

ЛМФ - 2010 год  
( $\pi N$ -interaction)

*Лаборатория мезонной физики ОФВЭ*

**Отчет о ходе выполнения научно-исследовательской работы  
«Барионная спектроскопия и физика с  $\eta$ -мезонами.»**

**Зав. лабораторией д.ф.-м.н. В.В.Сумачёв.**

# ЛМФ - 2010 год

## Выполненные этапы в 2010 году:

а) Продолжена обработка результатов экспериментов по измерению сечений реакции  $\pi^- p \rightarrow \eta n$  в около пороговой области импульсов (до 730 МэВ/с). В процессе подготовки к дальнейшим исследованиям осуществлен успешный запуск жидкодейтериевой мишени.

б) Реализуется программа совместного эксперимента ПИЯФ-ИТЭФ «ЭПЕКУР» по поиску узких нуклонных резонансов. За счет средств ЛМФ и при финансовой поддержке ОФВЭ осуществлено изготовление восьми дрейфовых камер для эксперимента «ЭПЕКУР». Изготовлены пропорциональные камеры с шагом 1 мм и фольговыми электродами для формирования пучка № 322 ускорителя ИТЭФ. Изготовленная аппаратура доставлена в ИТЭФ.

Выполнено два цикла измерений: в апреле 2010 года набрана статистика в упругом  $\pi^- p$ -рассеянии при 27 значениях импульса пионного пучка в интервале 820 – 1210 МэВ/с (шаг по импульсу 15 МэВ/с), а в июне 2010 года - в упругом  $\pi^+ p$ -рассеянии при 29 значениях импульса пионного пучка в интервале 820 – 1240 МэВ/с (шаг по импульсу 15 МэВ/с). Набрано около 30 млн. событий при каждом значении импульса пионов. Выполняется обработка набранной информации, осуществляется подготовка к дальнейшему развитию установки.

# ЛМФ - 2010 год

в) На электронном микротроне МАМІ выполнены два цикла по набору статистики на водородной и дейтериевой мишенях на установке “Crystal Ball”.

Сотрудники ПИЯФ участвовали в измерениях на установке “Crystal Ball”. Состоялось заседание РАС по программе работ на ускорителе в Майнце. Одобрена программа исследований на следующие 2 – 4 года. В эту программу включены измерения двойных поляризационных параметров в реакции фоторождения пионов ( для получения полного набора наблюдаемых, необходимого для восстановления амплитуд фоторождения) и продолжение экспериментов по фоторождению  $\eta$  и  $\eta'$  – мезонов.

Подробнее о выполненной программе будет рассказано в отдельном выступлении.

г) На электронном ускорителе ELSA с энергией электронов до 3.5 ГэВ (Бонн, Германия) с использованием модернизированной экспериментальной установке для исследования фоторождения нейтральных мезонов (основой которой является многокристальный спектрометр полного поглощения Crystal Barrel), продолжены измерения двойных поляризационных параметров в фоторождении пионов. Конечной целью является выполнение «полного» опыта.

Подробнее о выполненной программе будет рассказано также в отдельном выступлении.

# ЛМФ - 2010 год

д) В 2009 году создана новая коллаборация **V1**, которая планирует использовать пучок S на ускорителе ELSA (Бонн, Германия). В 2010 году для планируемых этой коллаборацией исследований в ОМК ОФВЭ завершено изготовление 8 больших дрейфовых камер.

Наши сотрудники приглашены для участия в **V1** коллаборации.

е) Продолжались работы по подготовке нового парциально-волнового анализа пион-нуклонного рассеяния в первой резонансной области (до 725 МэВ/с).

В.В.Абаевым опубликован препринт ПИЯФ "Total inelastic cross section in  $\pi^+$ p-scattering."

# ЛМФ - 2010 год

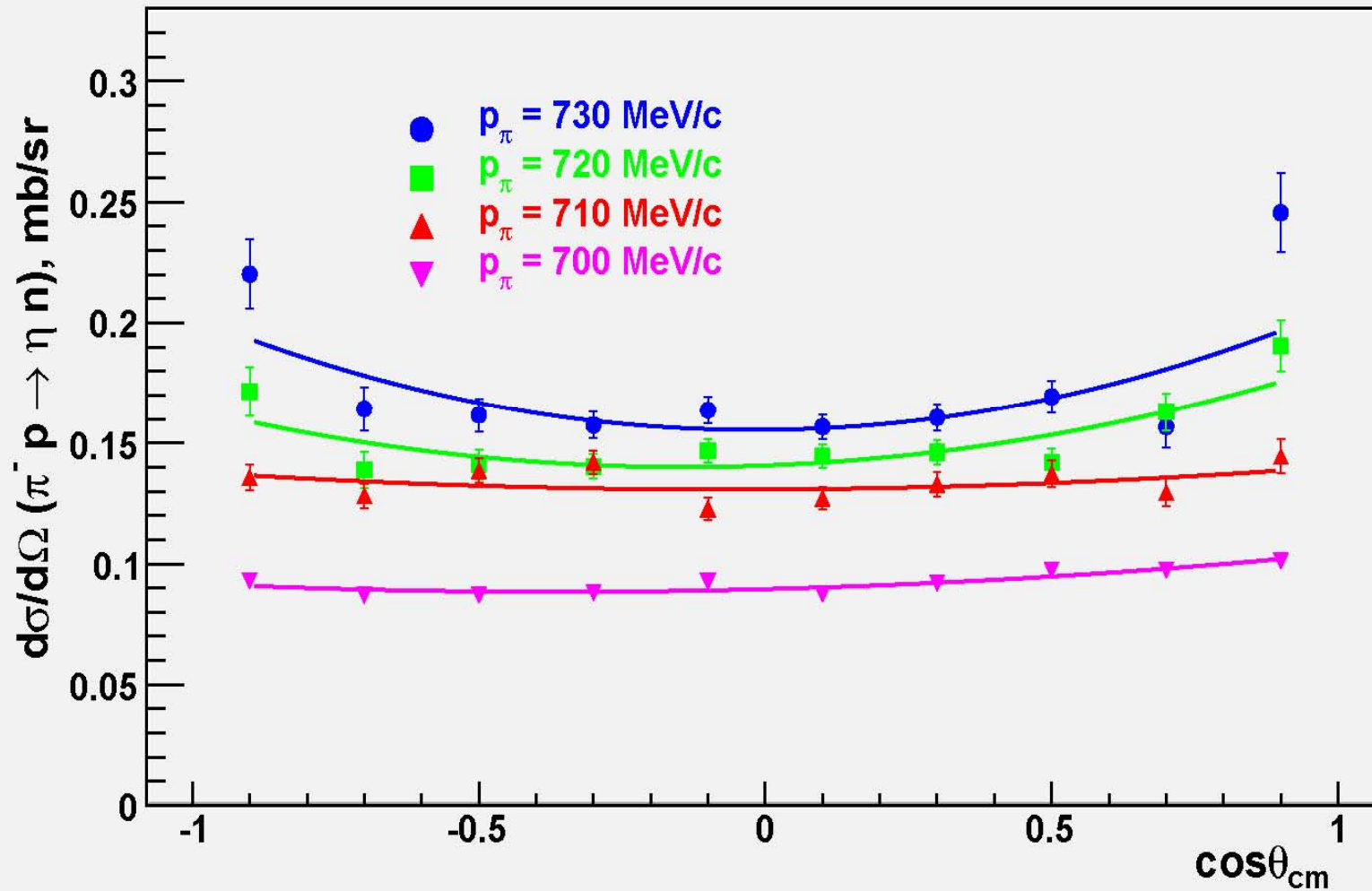
а) В ПИЯФ в своё время был разработан и изготовлен спектрометр нейтральных мезонов. Он представляет собой двух плечевую установку, каждое плечо которой – электромагнитный калориметр полного поглощения, состоящий из 24 кристаллов CsI(Na). Мозаичная структура калориметров позволяет измерить не только энергию, но и угол эмиссии попавшего в калориметр фотона, а, следовательно, восстановить кинематику распада  $\eta \rightarrow 2\gamma$  и на этой основе определить энергию и угол вылета  $\eta$ -мезона, образовавшегося в результате реакции.

В рамках программы исследования процесса рождения  $\eta$ -мезона на  $\pi$ -мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ выполнены с помощью спектрометра нейтральных мезонов измерения дифференциальных сечений реакции  $\pi^-p \rightarrow \eta n$  при импульсах налетающих пионов вблизи порога этой реакции, который составляет 685 МэВ/с. К настоящему времени выполнены измерения сечений реакции  $\pi^-p \rightarrow \eta n$  при импульсах налетающих пионов 700, 710, 720 и 730 МэВ/с. Форма дифференциальных сечений, полученных при указанных импульсах, различается весьма существенно – если при 700 МэВ/с сечения практически изотропны по углу, то при 710, 720 и 730 МэВ/с угловая зависимость анизотропна, но симметрична относительно  $\cos\theta_{cm} = 0$  (напоминает профиль тарелки). Всё это говорит о том, что если непосредственно вблизи порога процесс  $\pi^-p \rightarrow \eta n$  идёт преимущественно через образование резонанса  $S_{11}(1535)$  с его последующим распадом по каналу  $\eta N$ , то при более высоких импульсах заметно проявляется D-волна, в то время как P-волна практически отсутствует.

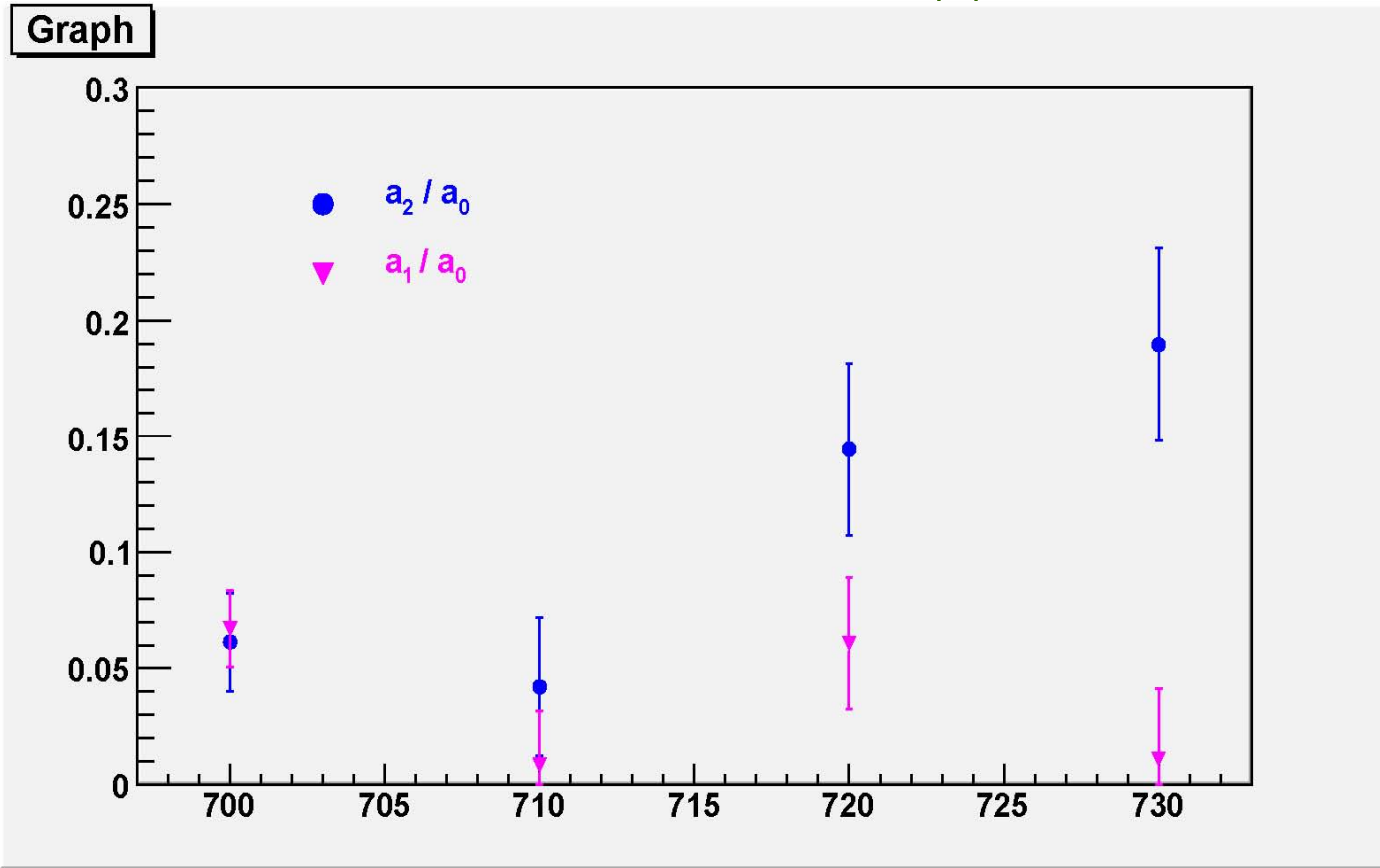
Систематические ошибки измерений не превышают  $\pm 5\%$

# ЛМФ - 2010 год

Graph



# ЛМФ - 2010 год



В области вблизи порога рождения  $\eta$ -мезона амплитуду можно представить в виде суммы ограниченного числа парциальных амплитуд (S-, P- и D-волны):

