

ЛМФ - 2006 год.

Лаборатория мезонной физики ОФВЭ

Отчет о ходе выполнения научно-исследовательской работы

«Барионная спектроскопия и физика с h -мезонами»

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

ЛМФ - 2006 год.

Выполненные этапы в 2006 году:

а) На π -мезонном канале СЦ ПИЯФ проведены два сеанса измерения сечений реакции $\pi p \rightarrow \eta n$ в околопороговой области импульсов (до 730 МэВ/с);

б) На пионном канале ускорителя ИТЭФ набрана статистика и выполняется обработка результатов измерений в эксперименте по измерению поляризационного параметра P при рассеянии положительных пионов на поляризованных протонах для углов рассеяния назад $\Theta_{cm} = 150^\circ - 170^\circ$ при импульсах налетающих пионов 1,94 ГэВ/с и 2,07 ГэВ/с.

в) Реализуется программа подготовки совместного эксперимента ПИЯФ-ИТЭФ «ЭПЕКУР» по поиску узких нуклонных резонансов. На пионном пучке № 322 ускорителя ИТЭФ достигнуто импульсное разрешение $\Delta P/P = 0.09\%$ (июль 2006 г.)

Во районе второго фокуса пионного канала ПИЯФ сформирован тестовый пучок для испытания трековых детекторов. На этом пучке продолжалось тестирование системы съема информации с прототипов пропорциональной и дрейфовой камер.

За счет средств ЛМФ и при финансовой поддержке ОФВЭ осуществлено финансирование и начато изготовление двух полноформатных дрейфовых камер для эксперимента «ЭПЕКУР». Изготовлены две пропорциональные камеры с шагом 1 мм и фольговыми электродами для формирования пучка № 322 ускорителя ИТЭФ.

ЛМФ - 2006 год.

г) Продолжена обработка данных, полученных в экспериментах на π -мезонном пучке ускорителя AGS в Брукхэйвенской национальной лаборатории США;

д) На электронном микротроне МАМІ в 2006 году осуществлялась модернизация микротрона, имеющая целью увеличение энергии электронов с 800 до 1500 МэВ.

Сотрудники ПИЯФ участвовали в модернизации и наладке системы «мечения» фотонов.

е) На электронном ускорителе ELSA с энергией электронов до 3.2 ГэВ (Бонн, Германия) в 2006 году завершена модернизация экспериментальной установки для исследования фоторождения нейтральных мезонов, основой которой является многокристальный спектрометр полного поглощения Crystal Barrel.

ж) Продолжались работы по выполнению К-матричного анализа и подготовке нового парциально-волнового анализа пион-нуклонного рассеяния в первой резонансной области.

ЛМФ - 2006 год.

а) На пионном пучке синхроциклотрона ПИЯФ продолжен эксперимент по изучению процесса рождения η -мезона $\pi^- p \rightarrow \eta n$ вблизи порога этой реакции. Выполнены измерения дифференциальных сечений этого процесса при импульсе пионного пучка 700 МэВ/с; импульсный захват частиц в пучке не превышал 1,5% (полная ширина на полувысоте соответствующего распределения) благодаря помещению узкого вертикального коллиматора в той части канала, где импульсная дисперсия максимальна. В эксперименте используется спектрометр нейтральных мезонов, созданный в Лаборатории мезонной физики.

