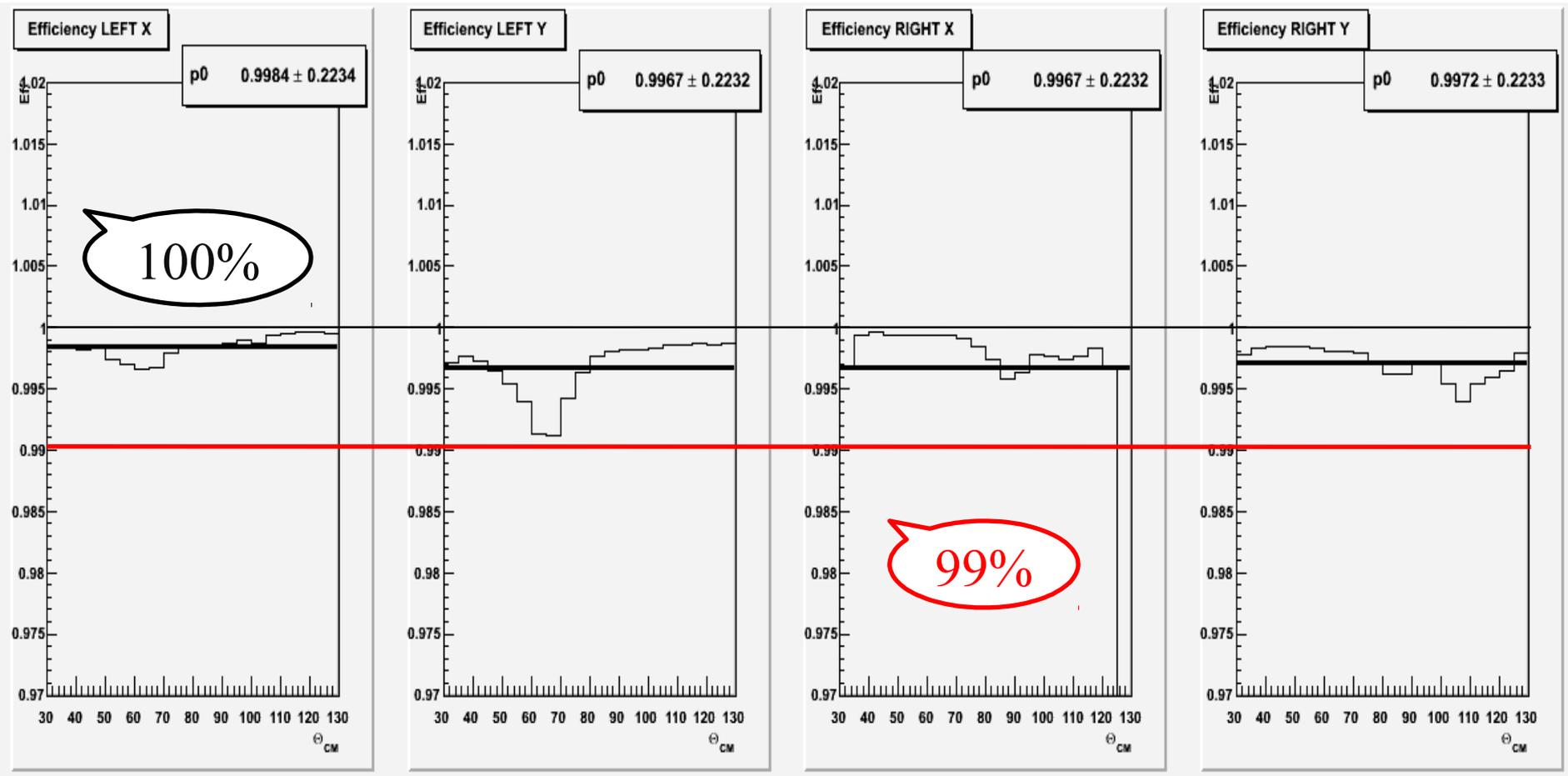
h142	
Entries	100
Mean	76.16
RMS	30.24



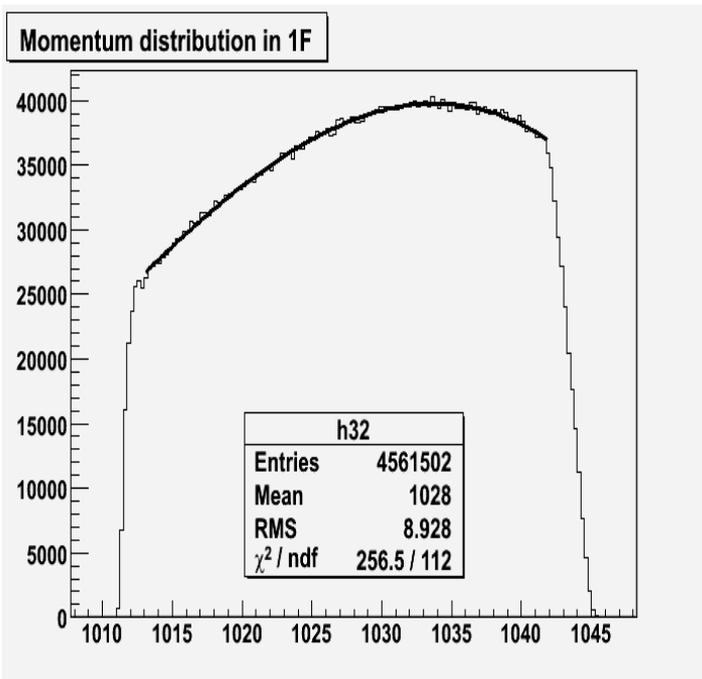
# Трековая эффективность



При проведении трека требуется наличие срабатывания хотя бы в трех из четырех возможных плоскостей дрейфовых камер в каждой проекции.