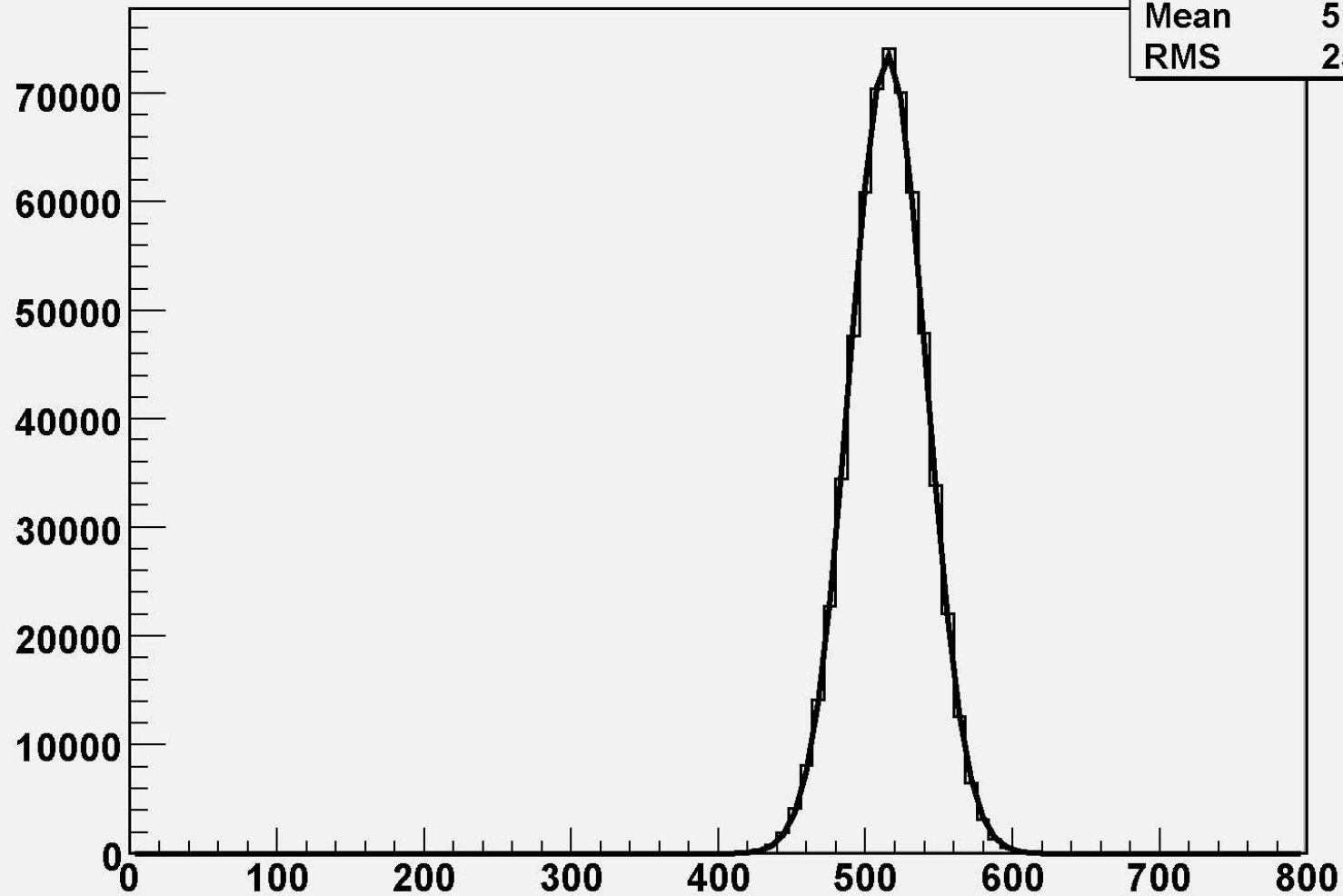
$$F_\eta = A_S + A_P \cdot \cos\Theta + A_D \cdot P_2(\cos\Theta). \text{ Здесь } P_i - \text{ полиномы Лежандра.}$$

Импульсную зависимость парциальных амплитуд можно учесть, разложив их в ряд по степеням импульса в с.ц.м.  $p_\eta^*$ . Учитывая только первые члены в разложении, получаем:  $A_S = a$ ;  $A_P = b \cdot p_\eta^*$ ;  $A_D = c \cdot (p_\eta^*)^2$ , где  $a, b, c$  – константы, не зависящие ни от угла, ни от импульса.

# ЛМФ - 2010 год

invariant mass of gg total

invmg	
Entries	598562
Mean	515.4
RMS	25.92

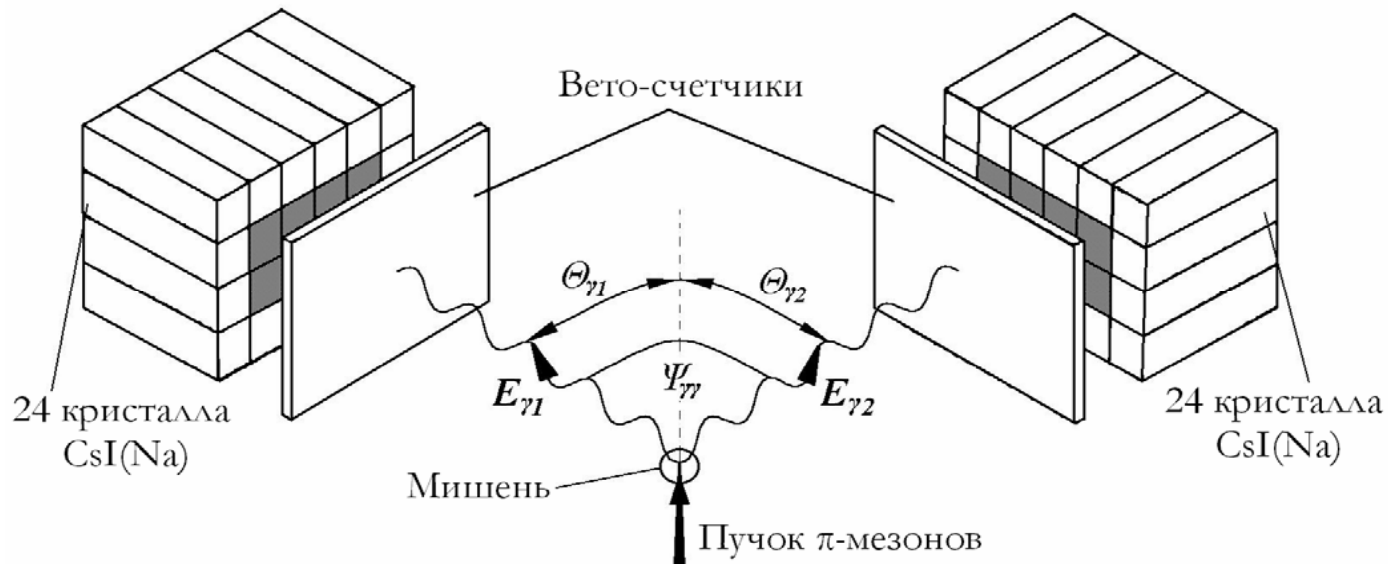




# ЛМФ - 2010 год

Основной принцип спектрометра – определение полной энергии образовавшегося  $\eta$ -мезона  $E_\eta$  и угла  $\theta_\eta$ , под которым он образовался, на основе измерения энергий двух фотонов от распада  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  и углов их вылета. Спектрометр состоит из двух электромагнитных калориметров полного поглощения, каждый из которых представляет собой матрицу из 24 кристаллов CsI(Na).

Калориметры спектрометра расположены таким образом, чтобы в одном эксперименте можно было измерить дифференциальные сечения процесса  $\pi-p \rightarrow \eta p$  в угловом диапазоне от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  в системе центра масс; всего в этом диапазоне получено десять статистически обеспеченных значений сечения.



# ЛМФ - 2010 год

В дальнейших планах коллектива ЛМФ – эксперименты по изучению рождения  $\eta$ -мезона на связанном нуклоне в реакциях  $\pi^+d \rightarrow \eta p(p)$  и  $\pi^-d \rightarrow n(\eta n)$ , проводимые с использованием жидкодейтериевой мишени. Сопоставление дифференциальных сечений этих реакций с сечениями процесса  $\pi-p \rightarrow \eta n$  даст возможность оценить того, насколько ядерная среда модифицирует характеристики нуклонных резонансов, а отклонение от единицы величины отношения сечений  $R = (\pi^+d \rightarrow \eta pp) / (\pi^-d \rightarrow \eta nn)$  может служить мерой нарушения изоспиновой инвариантности в процессе рождения  $\eta$ -мезона, что, в свою очередь, даст возможность определить важную физическую величину – угол  $\pi^0-\eta$  смешивания.

На следующем этапе исследований планируется выполнить измерения асимметрии процесса  $\pi-p \rightarrow \eta n$  в эксперименте с использованием поляризованной протонной мишени. Проведение парциально-волнового анализа этого процесса, включающего не только и сечения, но и значения асимметрии, позволит с большей точностью определить величину фундаментальной константы – длины  $\eta N$ -рассеяния, и также улучшить наше знание природы резонанса  $S_{11}(1535)$ .

## Барионные мультиплеты в стандартной кварковой модели . (Introductory remarks on baryon spectroscopy R. H. Dalitz, 1976)

Адроны, состоящие из трёх кварков в стандартной модели могут иметь два типа возбужденных состояний:

- (a) Вращательные возбужденные состояния.
- (b) Радиальные возбужденные состояния (пульсации).

Предложенная Гринбергом  $SU(6) \times O(3)$  кварковая модель успешно описывает низко лежащие мультиплеты наблюдаемые для резонансных возбуждённых состояний барионов в том смысле, что известные резонансы идентифицированы как принадлежащие соответствующему мультиплету.

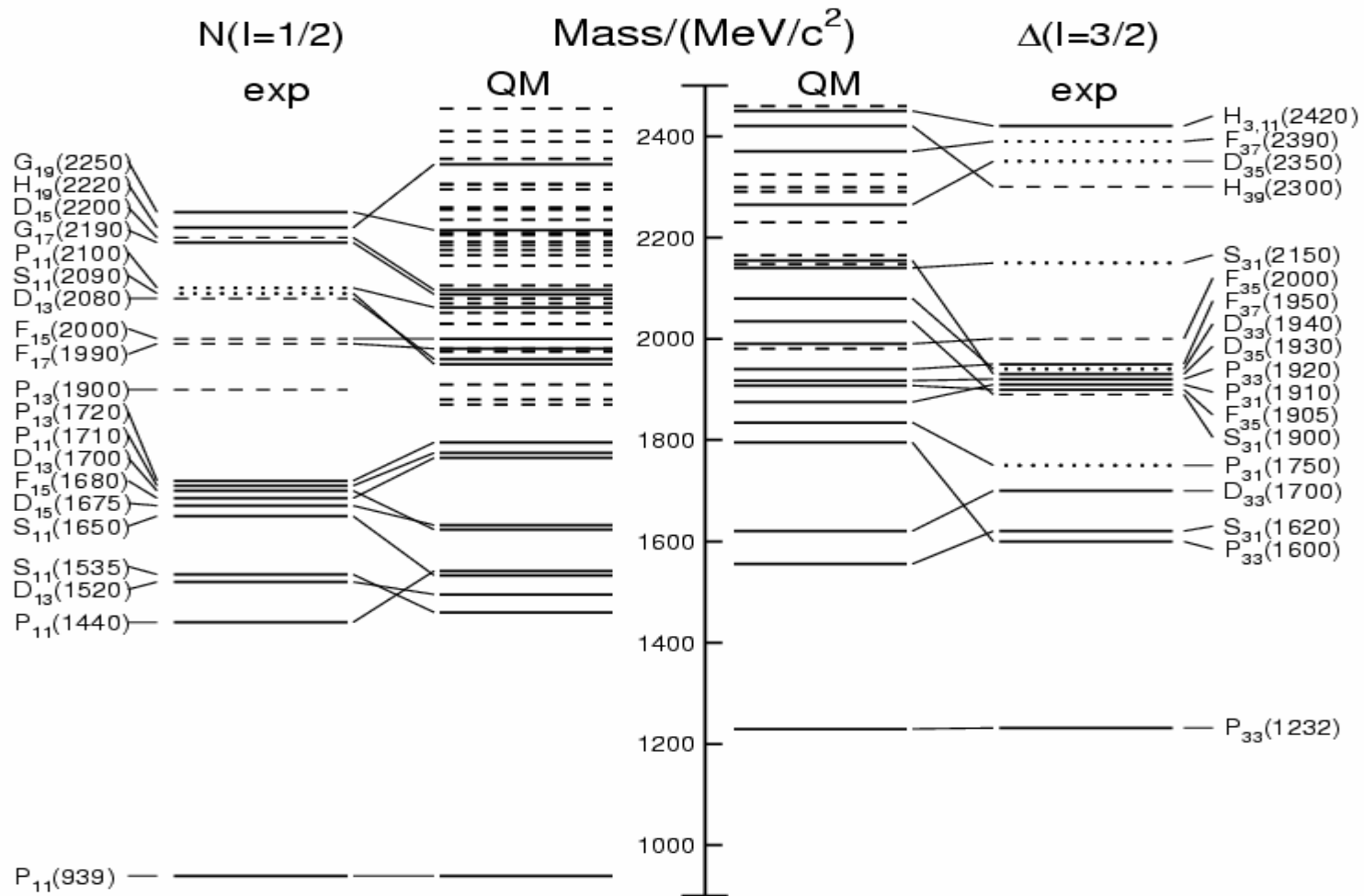
Имеются три типа  $SU(6)$  мультиплетов трёх кварковых систем: полностью симметричные мультиплеты (S), включающие 56 возбуждённых состояний; мультиплеты со смешанной симметрией (M), включающие 70 возбуждённых состояний; антисимметричные состояния (A), включающие 20 возбуждённых состояний.