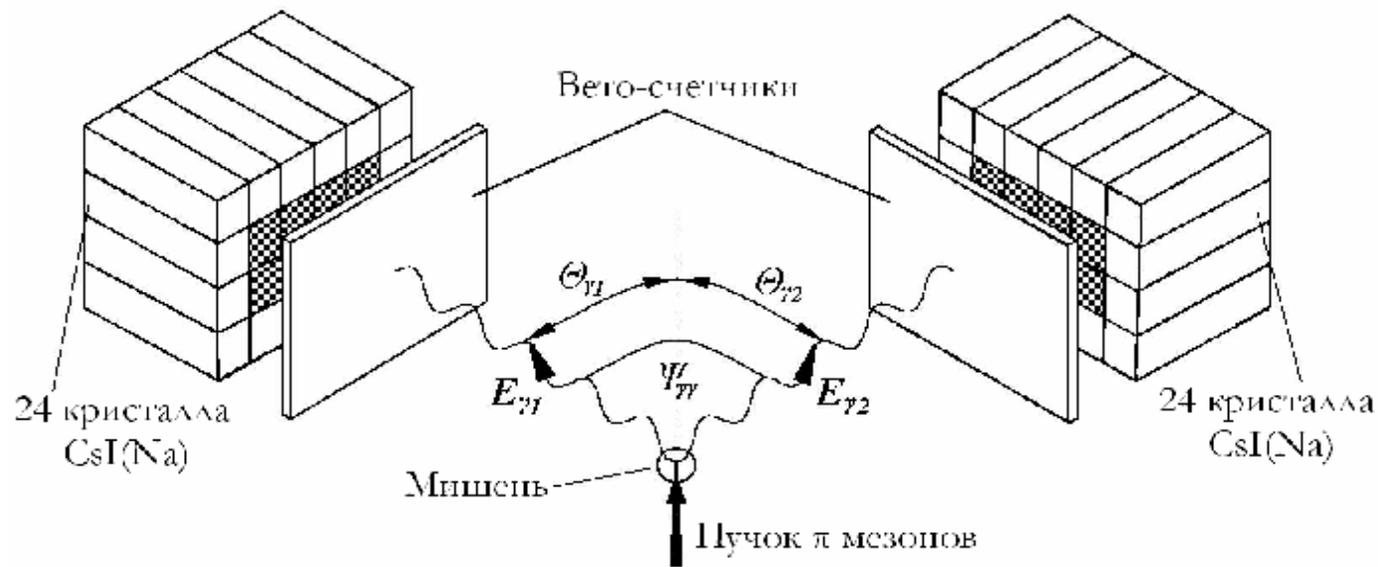
Дифференциальные сечения при 700 МэВ/с практически изотропны по углу и существенно отличаются по форме от сечений, измеренных нами ранее (в 2005 г.) при 710 МэВ/с, угловая зависимость которых анизотропна, но симметрична относительно 90° (напоминает профиль тарелки).

Это свидетельствует о том, что если вблизи порога реакция $\pi^- p \rightarrow \eta n$ идёт исключительно через образование $S_{11}(1535)$ -резонанса, то с увеличением импульса налетающих пионов растёт вклад в изучаемый процесс более высоких волн. Этот эффект должен проявиться ещё более явно при импульсе 720 МэВ/с, результаты для которого будут получены в 2007 году.

ЛМФ - 2006 год.