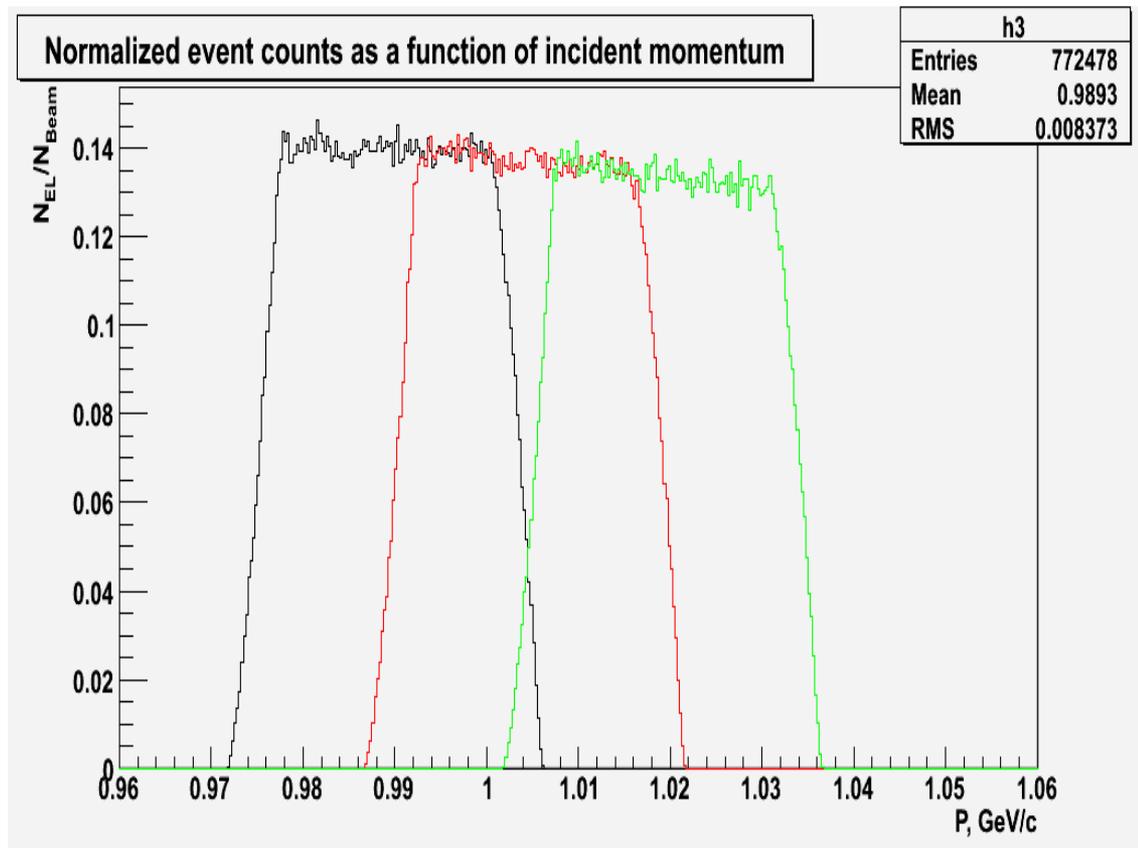


# Сшивка импульсных интервалов

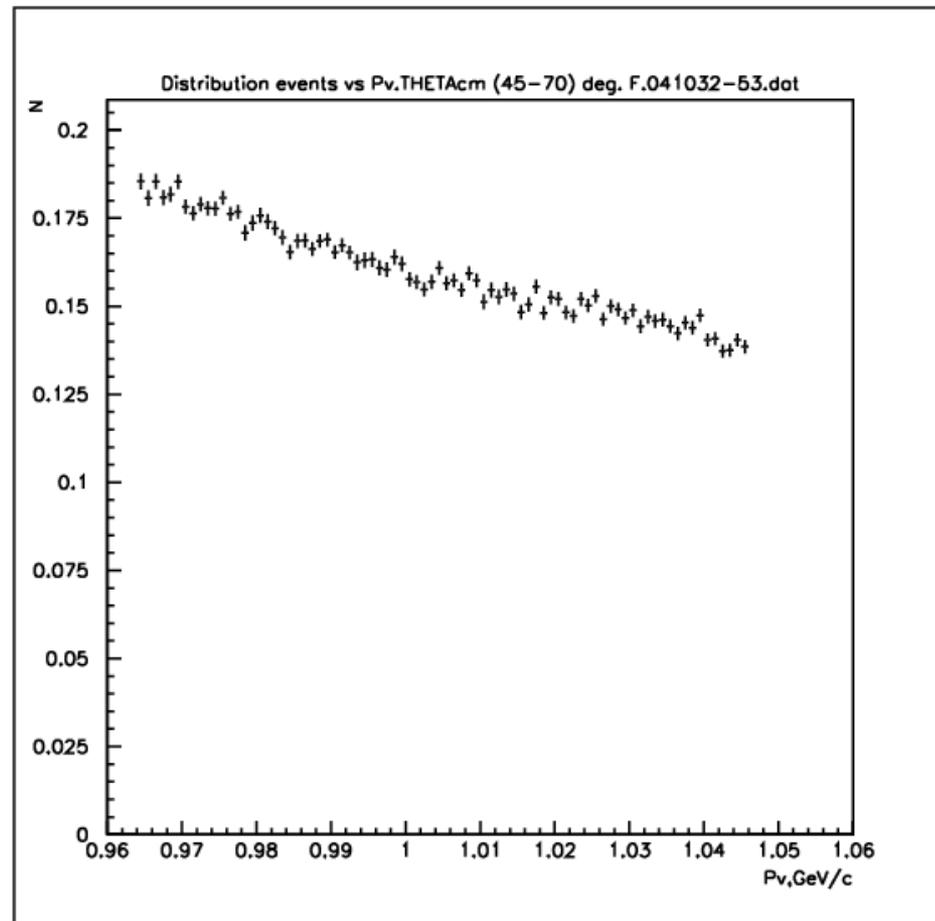
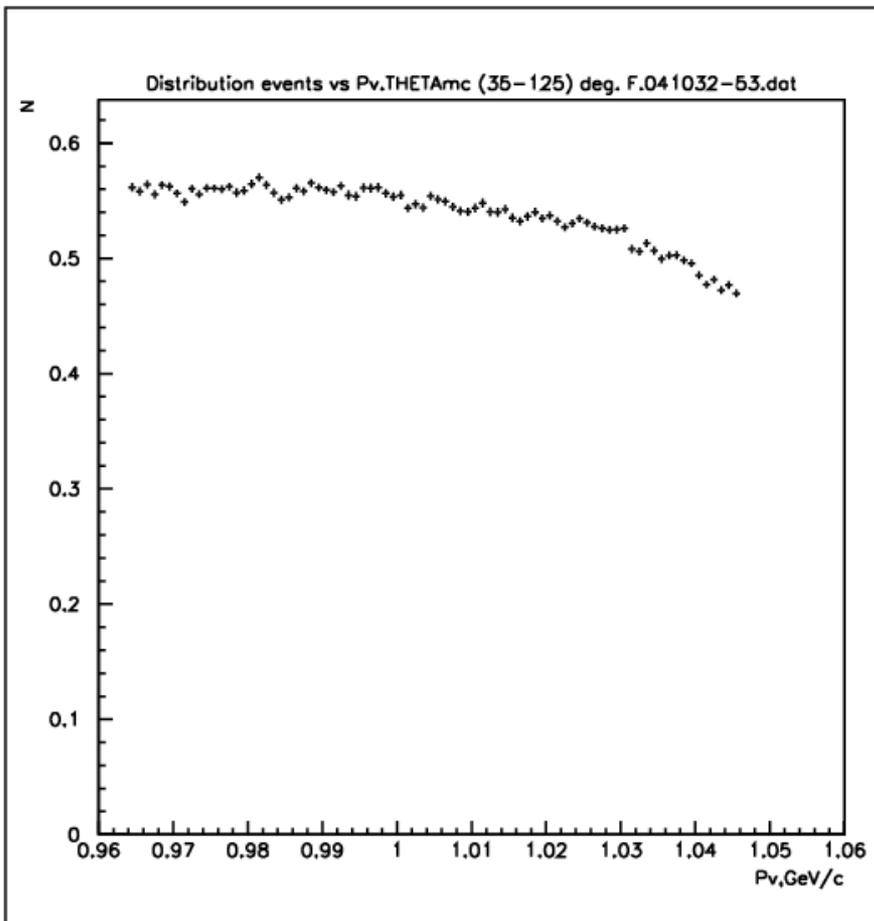