**SU(6) x O(3) classification of nucleon resonance by  
G.Hoeler et al. (from KH78).**

SU(6)LP	Resonance from KH78	$\Sigma$
(56,0 <sup>+</sup> )	<b>P11(938), P33(1233)</b>	2
(56,2 <sup>+</sup> )	<b>P13(1710), F15(1684), P31(1888), P33(1868), F35(1905), F37(1913)</b>	6
(56,4 <sup>+</sup> )	<b>F17(2005), H19(2205), F35(-), F37(2425), H39(2217), H3,11(2416)</b>	6
(70,1 <sup>-</sup> )	<b>S11(1526), D13(1519), S11(1670), D13(1731), D15(1679), S31(1610), D33(1680)</b>	7
(70,3 <sup>-</sup> )	<b>D15(-), G17(2140), D13(2081), D15(2228), G17(-), G19(2268), D35(2305), G37(2215)</b>	8
(70,5 <sup>-</sup> )	<b>G19(-), I1,11(-), G17(-), G19(2792), I1,11(2577), I1,13(-), G39(2468), I3,11(-)</b>	8
(70,7 <sup>-</sup> )	<b>I1,13(-), L1,15(-), I1,11(-), I1,13(-), L1,15(-), L1,17(-), I3,13(2794), L3,15(-)</b>	8
(70,2 <sup>+</sup> )	<b>P13(-), F15(-), P11(1723), P13(-), F15(1882), F17(-), P33(-), F35(-)</b>	8
(56,6 <sup>+</sup> )	<b>H1,11(-), K1,13(2612), H39(-), H3,11(-), K3,13(-), K3,15(2990)</b>	6
(56,1 <sup>-</sup> )	<b>S11(1880), D13(1920), S31(1908), D33(2070), D35(1901)</b>	5
$\Sigma = 630$	$\Sigma = 39 (64)$	$\Sigma = 64$

It would must be 630 baryon resonance, if all revealed 70-multiplets and 56-multiplets were filled in.

# ЛМФ - 2010 год



Excitation spectrum of the nucleon. (J.Phys.G37:075021, 2010)

Стандартный PWA может получать только широкие резонансы, но не шире  $G < 500 \text{ MeV}$ , имеющие вероятность распада в упругий канал не менее 4% ( $BR > 4\%$ )

PWA исключает слишком узкие резонансы  $G < 30 \text{ MeV}$

Резонанс  $N(1710)P_{11}$  - что о нём известно. [W.-M. Yao *et al.* [RPP] J Phys G **33**, 1 (2006)]

$\chi SA$	DPP97	1710 [inp]	$\sim 40$ [est]
<b>PWA-BW</b>	Ref	Mass(MeV)	Width(MeV)
	KH79	$1723 \pm 9$	$120 \pm 15$
	CMU80	$1700 \pm 50$	$90 \pm 30$
	KSU92	$1717 \pm 28$	$480 \pm 230$

(From I.I.Strakovsky.)

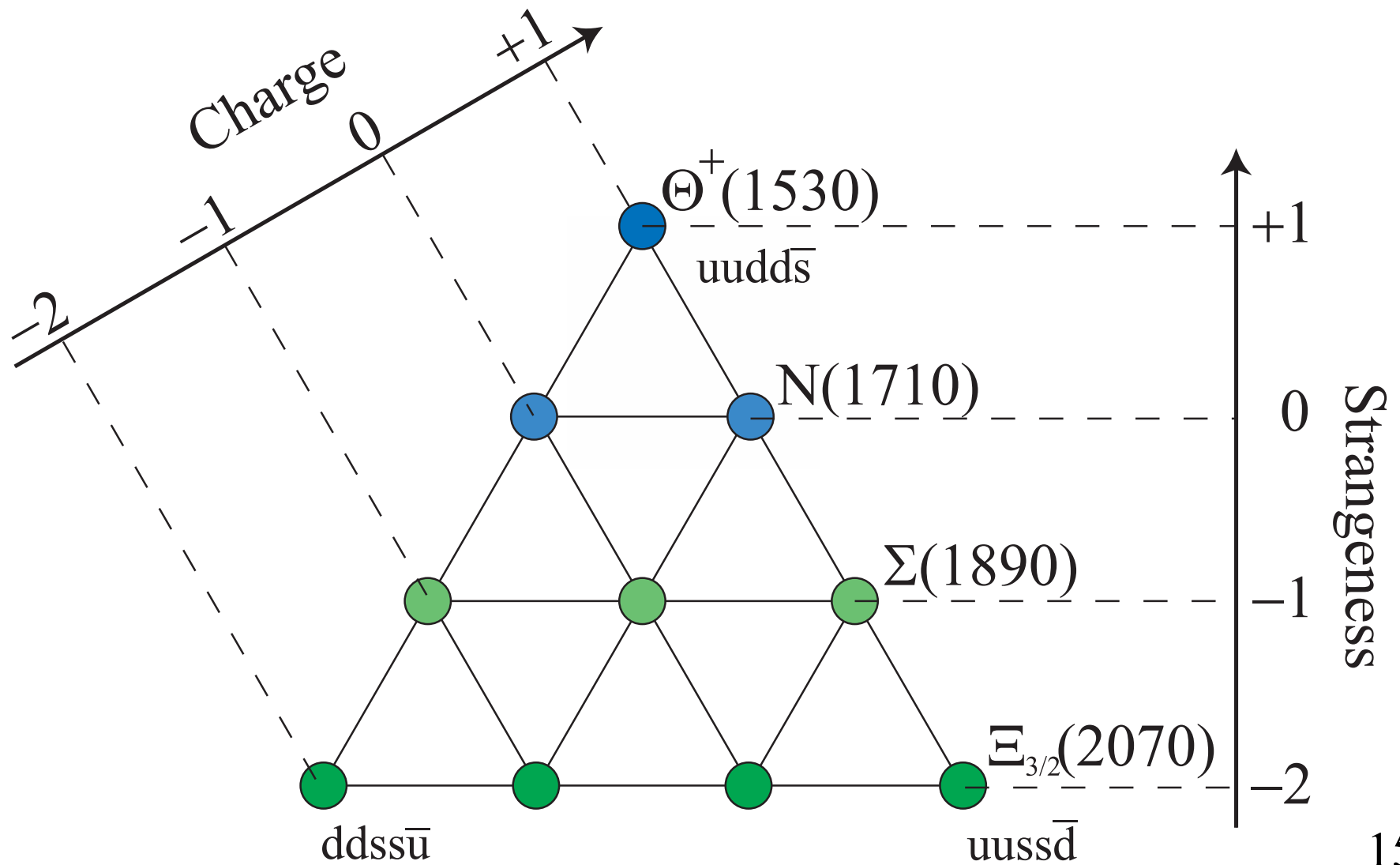
	<b>GW06</b>	not seen	
<b>PWA-Pole</b>		Re(MeV)	$-2 \times \text{Im}(\text{MeV})$
	CMU80	$1690 \pm 20$	$80 \pm 20$
	CMU90	1698	88
	KH93	1690	200
	<b>GW06</b>	not seen	

No BW, No pole, No Sp

[Sp(W)]

- The spread of  $\Gamma$ , selected by PDG, is very large
- It would be more natural for the same unitary multiplet (with  $\Theta^+$  and  $N^*$ ) to have comparable widths

# ЛМФ - 2010 год



## “Usual” resonance N(1710).

The following summary on the non-exotic  $P_{11}$  resonance N(1710) is taken mainly from the “Review of Particle Properties” (RPP, 2006). This resonance has a rating of three stars (\*\*\*) .

According to the results of the energy independent partial wave analyses (IPWA): KH80 –  $M_R=1723\pm 9$  MeV,  $\Gamma=120\pm 15$  MeV; CMB80 –  $M_R=1700\pm 50$  MeV,  $\Gamma=90\pm 30$  MeV.

Pion photoproduction IPWA gives  $M_R=1720\pm 10$  MeV,  $\Gamma=105\pm 10$  MeV, having the branching ratios for  $N\pi$  and  $K\Lambda$  channels (10-20)% and (5-25)% respectively.

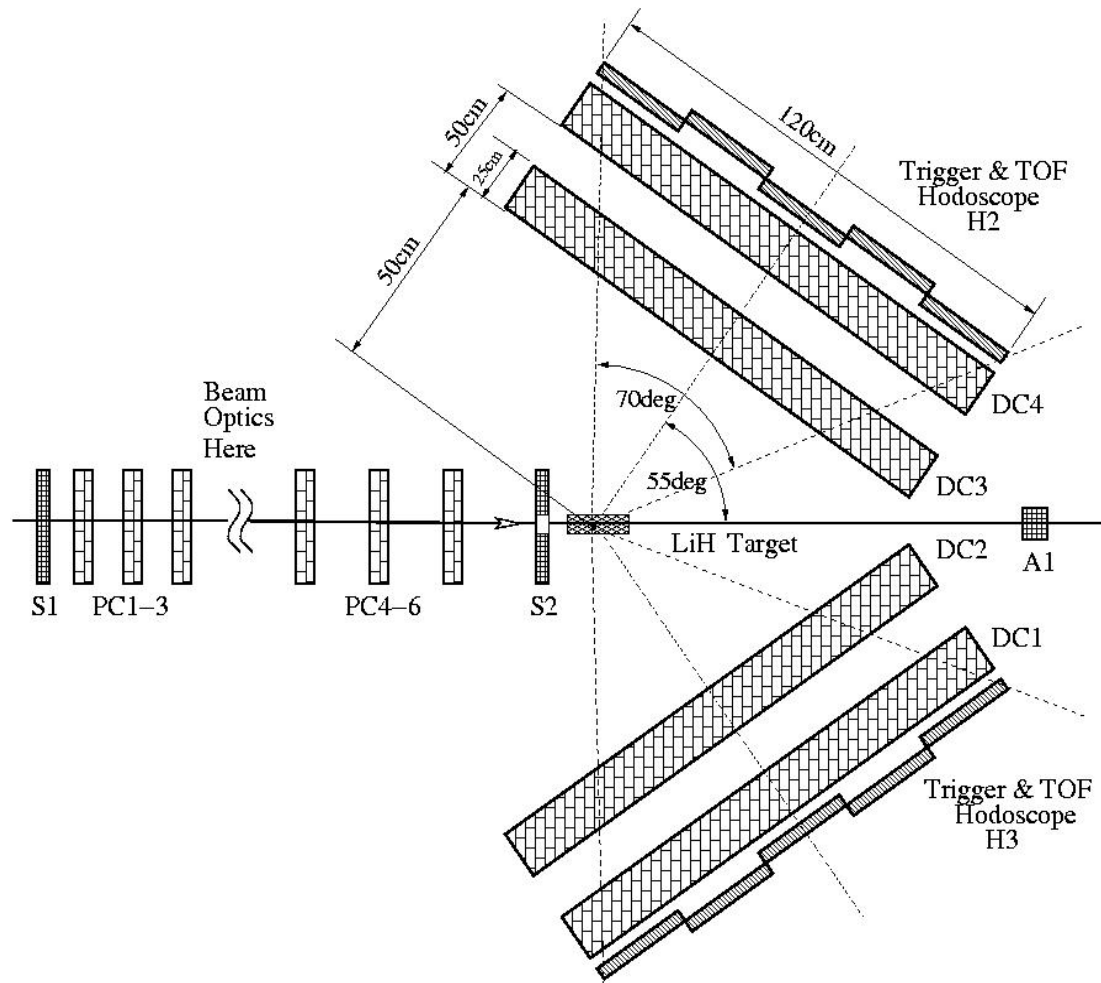
The combined analysis of the  $\pi N \rightarrow \pi N + N\pi\pi$  processes (KSU) has two solutions, predicting either a wide resonance with  $\Gamma=480\pm 230$  MeV or a narrow one with  $\Gamma=50\pm 40$  MeV at the same mass of  $M_R=1717\pm 28$  MeV.

In the energy dependent (DPWA) analysis SP06 of GWU group the resonance N(1710) is not observed.



# ЛМФ - 2010 год

б) Реализуется программа совместного эксперимента ПИЯФ-ИТЭФ «ЭПЕКУР» по поиску узких нуклонных резонансов. На пионном пучке № 322 ускорителя ИТЭФ достигнуто импульсное разрешение  $\Delta P/P=0.09\%$ .



- Method: measure differential cross-section at the angles 40-120° CM as function of the invariant mass of  $\pi p$ -system.

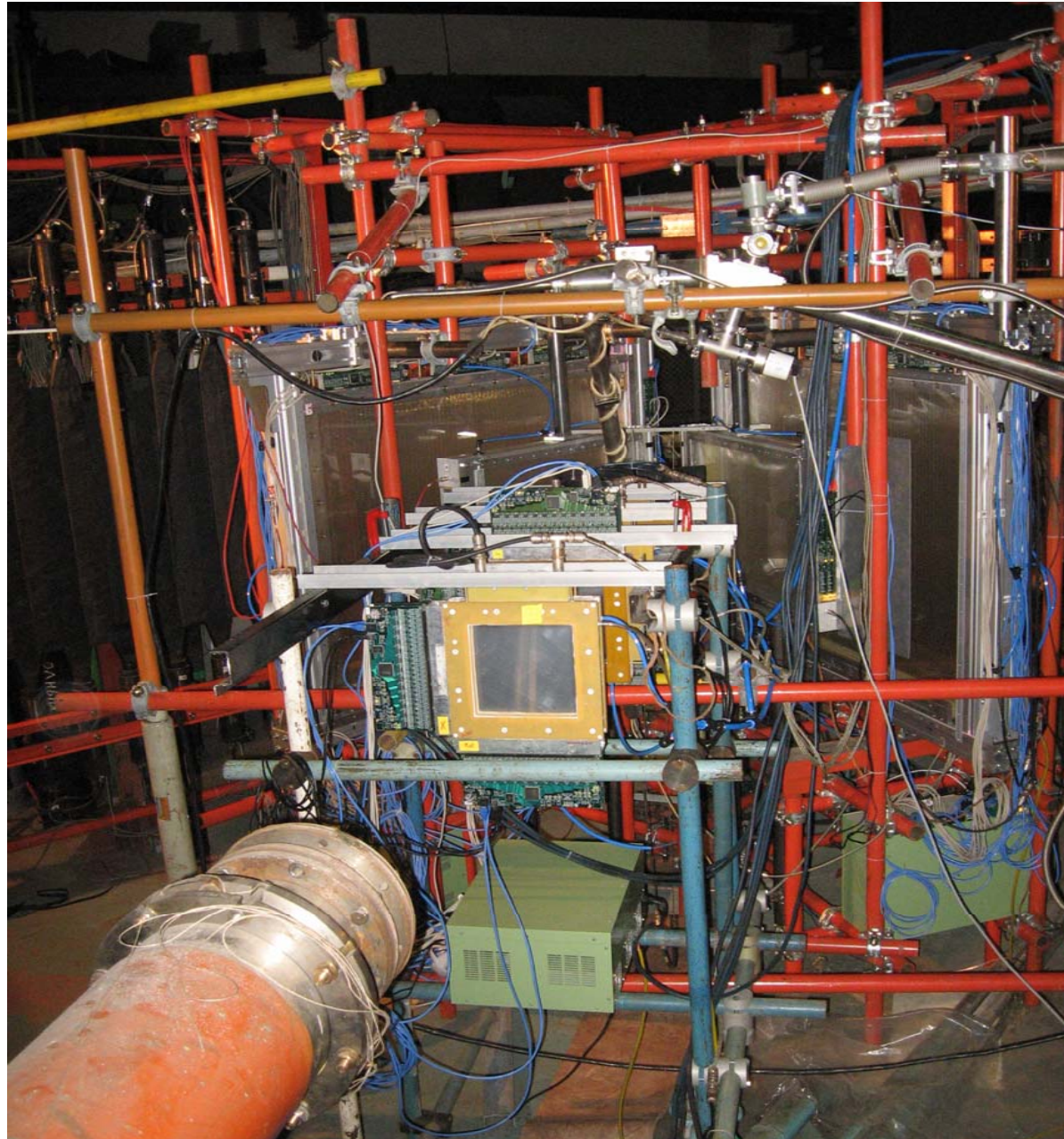
- “Formation”-type experiment: invariant mass resolution (0.7 MeV) is based on the high momentum resolution (0.1%) of the magneto-optic channel.