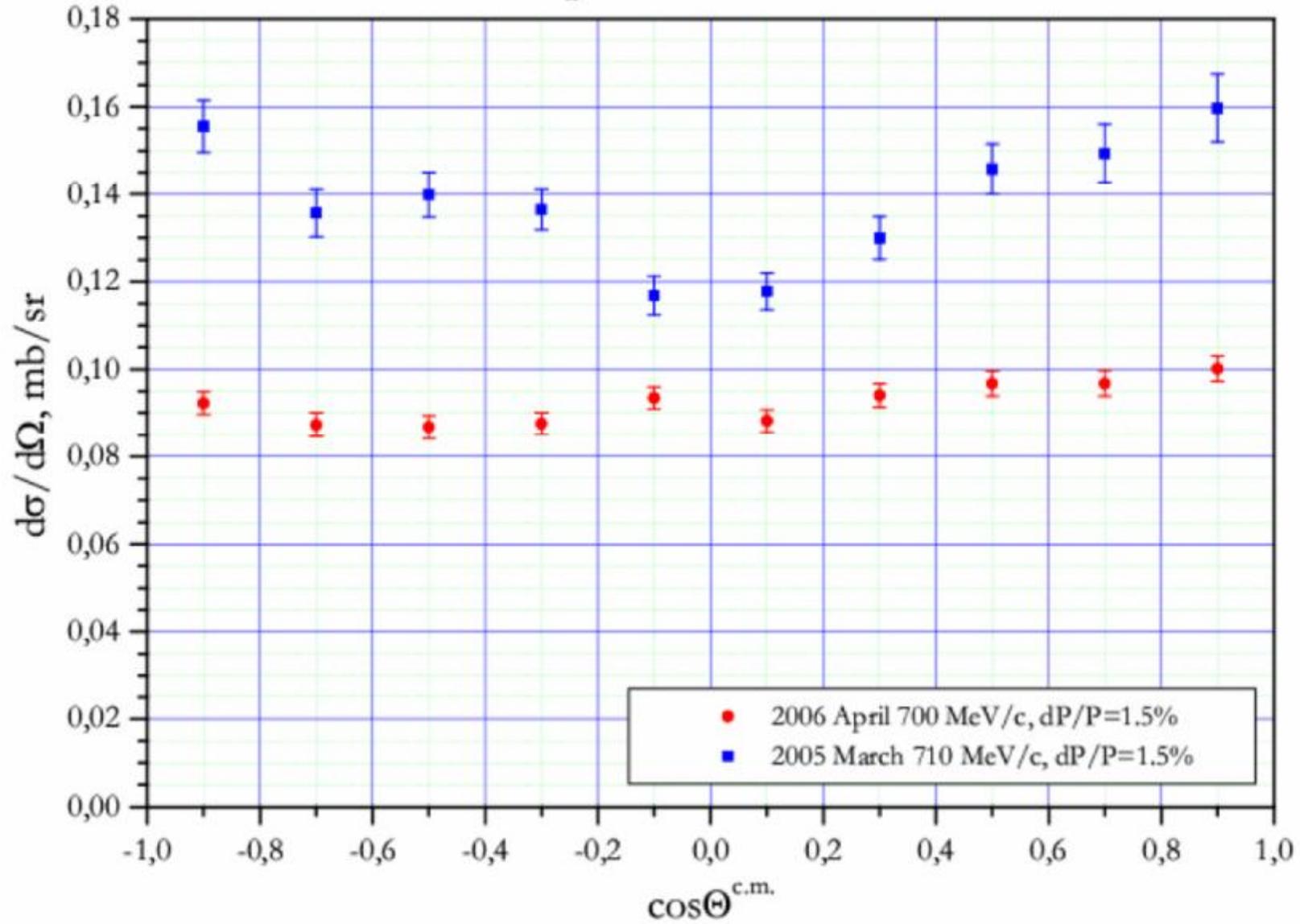
Основной принцип спектрометра – определение полной энергии образовавшегося η -мезона E_η и угла φ_η , под которым он образовался, на основе измерения энергий двух фотонов от распада $h^\circ \rightarrow \gamma\gamma$ и углов их вылета. Спектрометр состоит из двух электромагнитных калориметров полного 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 $\pi\text{-}p \rightarrow \eta\pi$ в угловом диапазоне от 0° до 180° в системе центра масс; всего в этом диапазоне получено десять статистически обеспеченных значений сечения.



ЛМФ - 2006 год.

Eta-production at PNPI



ЛМФ - 2006 год.

б) На пионном пучке № 321 протонного синхротрона ИТЭФ набрана статистика в эксперименте по измерению поляризационного параметра P в упругом p^+p -рассеянии назад при импульсе 1,94 ГэВ/с и 2,07 ГэВ/с.

В эксперименте использована поляризованная мишень ПИЯФ.

$$p^+p, \quad q_{cm}=(148-176)^\circ, P=1.94 \text{ and } 2.07 \text{ GeV/c}$$

Т No or very poor experimental information up to now

Т Main difficulty: extremely small cross section in the explored domain

⇒ Significant background

⇒ Its careful subtraction and systematic error estimate

ЛМФ - 2006 год.