Распределение по импульсам в одном импульсном интервале — триггер “Mom1F”.

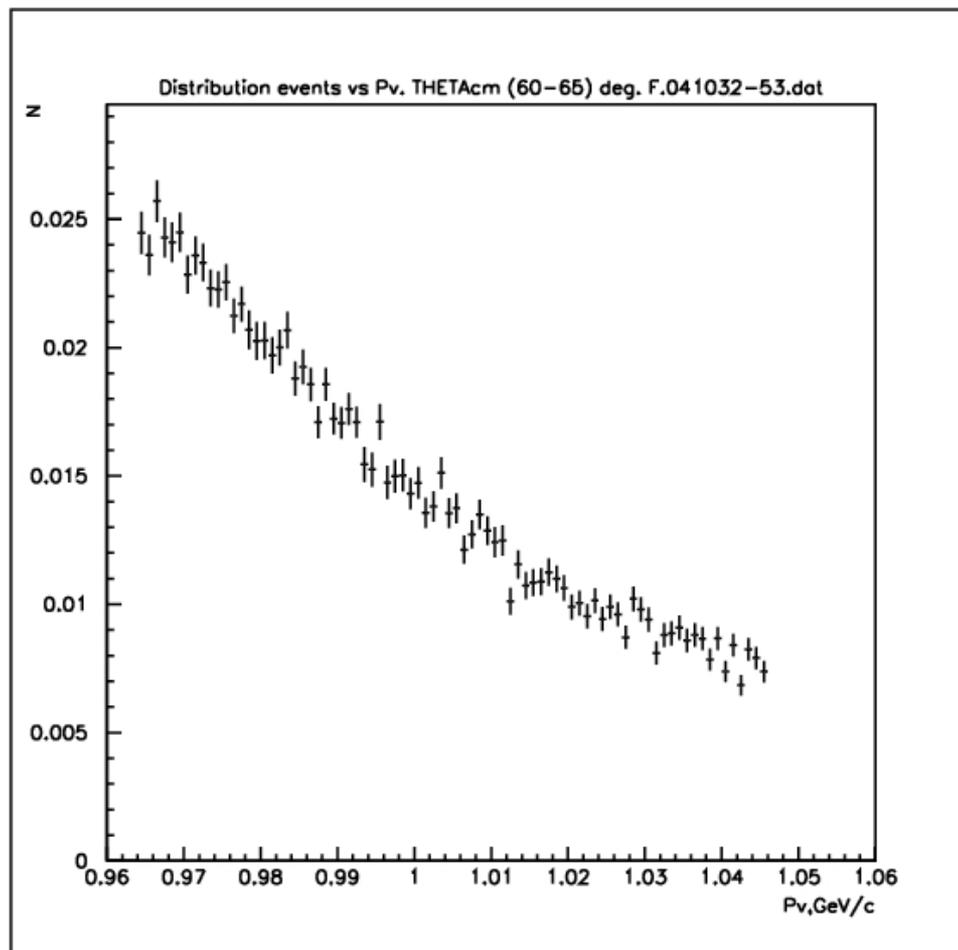
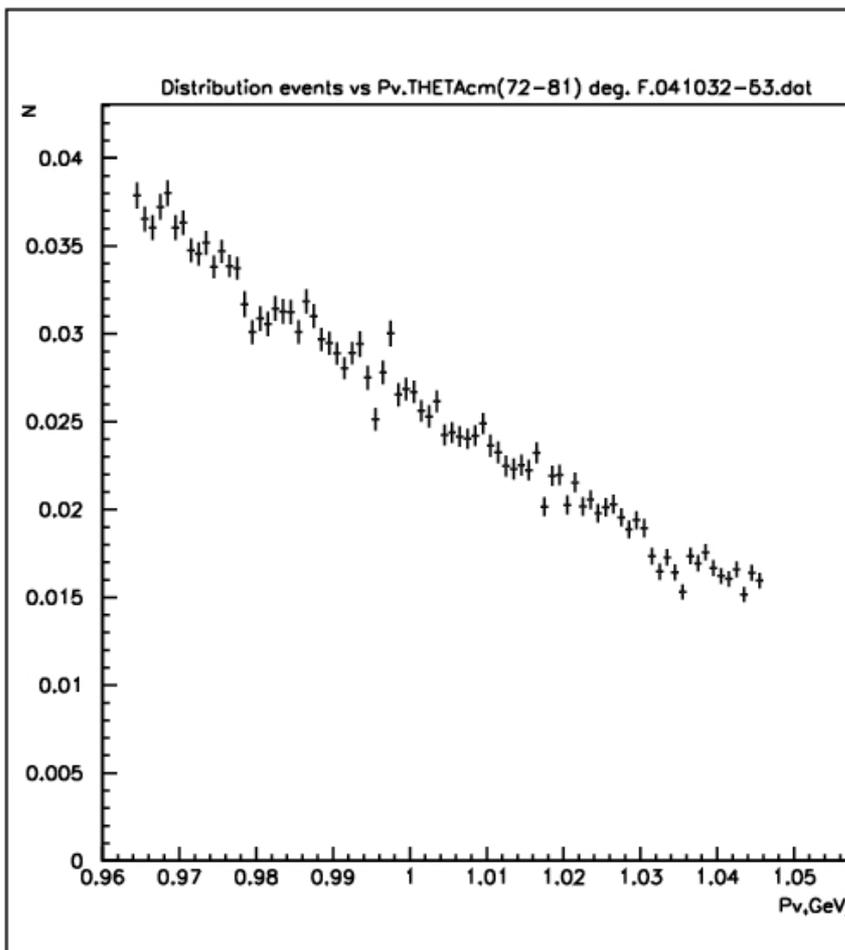
Отношение числа упругих событий к числу нормировочных событий. «Сшивка» соседних интервалов не хуже 0.7%.