- We want to reach statistic resolution as high as 0.5 %

- We can get clear evidence for a narrow (2-20 MeV) resonance even if its elasticity is only 1%.

- Main parts of experimental setup are liquid hydrogen target and proportional and drift chambers.

ЛМФ - 2010 год  
 $\pi^-p - \pi^-p$  and  $\pi^+p - \pi^+p$





### What is special in our experiment:

- “Formation”-type experiment.
- Extremely high invariant mass resolution ( $\sim 0.6$  MeV), provided by high momentum resolution of the magneto-optic channel 0.1%.
- Magnetless spectrometer with drift chambers.
- Liquid hydrogen target.
- Very small amount of matter on the particle paths.
- High statistical precision: 0.5% for elastic scattering and 1% for  $K\Lambda$ -production.

### Not only pentaquark...

- Precise cross section measurements:

$\pi^- p \rightarrow \pi^- p$ :  $d\sigma/d\Omega$  – 0.5% statistical precision and 1 MeV momentum step

$\pi^- p \rightarrow K^0 \Lambda$ :  $\sigma_{\text{REAC}}$  – 1% statistical precision and the same step

$\Rightarrow$  Very important data for PWA

- Usual resonance P11 N(1710)\*\*\*

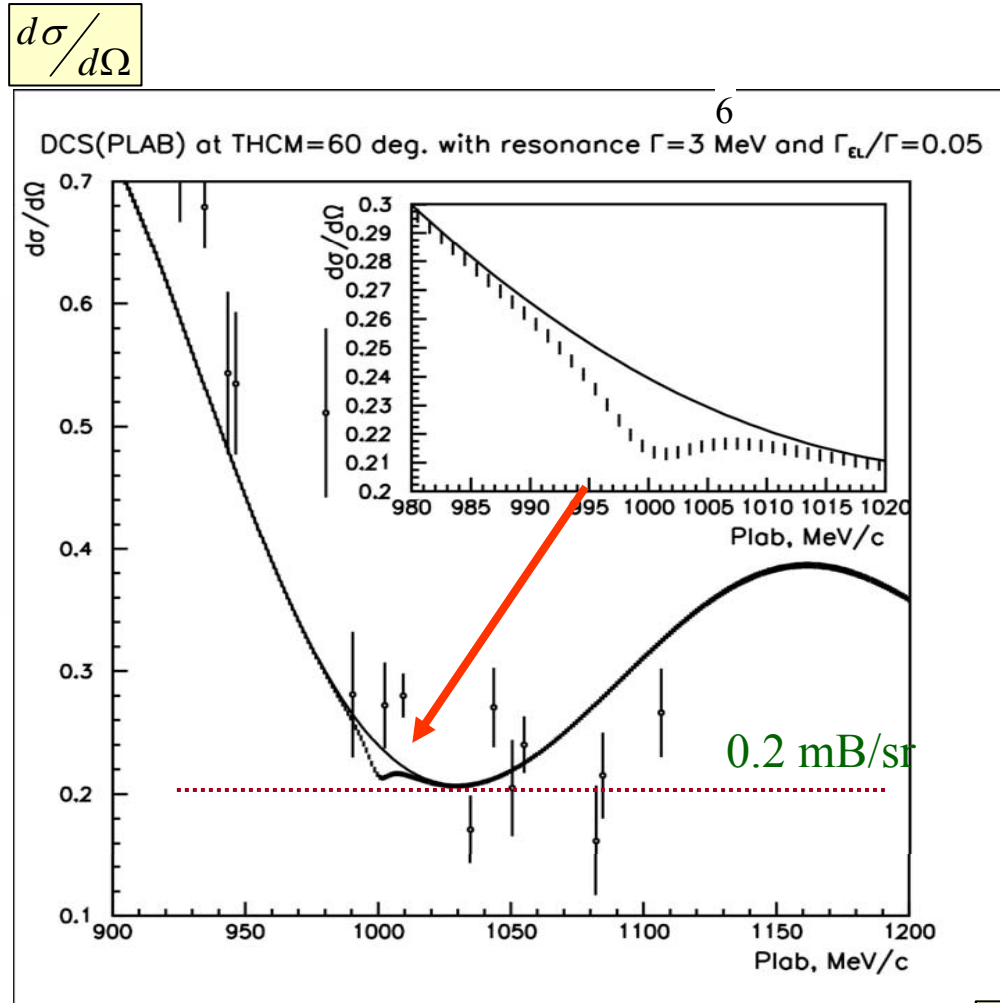
•  $\Lambda$ -polarization in the reaction  $\pi^- p \rightarrow K^0 \Lambda$  - an order of magnitude better precision than the best data available now - NIMROD (78)

# ЛМФ - 2010 год

## Expected effect

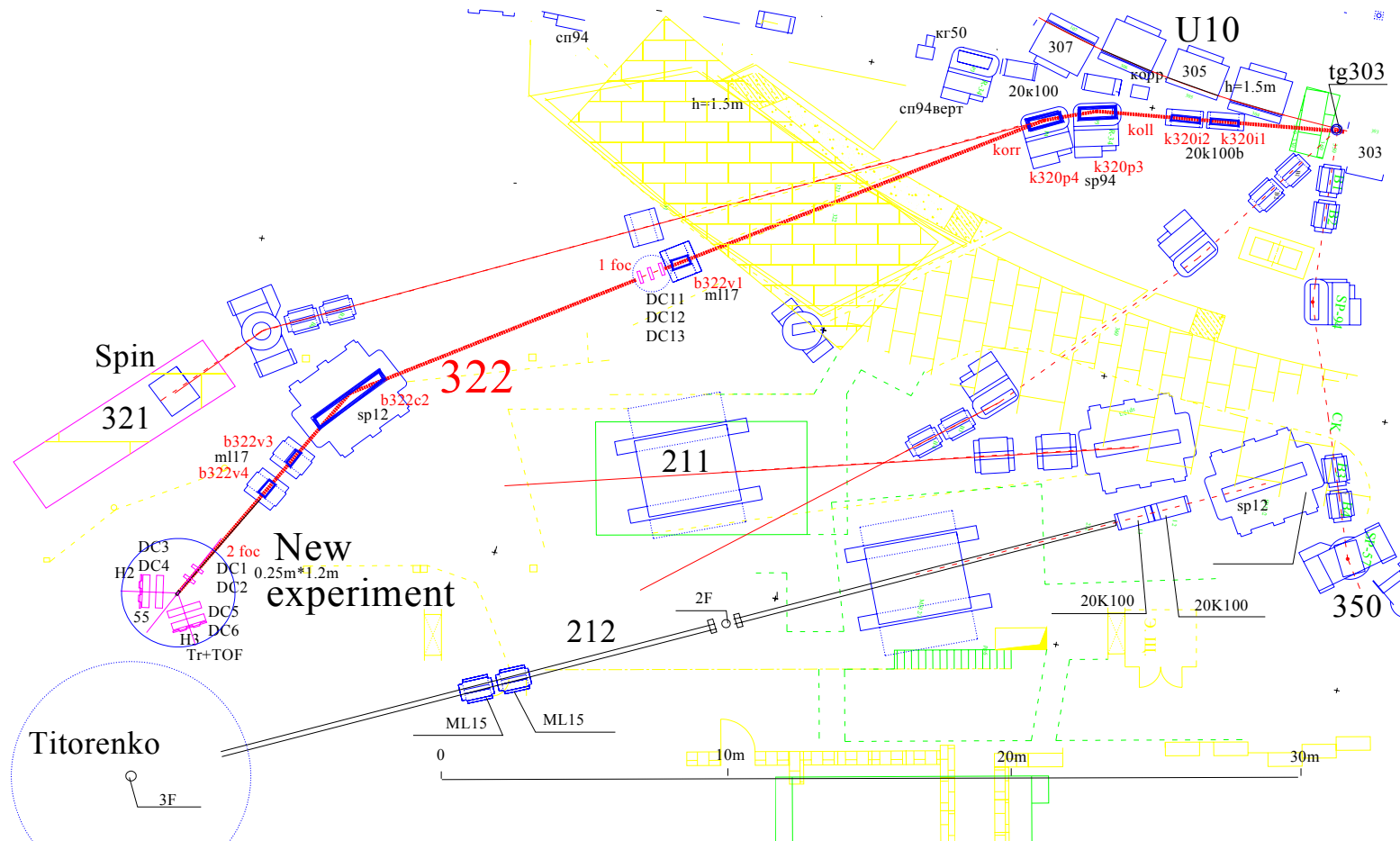
### Differential cross section of the $\pi^- p \rightarrow \pi^- p$ elastic scattering

- ▶ Existing data doesn't allow to find a narrow structure
- ▶ Our idea is to measure differential elastic cross section with the statistical error 0.5% and step in the invariant mass 0.6 MeV
- ▶ We will cover angle range 30—120° in the center of mass frame and momentum range 900—1200 MeV/c ( $M_R=1610--1770$  MeV)
- ▶ With fixed beam line settings we can cover about 30 MeV in the invariant mass. Then we can go in 15 MeV overlapping steps



# ЛМФ - 2010 год

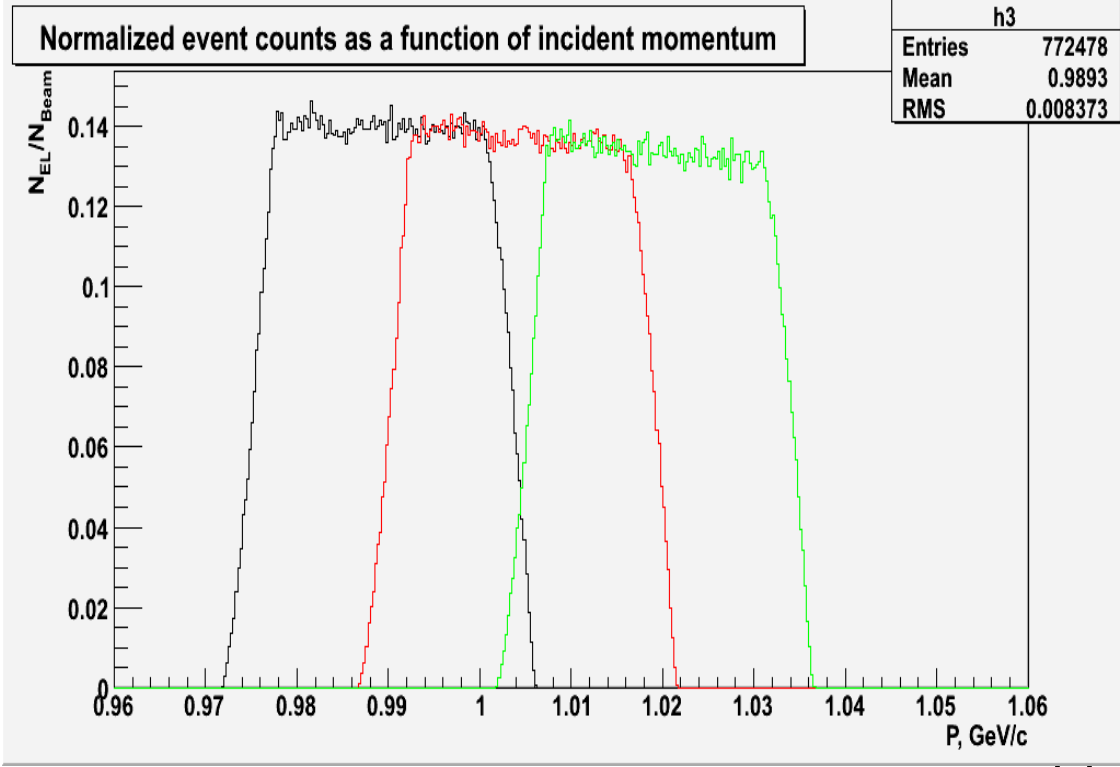
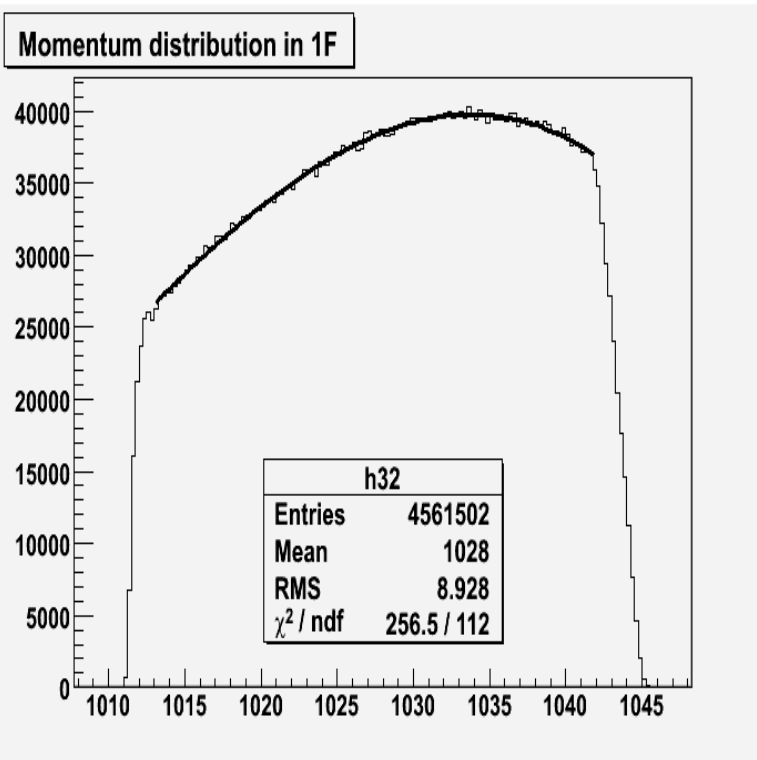
Канал 322 был спроектирован специально для опытов с точным измерением импульса налетающих частиц. План канала показан на рисунке. При наладке канала в 1976 году [2] при помощи сцинтилляционных счетчиков с поперечным размером 3мм было достигнуто разрешение по импульсам около  $dP/P = \pm 0.06\%$ . Ширина импульсного захвата канала  $\pm 1.5\%$