"SPIN-P"

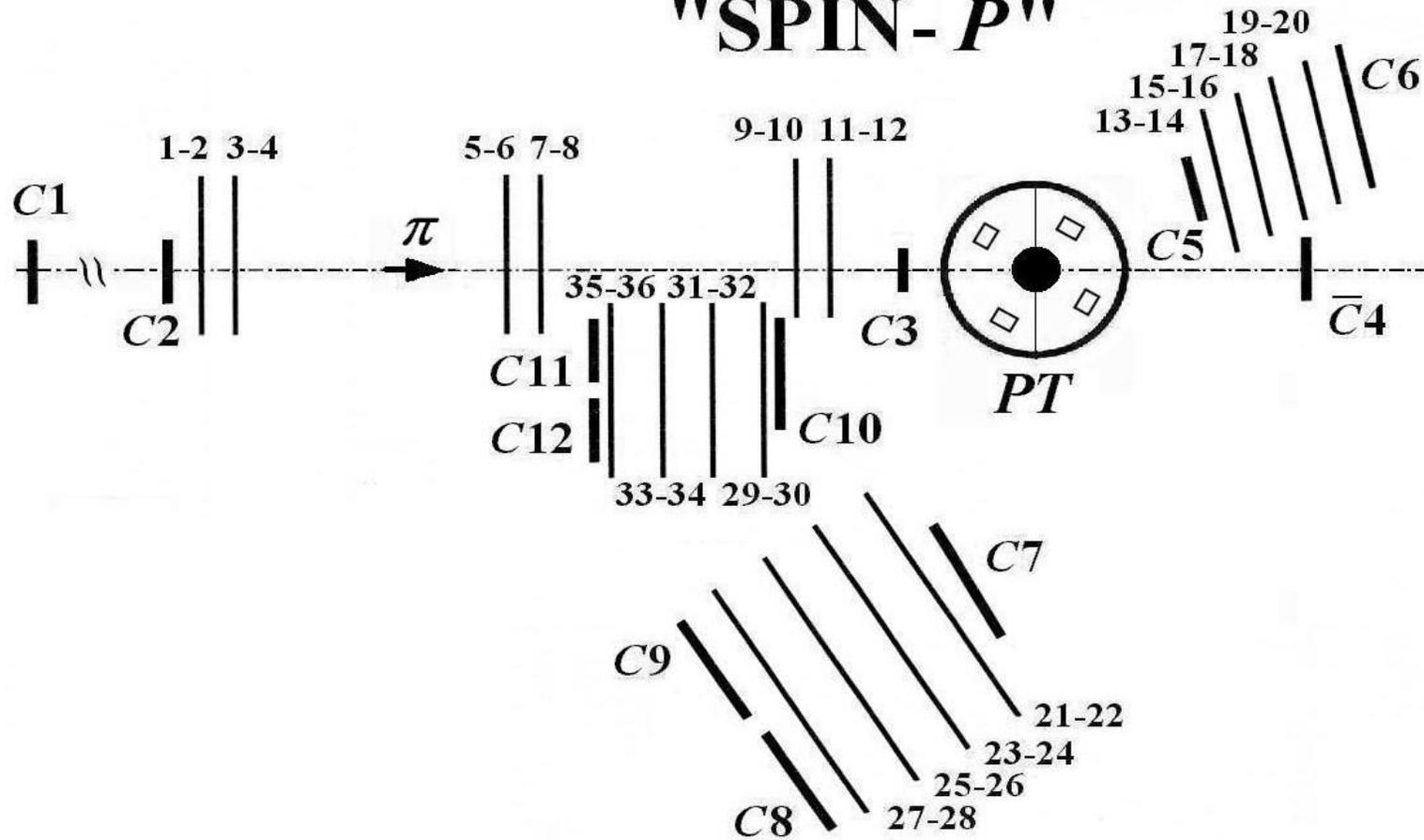