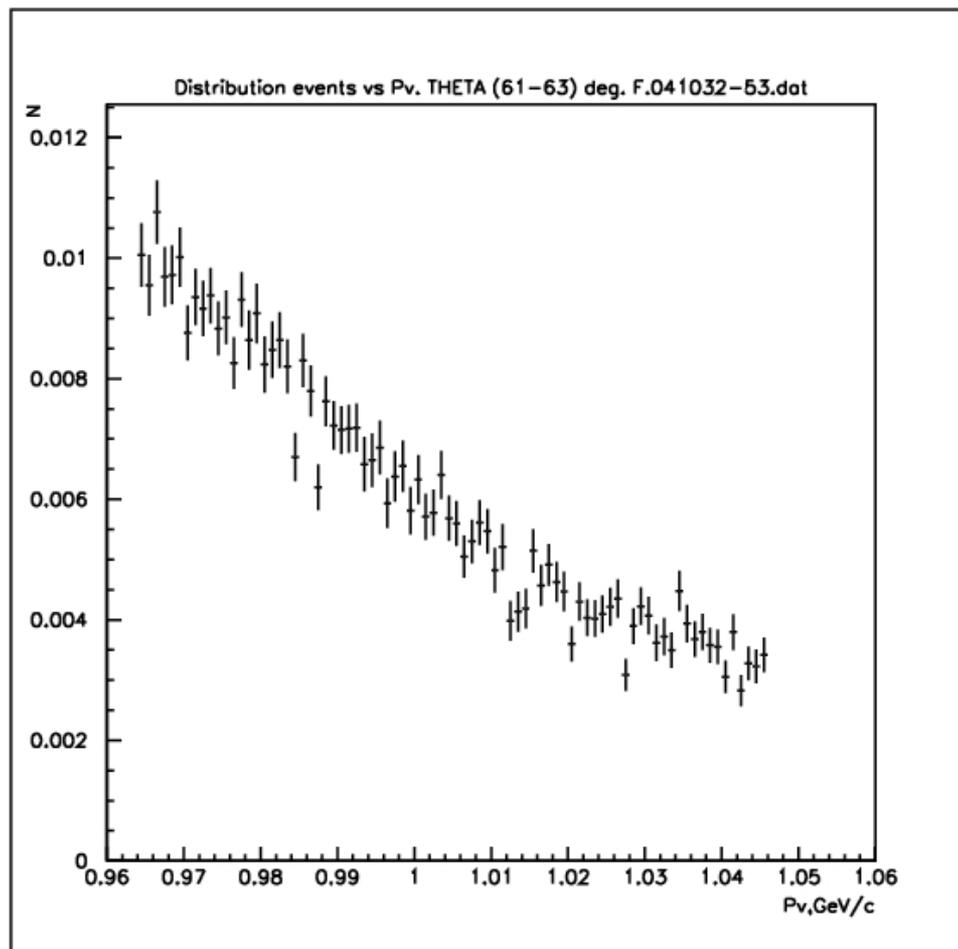
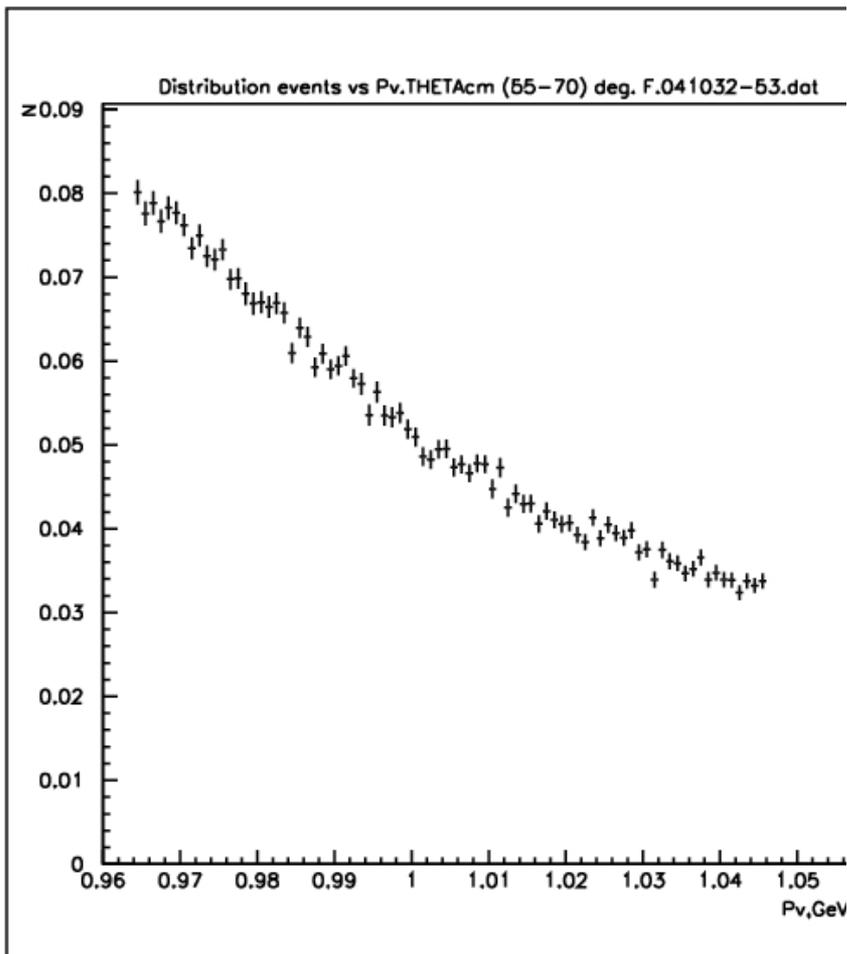
# Зависимость от энергии