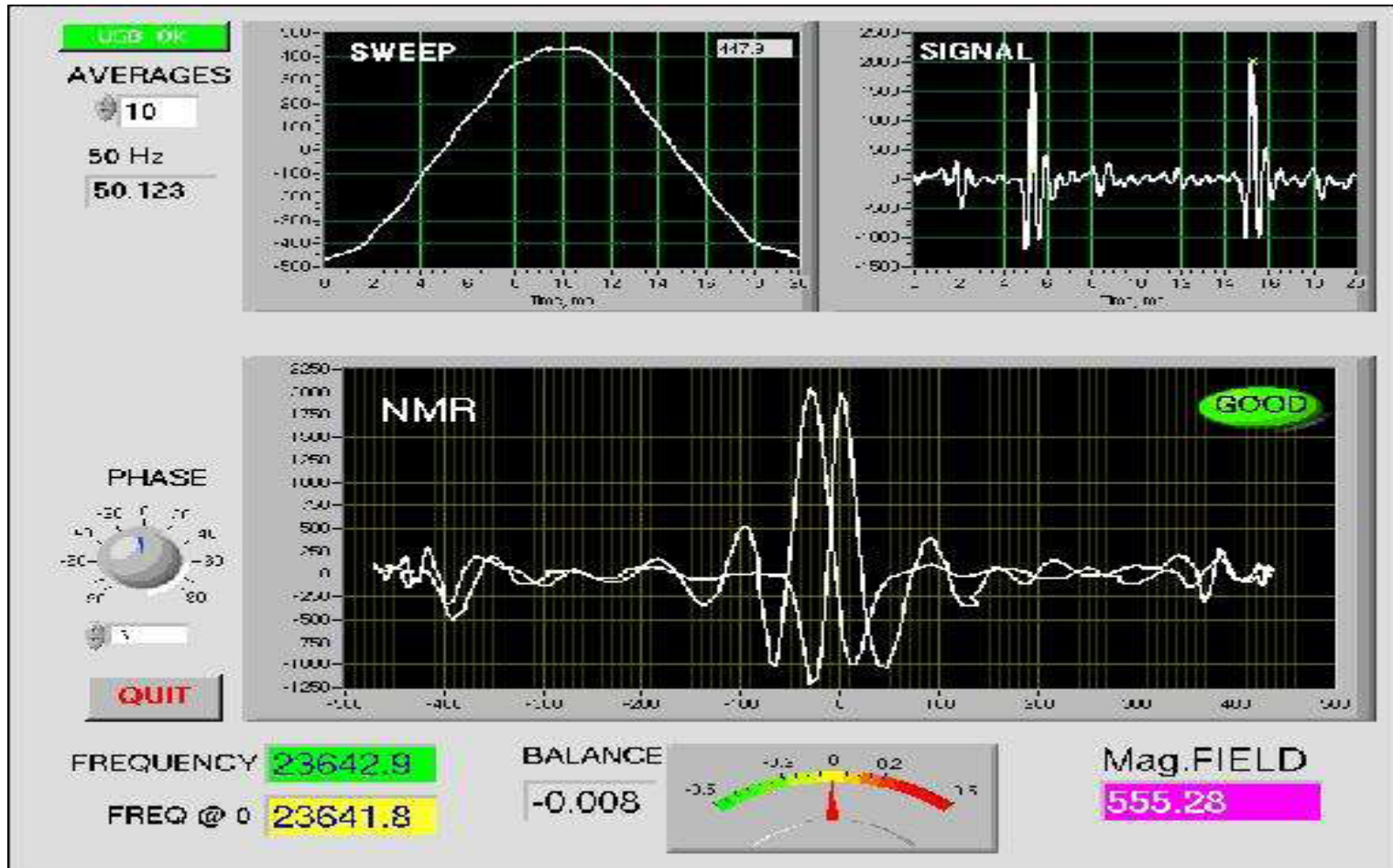
План канала 322 с новой установкой и соседних каналов 321 и 212.

Набор статистики производился при 27 значениях среднего импульса пучка в упругом  $\pi$ -р-рассеянии с таким расчетом, чтобы импульсные интервалы при соседних значениях среднего импульса перекрывались на половину ширины интервала. Таким образом, шаг по импульсу был выбран равным 15 МэВ/с при средних импульсах вблизи 1000 МэВ/с.

Типичное распределение пучковых частиц по импульсам в первом фокусе для одного импульсного интервала (слева) и нормализованные счета упругих событий для трех соседних импульсных интервалов (показаны справа различными цветами). Согласие нормировки в области перекрытия лучше 0,7 % во всей исследованной энергетической области.

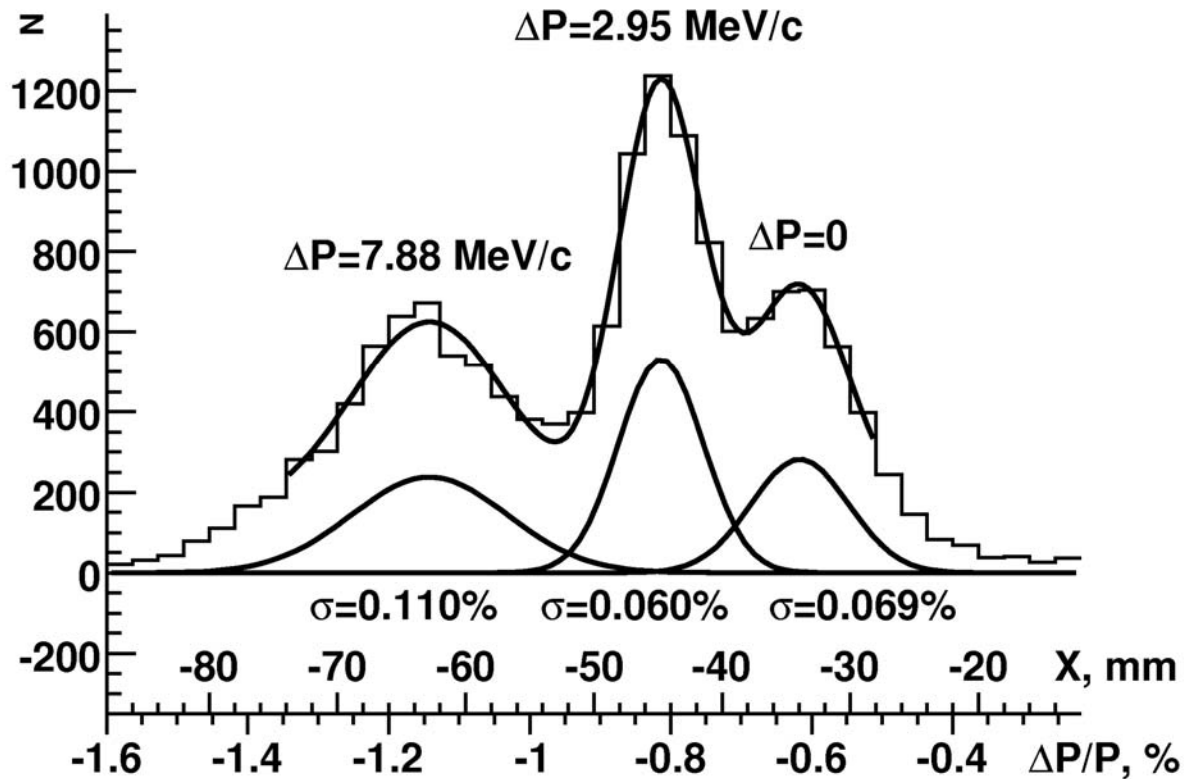


# Измерение магнитного поля в поворотном магните между первым и вторым фокусами с помощью метода ЯМР.



Измерение поля поворотного магнита с точностью лучше  $10^{-4}$  совместно с измерением положения пионного пучка после поворота в этом поле с помощью пропорциональных камер позволяет определять средний импульс пучка с точностью не хуже 0,05%, что полностью соответствует задачам эксперимента.

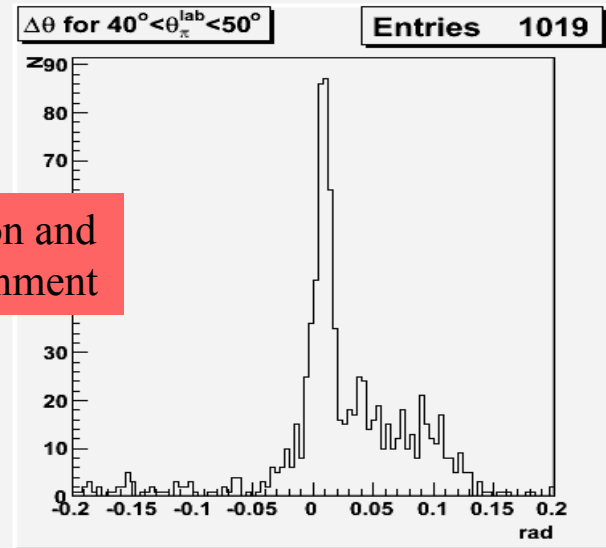
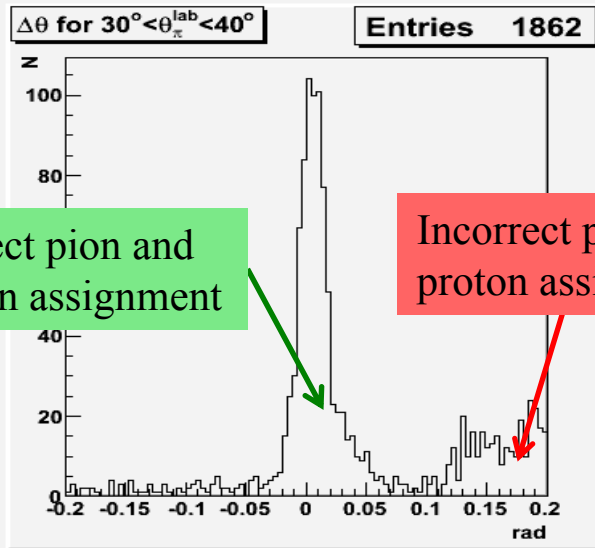
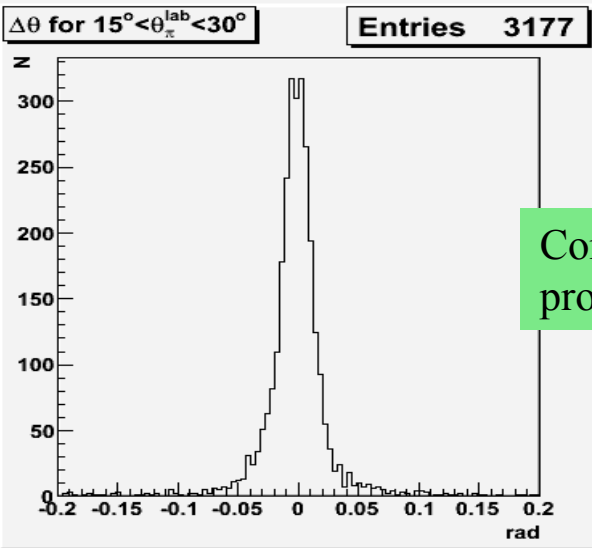
## Pion beam resolution.



Распределение частиц пучка по горизонтальной координате в фокальной плоскости первого фокуса при настройке канала на реакцию  $p+{}^9\text{Be}\rightarrow p+{}^9\text{Be}^*$  при импульсе протонов 1.50 ГэВ/с; нижняя шкала соответствует отличию импульса частиц от центрального импульса канала в процентах.