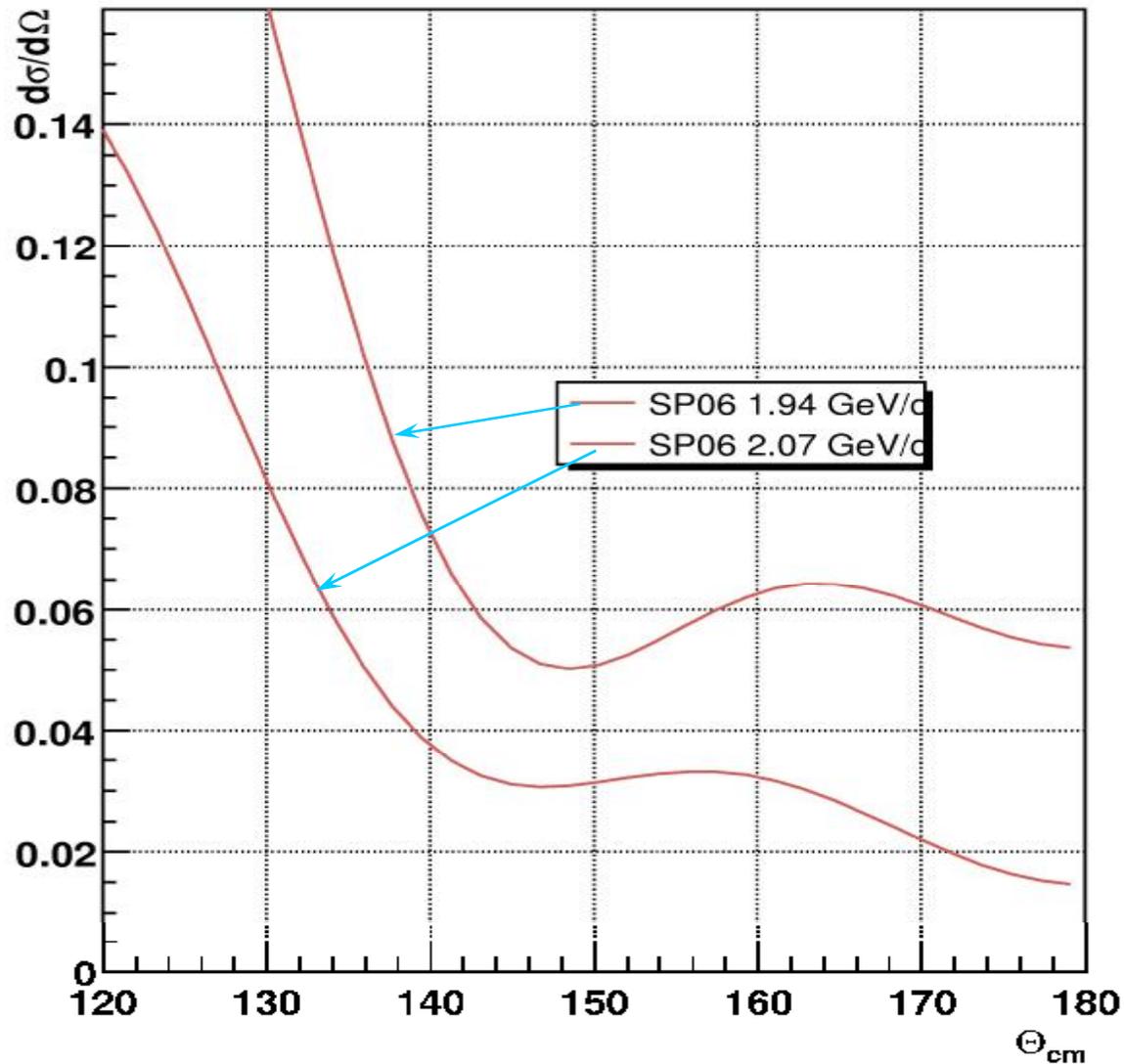