# Зависимость от энергии

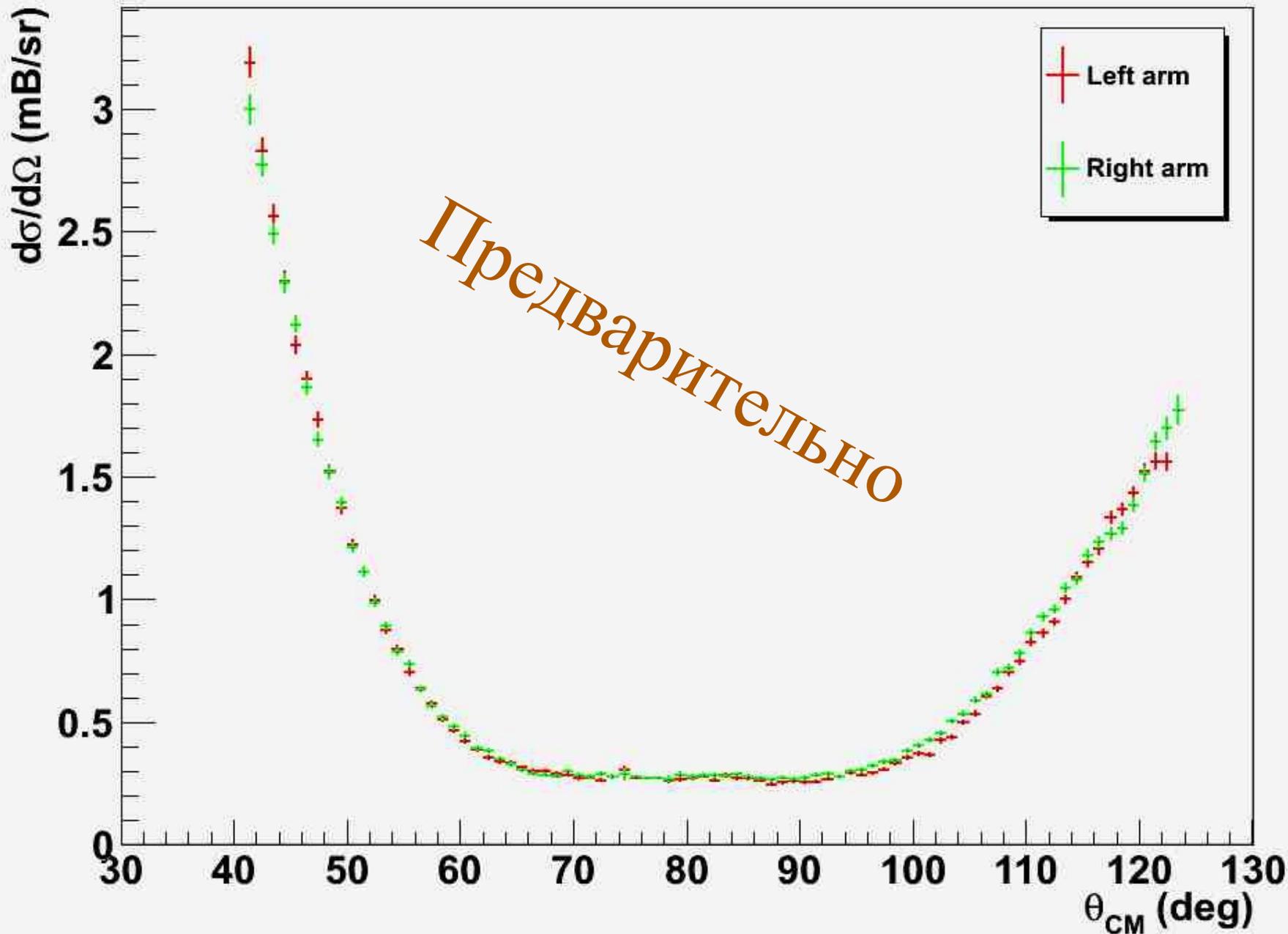


# Зависимость от энергии



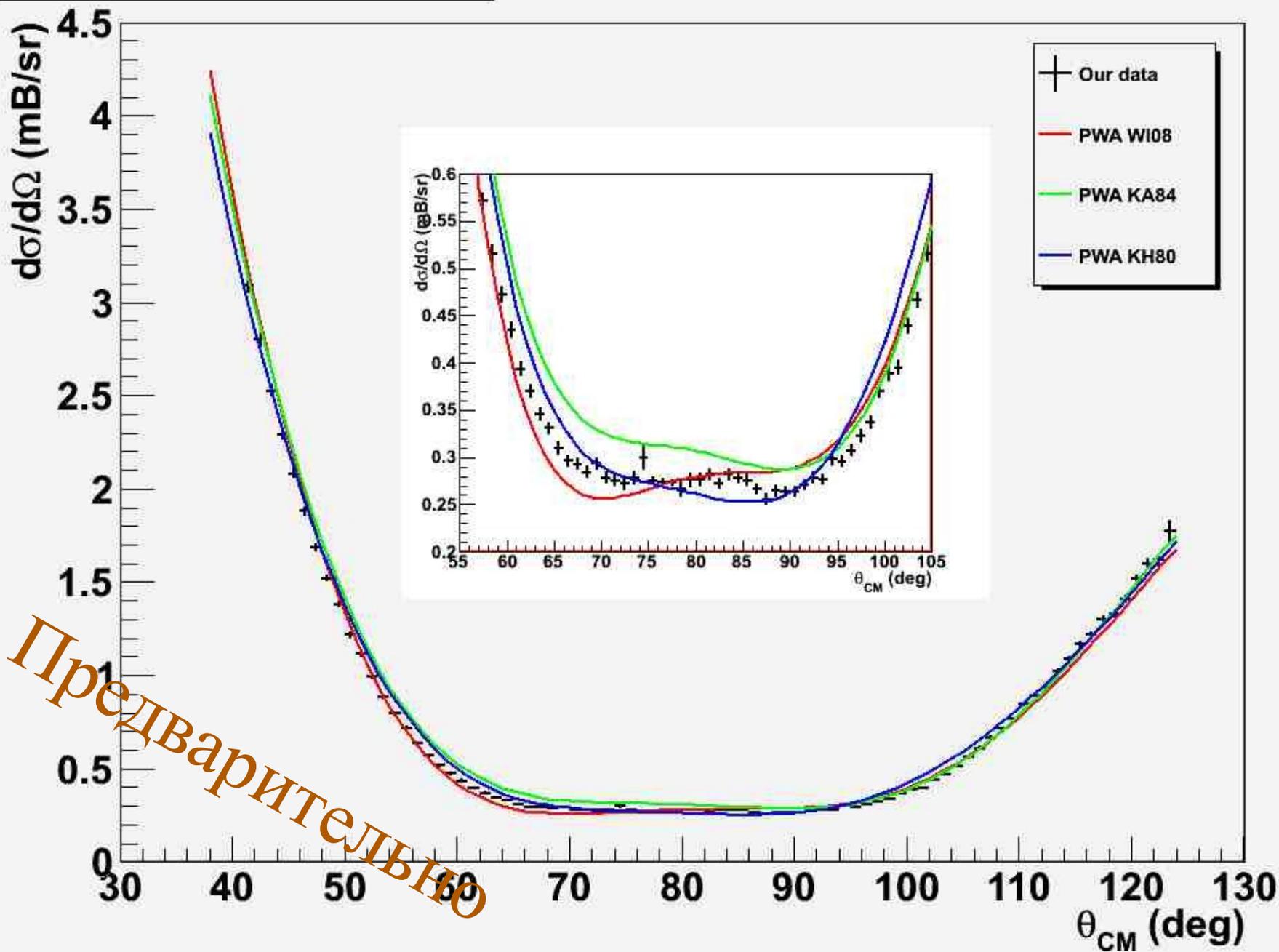
$\pi^-p$ ,  $P_{\text{lab}} = 975 \text{ MeV/c}$