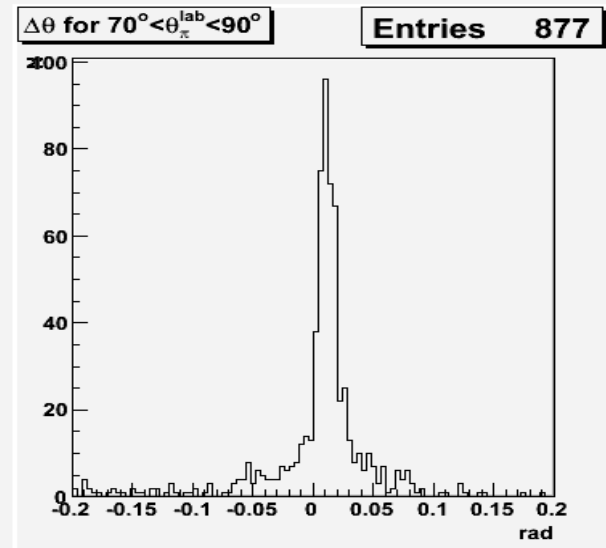
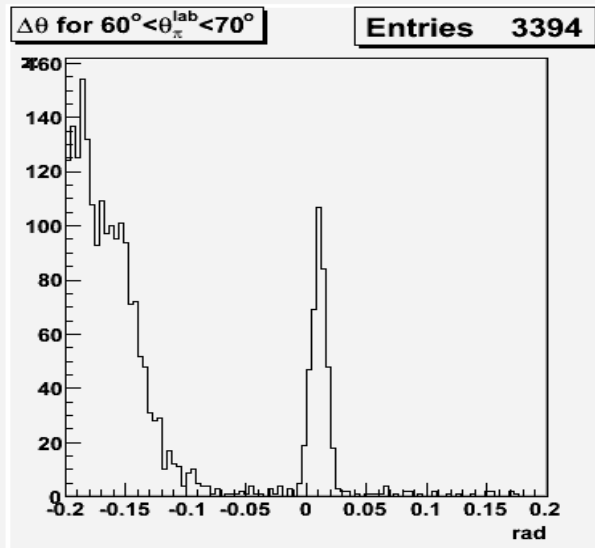
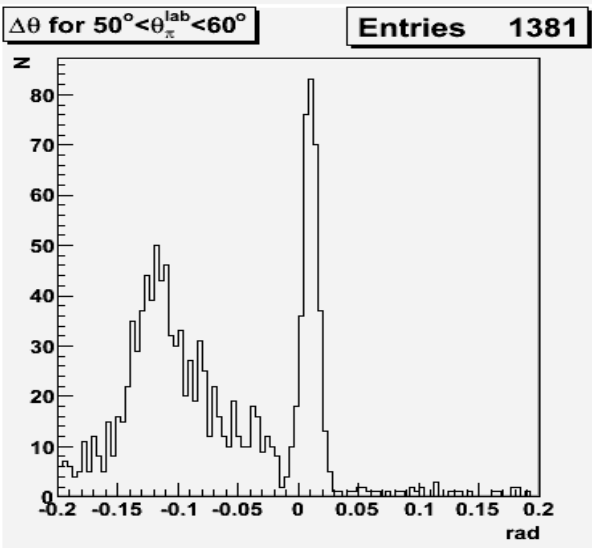


# Elastic events selection

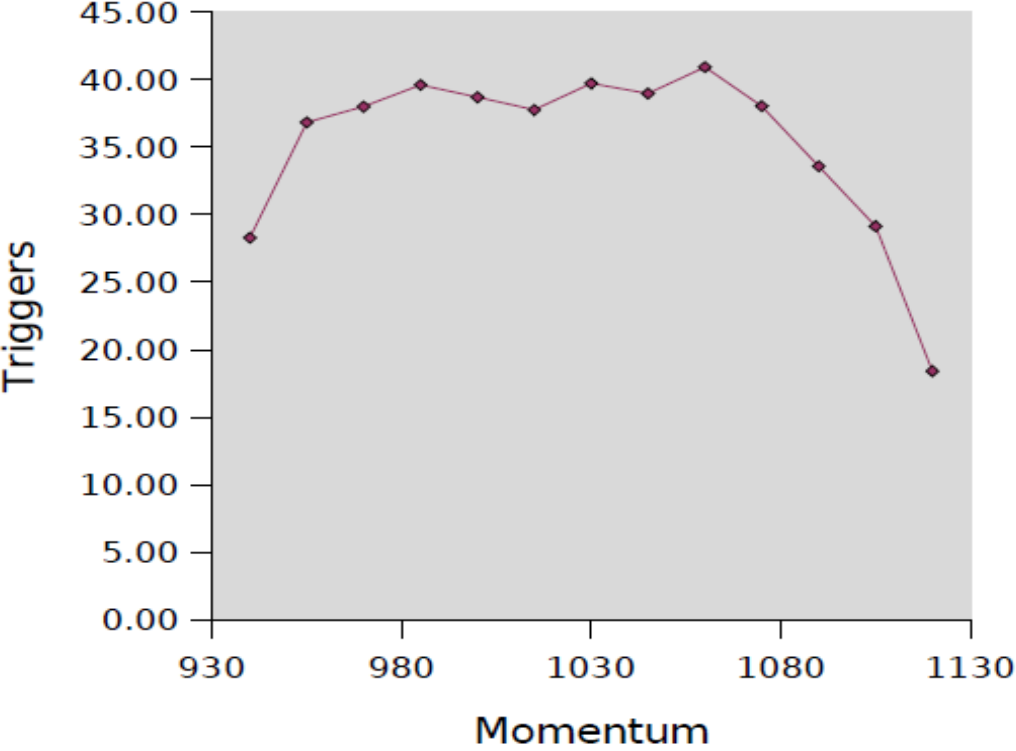


Correct pion and proton assignment

Incorrect pion and proton assignment

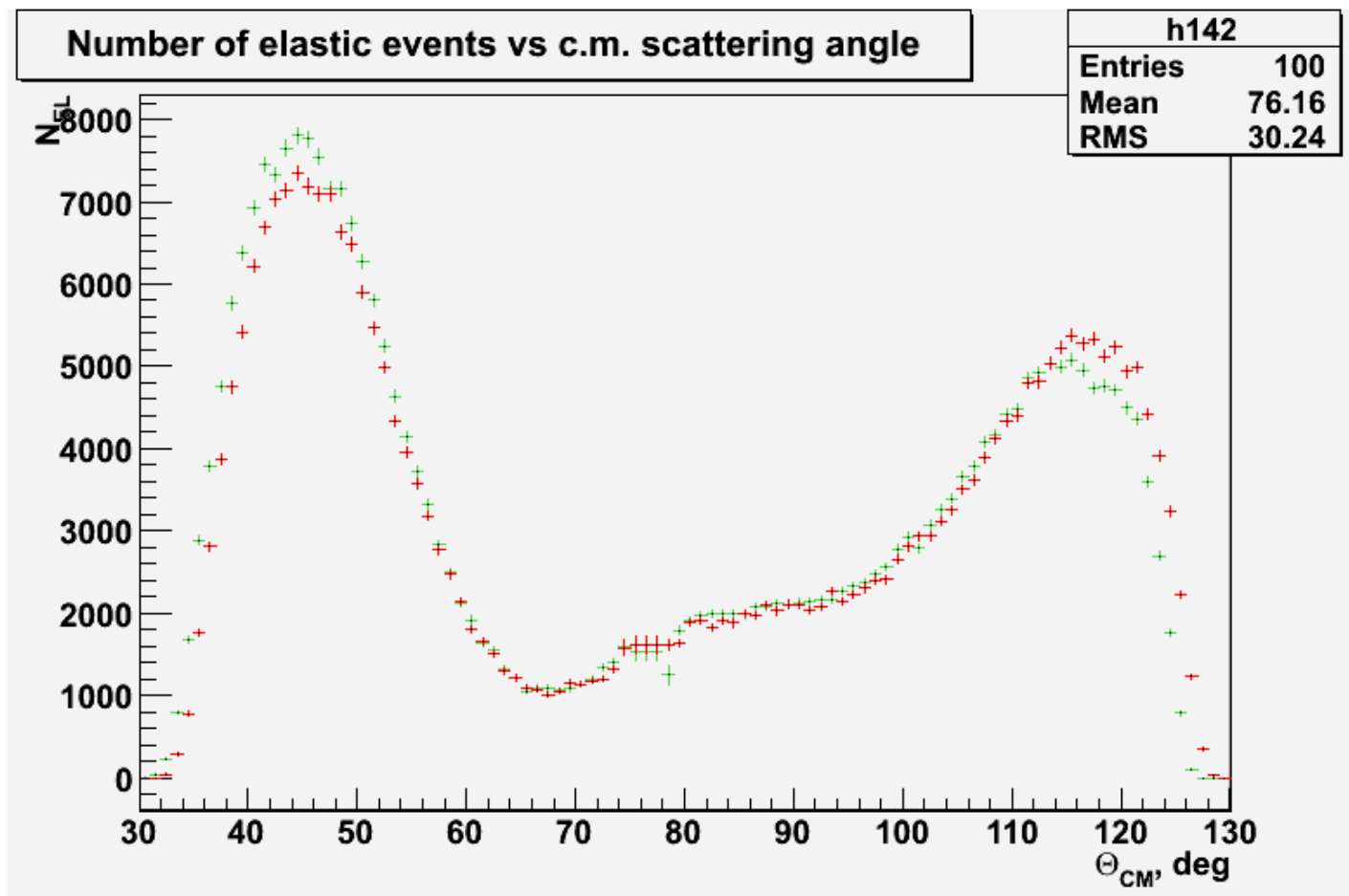


В двух циклах измерений 2010 года набрана статистика в упругом  $\pi^-p$ -рассеянии при 27 значениях импульса пионного пучка в интервале 820 – 1210 МэВ/с (шаг по импульсу 15 МэВ/с) и в упругом  $\pi^+p$ -рассеянии при 29 значениях импульса пионного пучка в интервале 820 – 1240 МэВ/с (шаг по импульсу 15 МэВ/с). Набрано по 30 млн. событий при каждом значении импульса пионов. Шаг по импульсу был выбран с таким расчётом, чтобы импульсные интервалы при соседних значениях среднего импульса перекрывались на половину ширины интервала.



Количество триггерных событий (млн.), записанных при различных значениях среднего импульса пучка (МэВ/с).

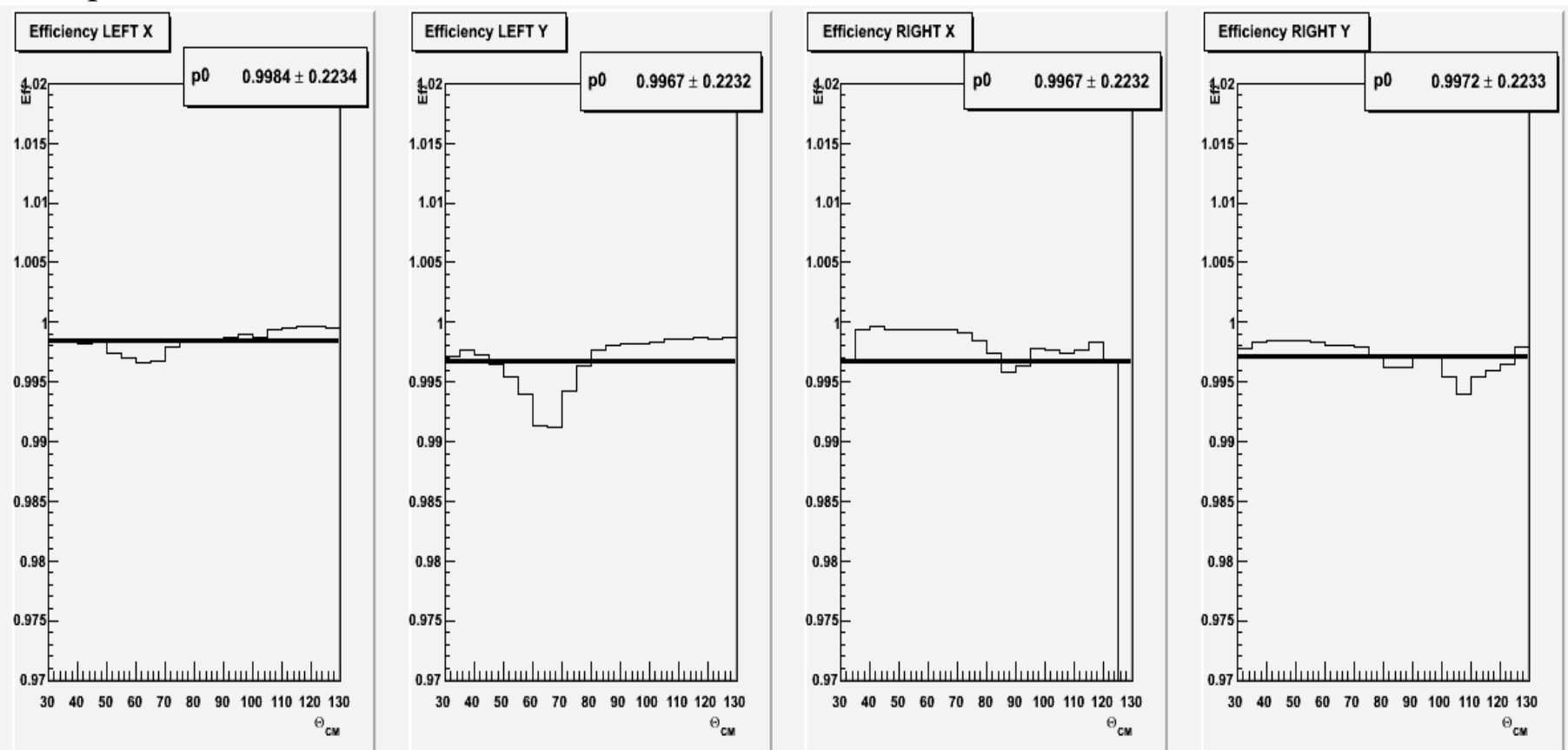
## Оценка симметрии левого и правого плеч установки при регистрации упругих событий.