С учетом эффективностей и акцептанса



$\pi^- p, P_{\text{lab}} = 975 \text{ MeV/c}$

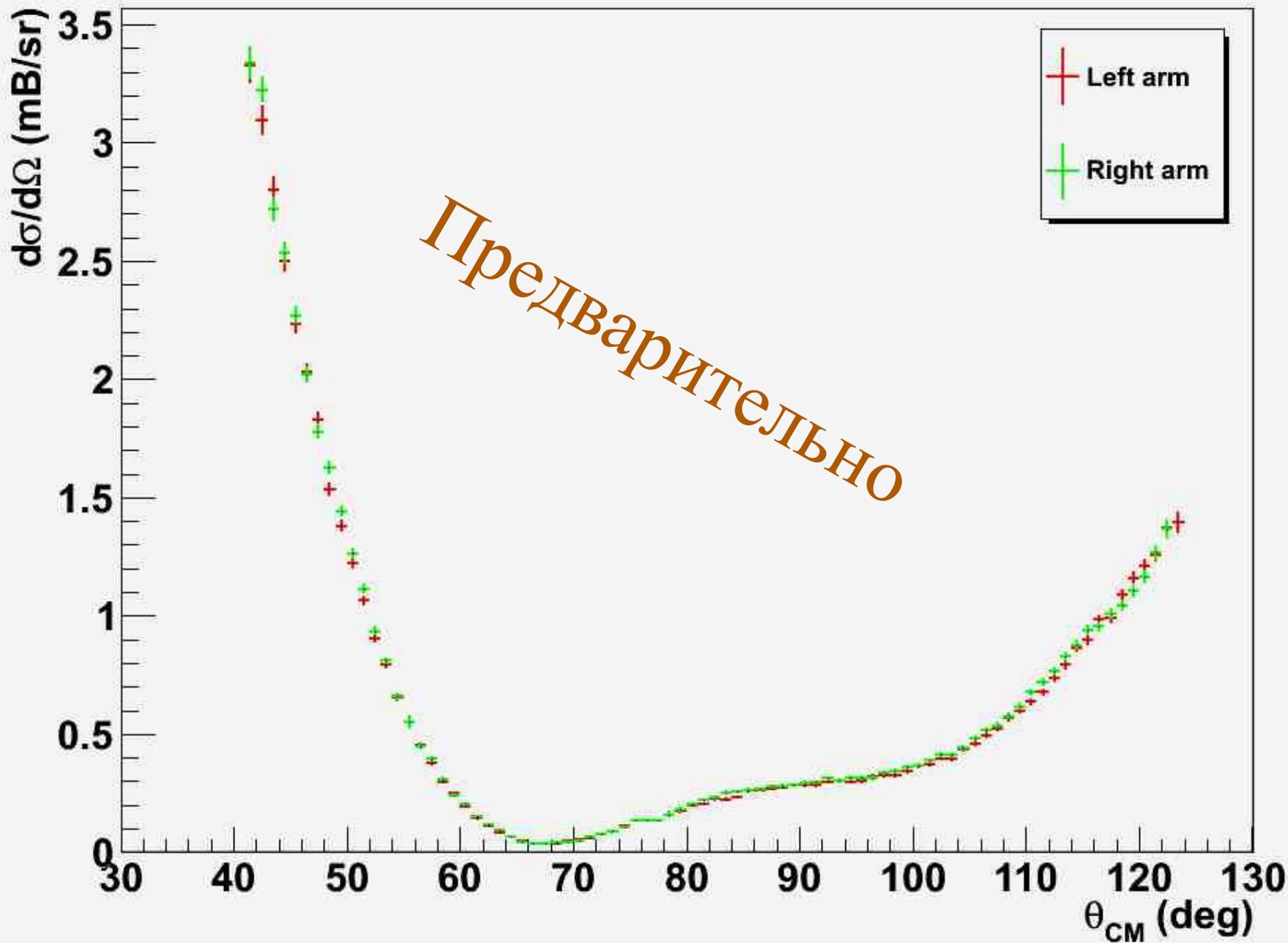
С учетом эффективностей и акцептанса



Предварительно

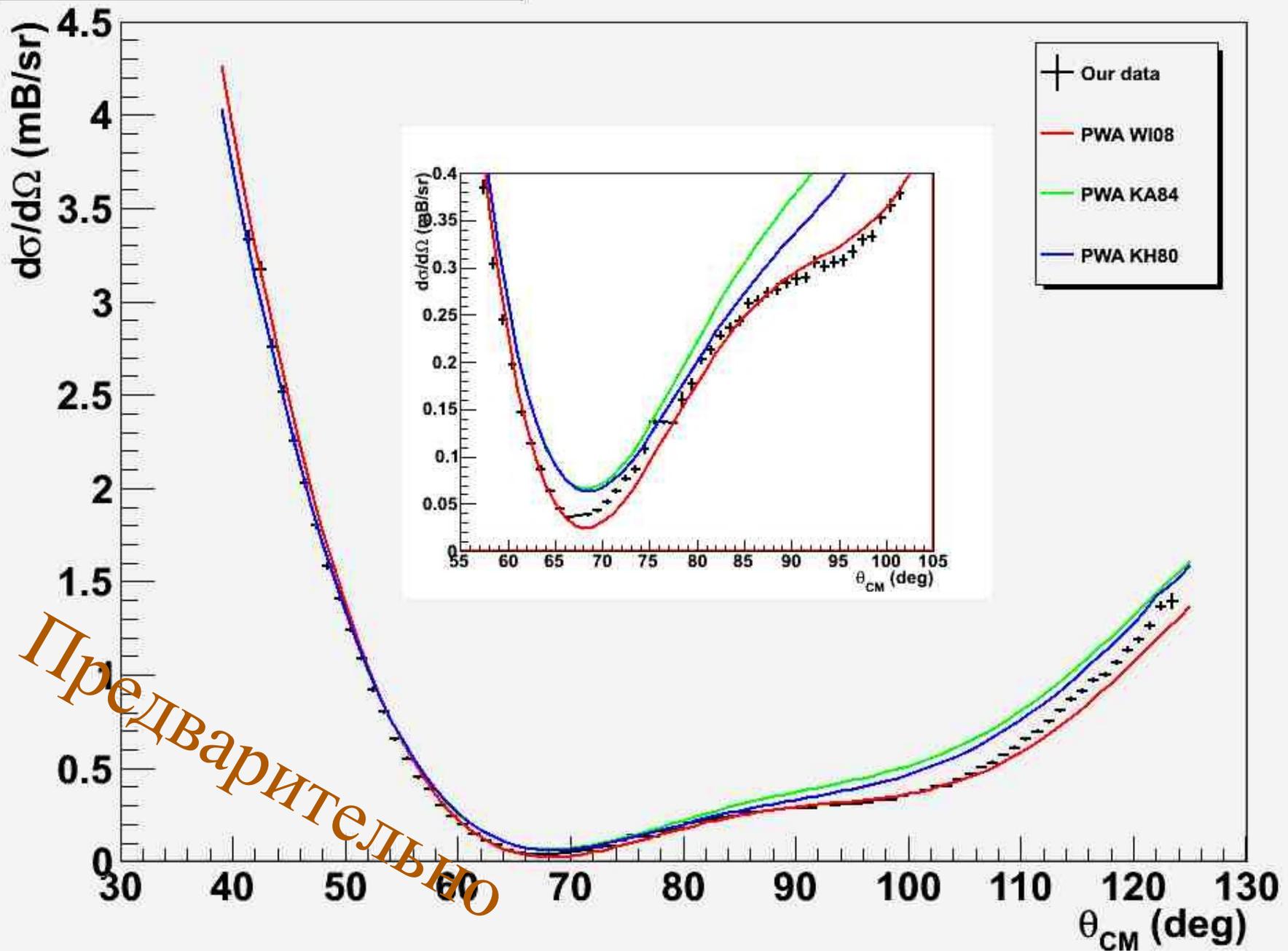
$\pi^-p$ ,  $P_{\text{lab}} = 1060 \text{ MeV/c}$

С учетом эффективностей и акцептанса



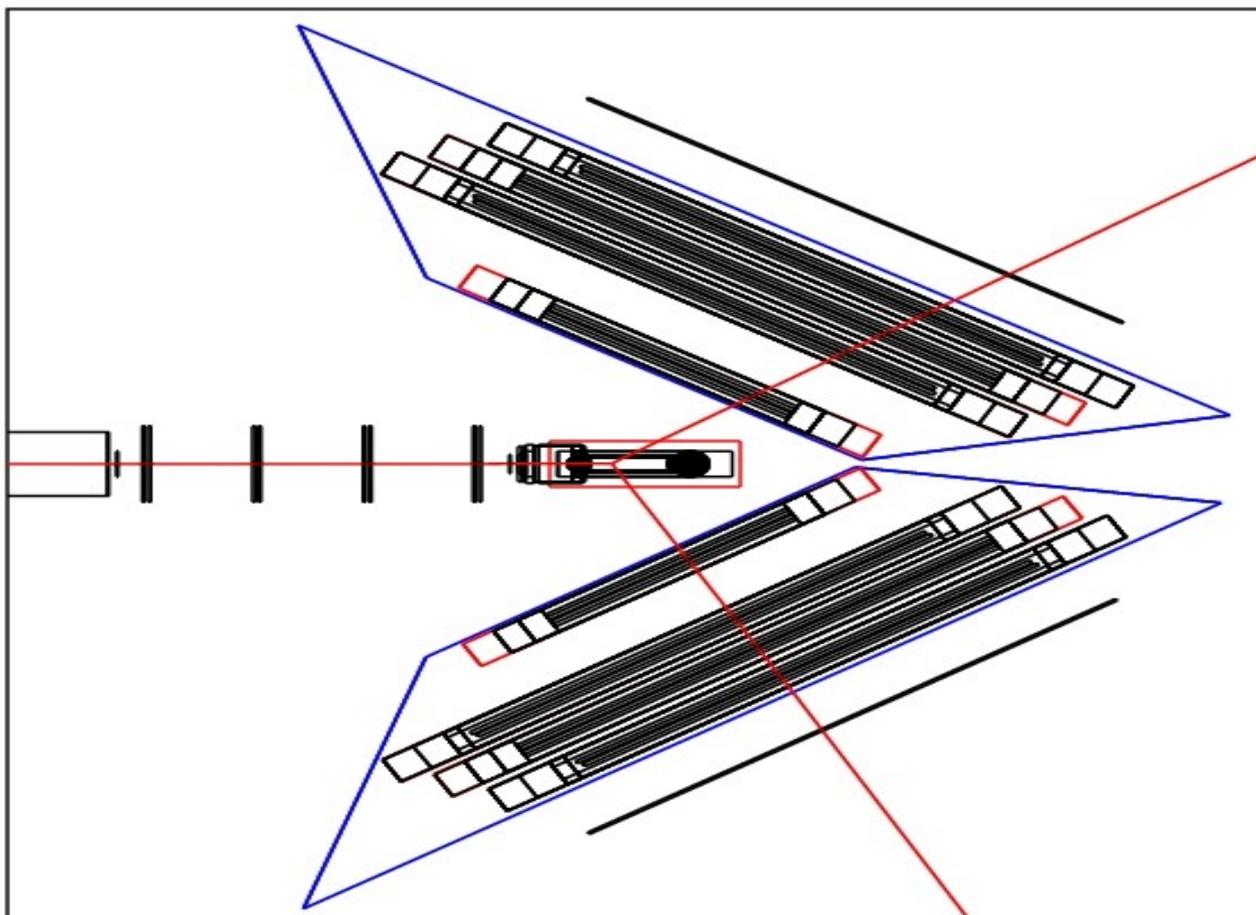
$\pi^- p, P_{\text{lab}} = 1060 \text{ MeV/c}$