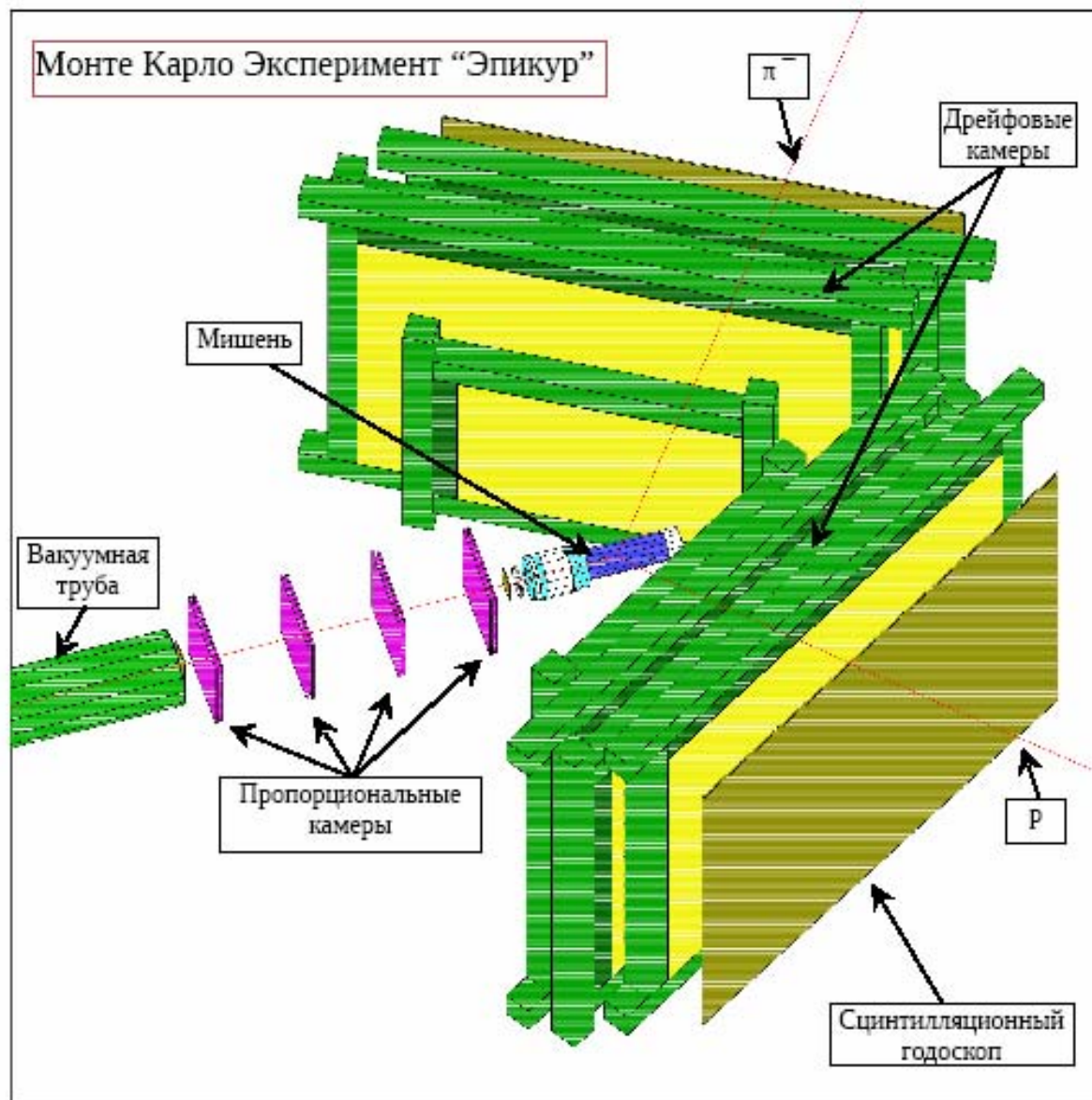


Количество упругих событий в импульсном диапазоне 1.00 – 1.03 ГэВ/с в зависимости от угла рассеяния в системе центра масс для левого (красные значки) и правого (зеленые значки) плеч установки. Ошибки статистические.

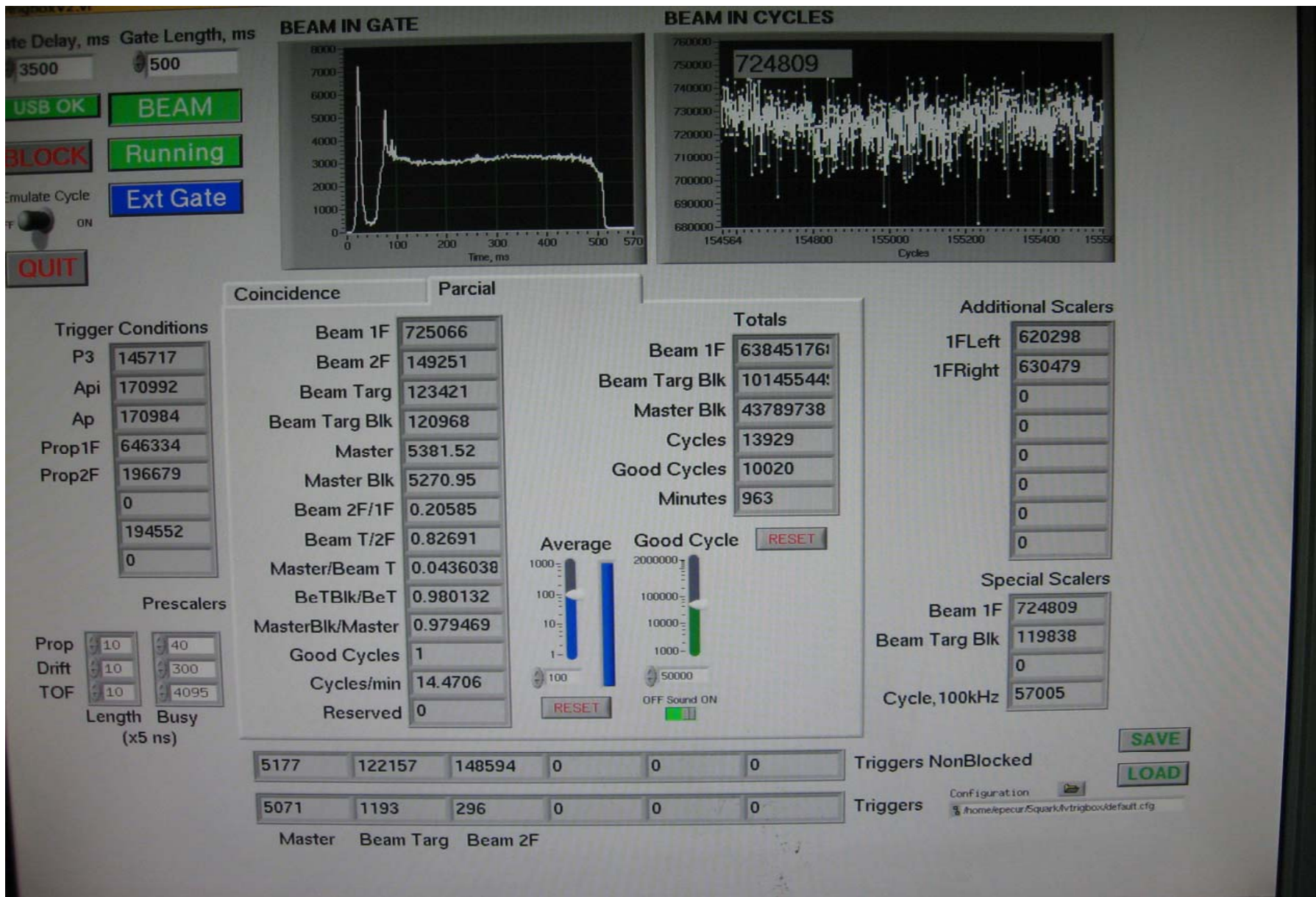
Ход кривой отражает зависимость дифф. сечения от угла. Отличие счетов на краях углового диапазона объясняется неполной симметрией акцептанса плеч.

Задачей эксперимента является определение сечений со статистической точностью 0.5%. Для достижения такой цели необходима стабильно высокая эффективность регистрации упругих событий. Исследованию этого аспекта посвящена отдельная ветвь обработки. Для отобранных упругих событий производится вычисление трековой эффективности различных частей установки. На рисунке приведены зависимости трековых эффективностей блоков плоскостей дрейфовых камер по определенным проекциям для частиц, рассеянных на различные углы в системе центра масс. Из рисунка видно, что для всех углов рассеяния эффективность нахождения трека больше 99%, а средняя неэффективность по проекциям не превосходит 0.4%.

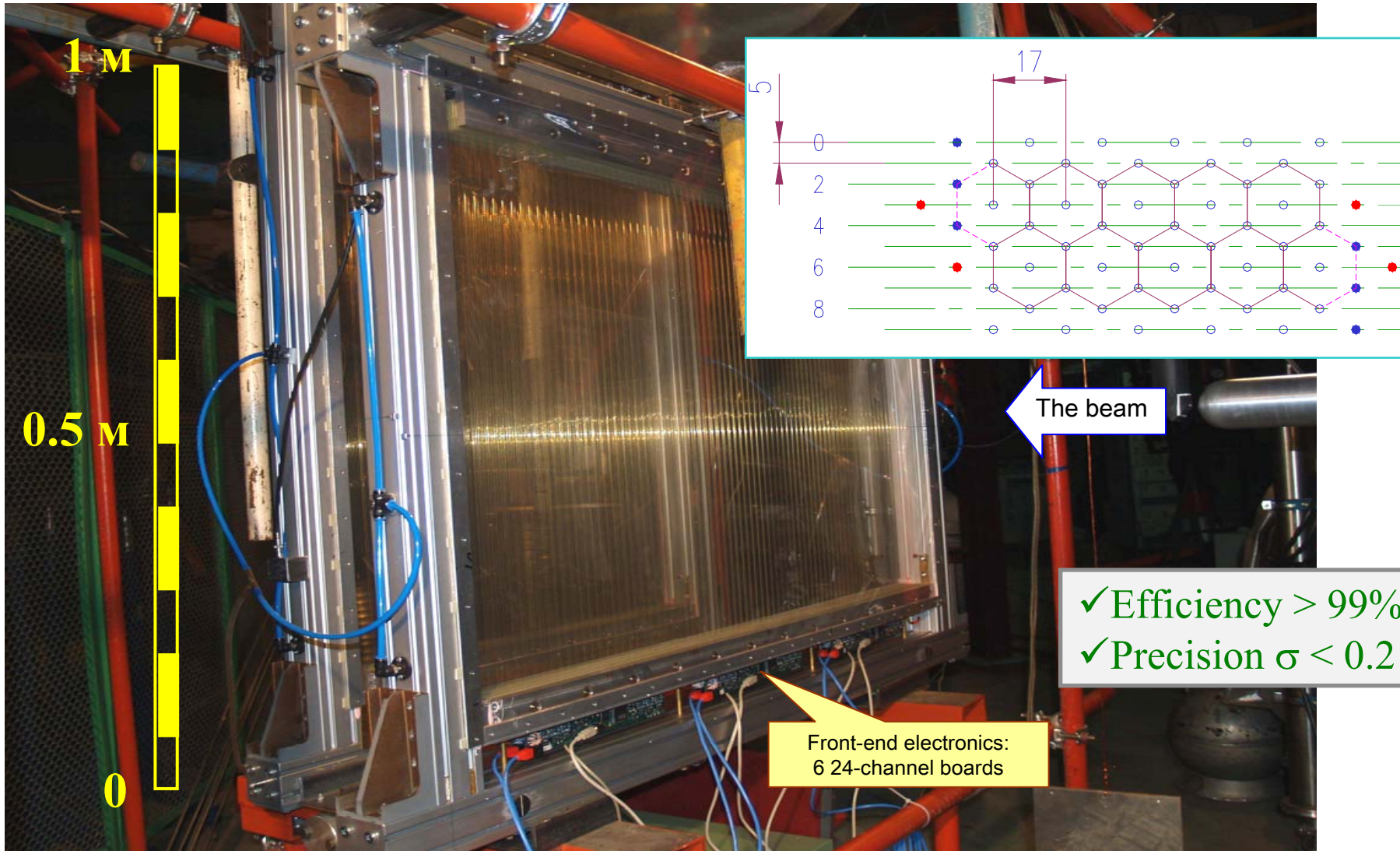




# Информационное табло о работе установки и о параметрах пионного пучка.



# ЛМФ - 2010 год



Drift chamber module "X" (wires along the short side) under test at ITEP accelerator. A "Y" module be seen behind the "X" module.

# ЛМФ - 2010 год

ж) Продолжались работы по подготовке нового парциально-волнового анализа в интервале импульсов до 725 МэВ/с (совместно с учеными Института физики г.Хельсинки (Финляндия)).

В.В.Абаевым в 2010 году опубликован препринт ПИЯФ № в котором представлены результаты модельно-независимой интерполяции полных неупругих сечений в  $\pi^+$  p-рассеянии в области низких и промежуточных энергий ( от порога до 0,8 ГэВ/с). Результаты будут использованы при выполнении парциально-волнового анализа пион-нуклонного рассеяния.