С учетом эффективностей и акцептанса



Предварительно

# Монте-Карло моделирование



- Цель:**
1. Нормировка акцептанса лучше 0.5%
  2. Проверка работы программы реконструкции событий

- Статус:**
3. Создана модель установки

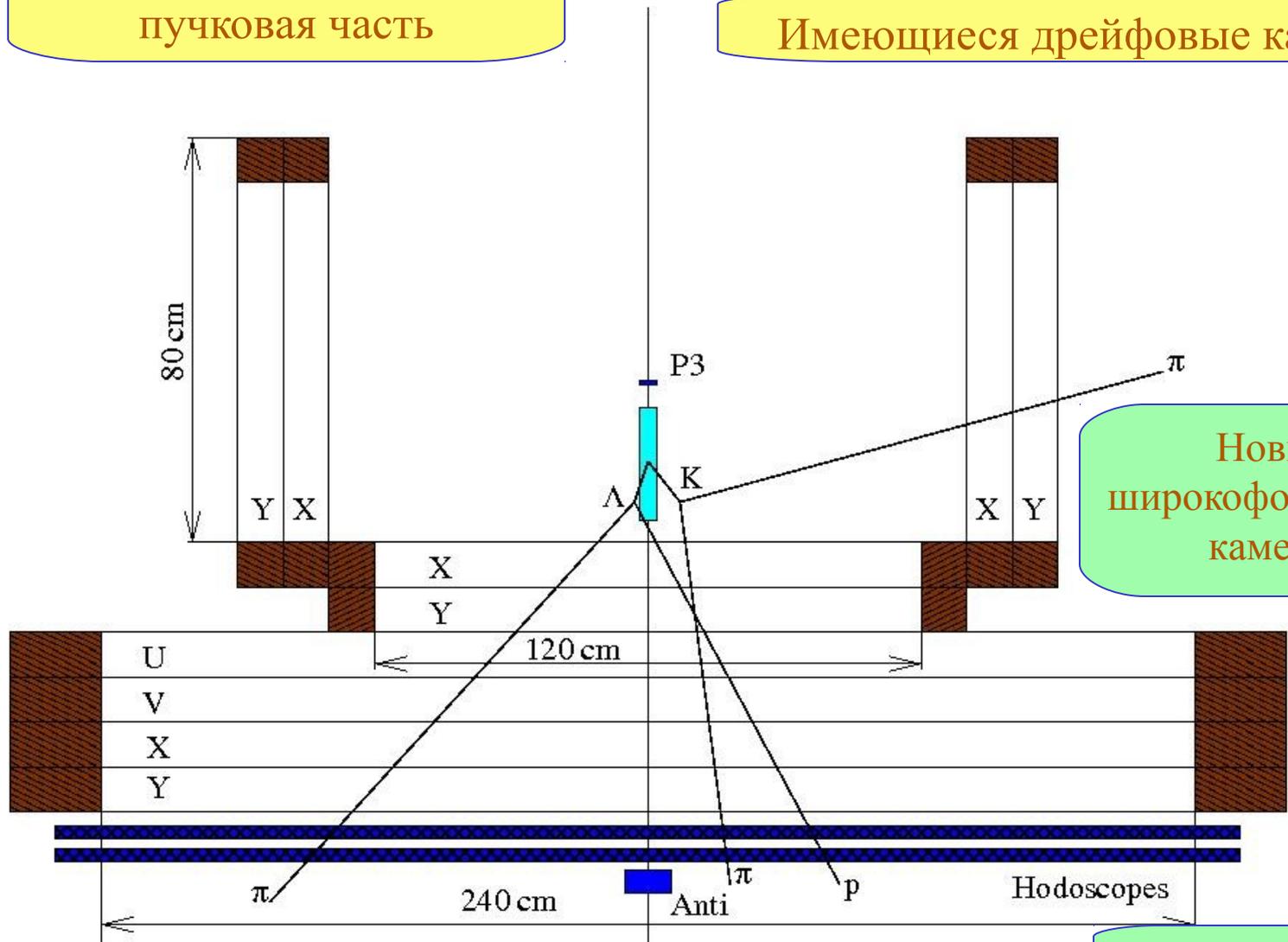
# Установка для $\pi^- p K^0$

Сохраняются мишень и пучковая часть

Основные типы событий:

- ◇ 4 частицы вперед
- ◇ протон и 2 пиона вперед, один пион вбок или вверх (вниз).

Имеющиеся дрейфовые камеры



Новые широкоформатные камеры

# Статус и планы



- › Собрана и запущена установка по прецизионному измерению упругого пион-протонного рассеяния. Достигнуты:
    - ✓ эффективность регистрации треков в дрейфовых камерах – выше 99%.
    - ✓ точность измерения импульса частиц пучка не хуже 0.1%
    - ✓ качество нормировки не хуже 0.7%
  - › Набрана статистика 2.95 млрд. событий.
  - › Ведется обработка.
  - › Обработать всю записанную статистику.
  - › Монте-Карло моделирование установки для вычисления дифференциальных сечений.
  - › Измерение с помощью черенковского счетчика и расчеты по Монте-Карло состава пучка.
  - › Взять два сеанса на положительном и отрицательном пучках для продвижения вверх по импульсу.
  - › Модернизировать мишень для работы от криорефрижератора.
- ## Рождение K<sub>0</sub>L
- › Начато изготовление первой камеры в 4 раза большей площади. Нужно 4 камеры.
  - › Изготовлена вся электроника.
  - › Прототип счетчика для годоскопа будет испытан в мае.