# ЛМФ - 2010 год

## Список работ, опубликованных сотрудниками Лаборатории мезонной физики в 2010 г.

1. Search for narrow pion-proton states in s-channel at EPECUR: experiment status.

( The EPECUR collaboration)

I. G. Alekseev (1), V. A. Andreev (2), I. G. Bordyuzhin (1), P. Ye. Budkovsky (1),  
D. A. Fedin (1), Ye. A. Filimonov (2), V. V. Golubev (2), V. P. Kanavets (1), L. I. Koroleva  
(1), A. I. Kovalev (2), N. G. Kozlenko (2), V. S. Kozlov (2), A. G. Krivshich (2),  
B. V. Morozov (1), V. M. Nesterov (1), D. V. Novinsky (2), V. V. Ryltsov (1), M. Sadler (3),  
A. D. Sulimov (1), V. V. Sumachev (2), D. N. Svirida (1), V. I. Tarakanov (2),  
V. Yu. Trautman (2)

((1) ITEP, Moscow, Russia, (2) PNPI, Gatchina, Russia, (3) ACU, Abilene, USA)

To appear in the proceedings of DSPIN'09, Dubna, Russia, Sep. 1-5, 2009

Subjects: High Energy Physics - Experiment (hep-ex)

## 2. Photoproduction of $\eta$ -mesons off the deuteron.

Jaegle, I.; Mertens, T.; Fix, A.; Huang, F.; Nakayama, K.; Tiator, L.; Anisovich, A.V.; Bacelar, J.C.S.; Bantes, B.; Bartholomy, O.; Bayadilov, D.E.; Beck, R.; Beloglazov, Y.A. Castelijns, R.; Crede, V.; Dutz, H.; Elsner, D.; Ewald, R.; Frommberger, F.; Funke, C.; Gregor, R.; Gridnev, A.B.; Gutz, E.; Hillert, W.; Hoeffgen, S.; Junkersfeld, J.; Kalinowsky, H.; Kammer, S. Kleber, V.; Klein, Frank; Klein, Friedrich; Klempt, E.; M. Kotulla, B. Krusche, M. Lang, H. Loehner, I.V. Lopatin, S. Lugert, D. Menze, J.G. Messchendorp, V. Metag, V.A. Nikonov, M. Nanova, D.V. Novinski, R. Novotny, M. Ostrick, L.M. Pant, H. van Pee, M. Pfeiffer, A. Roy, A.V. Sarantsev, S. Schadmand, C. Schmidt, H. Schmieden, B. Schoch, S.V. Shende, V. Sokhoyan, A. Suele, V.V. Sumachev, T. Szczepanek, U. Thoma, D. Trnka, R. Varma, D. Walther, C. Wendel.

Accepted for publication in Eur. Phys. J. e-Print: [arXiv:1012.1021](https://arxiv.org/abs/1012.1021) [nucl-ex]

## 3. Photoproduction of $\omega$ - mesons on nuclei near the production threshold.

M. Nanova, J. Weil, S. Friedrich, V. Metag, U. Mosel, G. Anton, J.C.S. Bacelar, O. Bartholomy, D. Bayadilov, Y.A. Beloglazov, R. Bogendörfer, R. Castelijns, V. Crede, H. Dutz, A. Ehmanns, D. Elsner, K. Essig, R. Ewald, I. Fabry, M. Fuchs, Ch. Funke, R. Gothe, R. Gregor, A.B. Gridnev, E. Gutz, S. Höffgen, P. Hoffmeister, I. Horn, J. Hössl, I. Jaegle, J. Junkersfeld, H. Kalinowsky, Frank Klein, Friedrich Klein, E. Klempt, M. Konrad, B. Kopf, M. Kotulla, B. Krusche, J. Langheinrich, H. Löhner, I.V. Lopatin, J. Lotz, S. Lugert, D. Menze, T. Mertens, J.G. Messchendorp, C. Morales, R. Novotny, M. Ostrick, L.M. Pant, H. van Pee, M. Pfeiffer, A. Roy, A. Radkov, S. Schadmand, Ch. Schmidt, H. Schmieden, B. Schoch, S. Shende, G. Suft, A. Süle, V.V. Sumachev, T. Szczepanek, U. Thoma.

e-Print: [arXiv:1008.4520](https://arxiv.org/abs/1008.4520) [nucl-ex]

## 4. Measurement of the Beam Asymmetry $\Sigma$ in the Forward Direction for $\pi^0$ Photoproduction.

N. Sparks, V. Crede, A. V. Anisovich, J. C. S. Bacelar, R. Bantes, O. Bartholomy, D. Bayadilov, R. Beck, Y. A. Beloglazov, R. Castelijns, D. Elsner, R. Ewald, F. Frommberger, C. Funke, R. Gregor, A. Gridnev, E. Gutz, W. Hillert, P. Hoffmeister, I. Jaegle, J. Junkersfeld, H. Kalinowsky, S. Kammer, Frank Klein, Friedrich Klein, E. Klempt, M. Kotulla, B. Krusche, H. Loehner, I. V. Lopatin, S. Lugert, D. Menze, T. Mertens, J. G. Messchendorp, V. Metag, M. Nanova, V. A. Nikonov, D. Novinski, R. Novotny, M. Ostrick, L. M. Pant, H. Pee, M. Pfeiffer, A. Roy, A. V. Sarantsev, S. Schadmand, C. Schmidt, H. Schmieden, B. Schoch, S. Shende, V. Sokhoyan, A. Suele, V.V. Sumachev, T. Szczepanek, U. Thoma, D. Trnka, R. Varma, D. Walther, C. Wendel, A. Wilson

[Phys. Rev. C 81, 065210 \(2010\)](#)

## 5. Photoproduction of meson pairs: First measurement of the polarization observable $I^S$ .

E. Gutz, V. Sokhoyan, H. van Pee, A.V. Anisovich, J.C.S. Bacelar, B. Bantes, O. Bartholomy, D. Bayadilov, R. Beck, Yu. Beloglazov, R. Castelijns, V. Crede, H. Dutz, D. Elsner, R. Ewald, F. Frommberger, M. Fuchs, Ch. Funke, R. Gregor, A. Gridnev, W. Hillert, Ph. Hoffmeister, I. Horn, I. Jaegle, J. Junkersfeld, H. Kalinowsky, S. Kammer, V. Kleber, Frank Klein, Friedrich Klein, E. Klempt, M. Kotulla, B. Krusche, M. Lang, H. Loehner, I. Lopatin, S. Lugert, D. Menze, T. Mertens, J.G. Messchendorp, V. Metag, M. Nanova, V. Nikonov, D. Novinski, R. Novotny, M. Ostrick, L. Pant, M. Pfeiffer, D. Piontek, W. Roberts, A. Roy, A. Sarantsev, S. Schadmand, Ch. Schmidt, H. Schmieden, B. Schoch, S. Shende, A. Suele, V. Sumachev, T. Szczepanek, A. Thiel, U. Thoma, D. Trnka, R. Varma, D. Walther, Ch. Weinheimer.

[Phys.Lett.B687:11-15,2010](#)

## 6. First measurement of the circular beam asymmetry in the $\gamma p - \pi^0 n p$ reaction.

Kashevarov, V.L.; Fix, A.; Aguar-Bartolome, P.; Akasoy, L.K.; Annand, J.R.M.; Arends, H.J.; Bantawa, K.; Beck, R.; Bekrenev, V.; Berghauser, H.; Braghieri, A.; Branford, D.; Briscoe, W.J.; Brudvik, J.; Cherepnya, S.; Codling, R.F.B.; Demissie, B.T.; Downie, E.J.; Drexler, P. Fil'kov, L.V.; Glazier, D.I.; Gregor, R.; Hamilton, D.; Heid, E.; Hornidge, D.; Jaegle, I.; Jahn, O.; Jude, T.C.; Kellie, J.D.; Keshelashvili, I.; Kondratiev, R.; Korolija, M.; Kotulla, M.; Koulbardis, A.; Kruglov, S.; Krusche, B.; Lisin, V.; Livingston, K.; MacGregor, I.J.D.; Maghrbi, Y.; Manley, D.M.; Martinez-Fabregate, M.; McGeorge, J.C.; McNicoll, E.F.; Mekterovic, D.; Metag, V. Micanovic, S.; Middleton, D.; Mushkarenkov, A.; Nefkens, B.M.K.; Nikolaev, A.; Novotny, R.; Ostrick, M.; Otte, P.B.; Oussena, B.; Pedroni, P.; Pheron, F.; Polonski, A.; Prakhov, S.N.; Robinson, J.; Rosner, G.; Rostommyan, T.; Schumann, S.; Sikora, M.H.; Sober, D.; Starostin, A.; Stakovsky, I.I.; Suarez, I.M.; Supek, I.; Tarbert, C.; Thiel, M.; Thomas, A.; Unverzagt, M.; Watts, D.P.; Werthmuller, D.P.; Zamboni, I.; Zehr., F.;

[Phys.Lett.B 693:551-554,2010](#)

## 7. Opportunities for the Crystal Ball detectors at JLab.

A. Starostin.

[AIP Conf. Proc. 1257:808-812, 2010.](#)

## 8. Total inelastic cross section in $\pi^+ p$ scattering.

V.V.Abaev.

[Report PNPI № 2835 \(Gatchina 2010\)](#)

## 9. Study of the $\gamma p - \eta p$ reaction with the Crystal Ball detector at the Mainz Microtron (MAMI-C).

McNicoll, E.F.; Prakhov, S.; Strakovsky, I.I.; Aguar-Bartolome, P.; Akasoy, L.K.; Annand, J.R.M.; Arends, H.J.; Arndt, R.A.; Azimov, Ya.I.; Bantawa, K.; Beck, R.; Bekrenev, V.S.; Berghauser, H.; Braghieri, A.; Branford, D.; Briscoe, W.J.; Brudvik, J.; Cherepnaya, S.; Codling, R.F.B.; Demissie, B.T.; Downie, E.J.; Drexler, P.; Fil'kov, L.V.; Fix, A.; Freehart, B.; Glazier, D.I.; Gregor, R.; Hamilton, D.; Heid, E.; Hornidge, D.; Jaegle, I.; Jahn, O.; Jude, T.C.; Kashevarov, V.L.; Kellie, J.D.; Keshelashvili, I.; Kondratiev, R.; Korolija, M.; Kotulla, M.; Koulbardis, A.A.; Kruglov, S.P.; Krusche, B.; Lisin, V.; Livingston, K.; MacGregor, I.J.D.; Maghrbi, Y.; Manley, D.M.; Marinides, Z.; Martinez, M.; McGeorge, J.C.; McKinnon, B.; Mekterovic, D.; Metag, V.; Micanovic, S.; Middleton, D.; Mushkarenkov, A.; Nefkens, B.M.K.; Nikolaev, A.; Novotny, R.; Ostrick, M.; Otte, P.B.; Oussena, B.; Paris, M.W.; Pedroni, P.; Pheron, F.; Polonski, A.; Robinson, J.; Rosner, G.; Rostomyan, T.; Schumann, S.; Sikora, M.H.; Sober, D.I.; Starostin, A.; Suarez, I.M.; Supek, I.; Thiel, M.; Thomas, A.; Tiator, L.; Unverzagt, M.; Watts, D.P.; Werthmuller, D.; Workman, R.L.; Zamboni, I.; Zehr, F.;

[Phys.Rev.C82:035208,2010](#)

## 10. Measurement of $K^- p$ radiative capture to $\gamma \Lambda$ and $\gamma \Sigma^0$ for $p_K^-$ between 514 and 750 MeV/c

S. Prakhov, P. Vancraeyveld, N. Phaisangittisakul, B.M.K. Nefkens, V. Bekrenev, W.J. Briscoe, L. DeCruz, D. Isenhower, N. Knecht, A. Koulbardis, N. Kozlenko, S. Kruglov, G. Lolos, I. Lopatin, A. Marušić, S. McDonald, Z. Papandreou, D. Peaslee, J.W. Price, J. Ryckebusch, M. Sadler, A. Shafi, A. Starostin, H.M. Staudenmaier, I.I. Strakovsky, I. Supek, T. Van Cauteren

[Phys.Rev.C82:015201, 2010.](#)

## 11. In-medium $\omega$ mass from the $\gamma$ +Nb - $\pi^0\gamma$ + X reaction .

M. Nanova, V. Metag, G. Anton, J.C.S. Bacelar, O. Bartholomy, D. Bayadilov, Y.A. Beloglazov, R. Bogendörfer, R. Castelijns, V. Crede, H. Dutz, A. Ehmans, D. Elsner, K. Essig, R. Ewald, I. Fabry, M. Fuchs, Ch. Funke, R. Gothe, R. Gregor, A.B. Gridnev, E. Gutz, S. Höffgen, P. Hoffmeister, I. Horn, J. Hössl, I. Jaegle, J. Junkersfeld, H. Kalinowsky, Frank Klein, Friedrich Klein, E. Klempt, M. Konrad, B. Kopf, M. Kotulla, B. Krusche, J. Langheinrich, H. Löhner, I.V. Lopatin, J. Lotz, S. Lugert, D. Menze, T. Mertens, J.G. Messchendorp, C. Morales, R. Novotny, M. Ostrick, L.M. Pant, H. van Pee, M. Pfeiffer, A. Roy, A. Radkov, S. Schadmand, Ch. Schmidt, H. Schmieden, B. Schoch, S. Shende, G. Suft, A. Süle, V. V. Sumachev, T. Szczepanek, U. Thoma,  
[Phys. Rev. C82:035209, 2010.](#)

## 12. Radiative $\pi^0$ photoproduction on protons in the $\Delta^+$ (1232) region.

S. Schumann, B. Boillat, E.J. Downie, P. Aguar-Bartolomé, J. Ahrens, J.R.M. Annand, H.J. Arends, R. Beck, V. Bekrenev, A. Braghieri, D. Branford, W.J. Briscoe, J.W. Brudvik, S. Cherepnya, R. Codling, P. Drexler, L.V. Fil'kov, D.I. Glazier, R. Gregor, E. Heid, D. Hornidge, O. Jahn, V.L. Kashevarov, R. Kondratiev, M. Korolija, M. Kotulla, D. Krambrich, B. Krusche, M. Lang, V. Lisin, K. Livingston, S. Lugert, I.J.D. MacGregor, D.M. Manley, M. Martinez-Fabregate, J.C. McGeorge, D. Mekterovic, V. Metag, B.M.K. Nefkens, A. Nikolaev, R. Novotny, M. Ostrick, R.O. Owens, P. Pedroni, A. Polonski, S.N. Prakhov, J.W. Price, G. Rosner, M. Rost, T. Rostomyan, D. Sober, A. Starostin, I. Supek, C.M. Tarbert, A. Thomas, M. Unverzagt, Th. Walcher, D.P. Watts, F. Zehr  
[Eur. Phys. J. A 43, 269-282 \(2010\)](#)