Схема эксперимента по измерению параметра P на пионном пучке ускорителя ИТЭФ.

Differential cross section π^+p



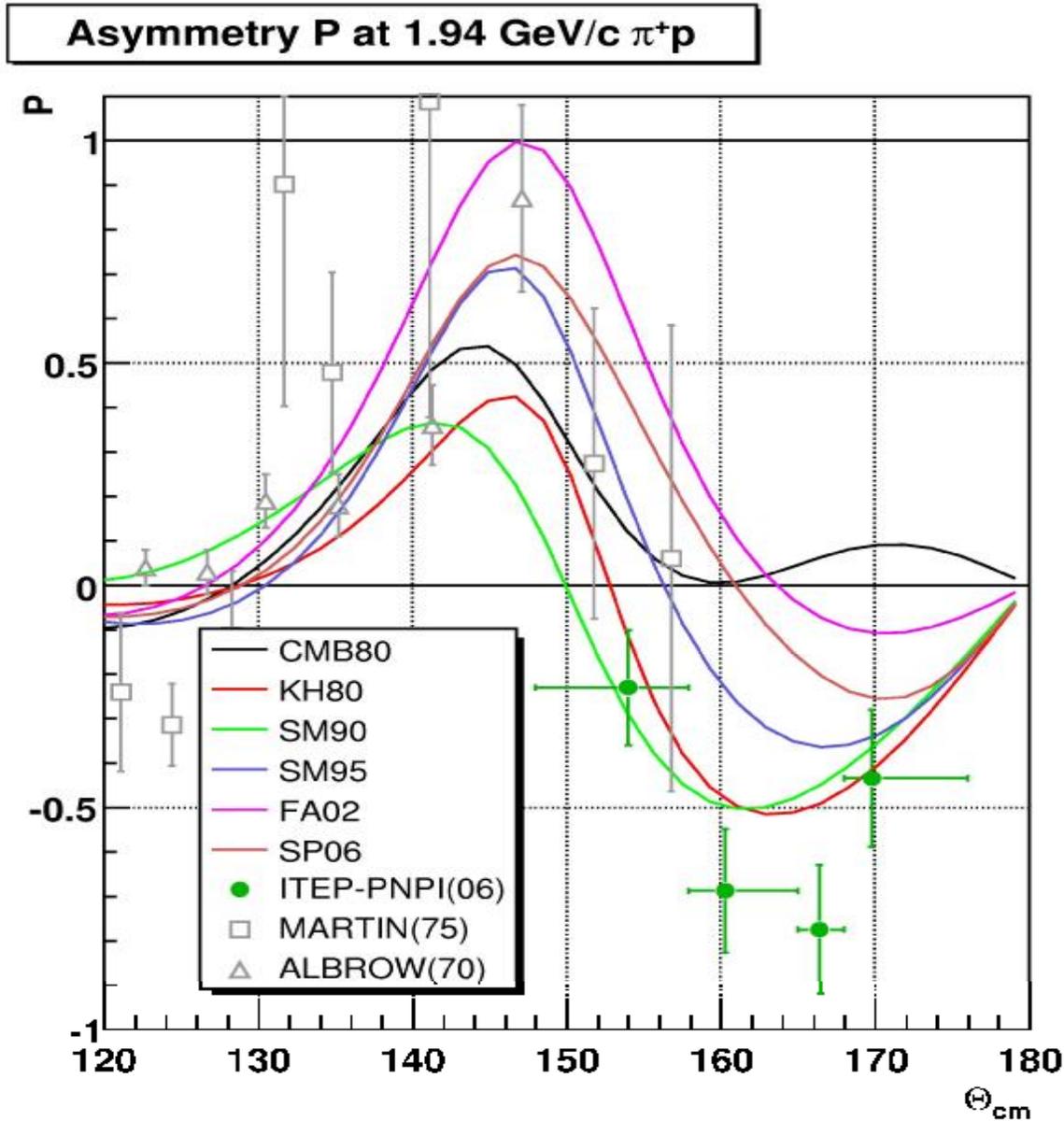
∅ Very low cross section

⌋ Coplanarity and kinematic correlation

Dj , *Dq* – deviations from the elastic kinematics

⌋ Additional background suppression by momentum analysis

2 Using “unpolarized” event counts

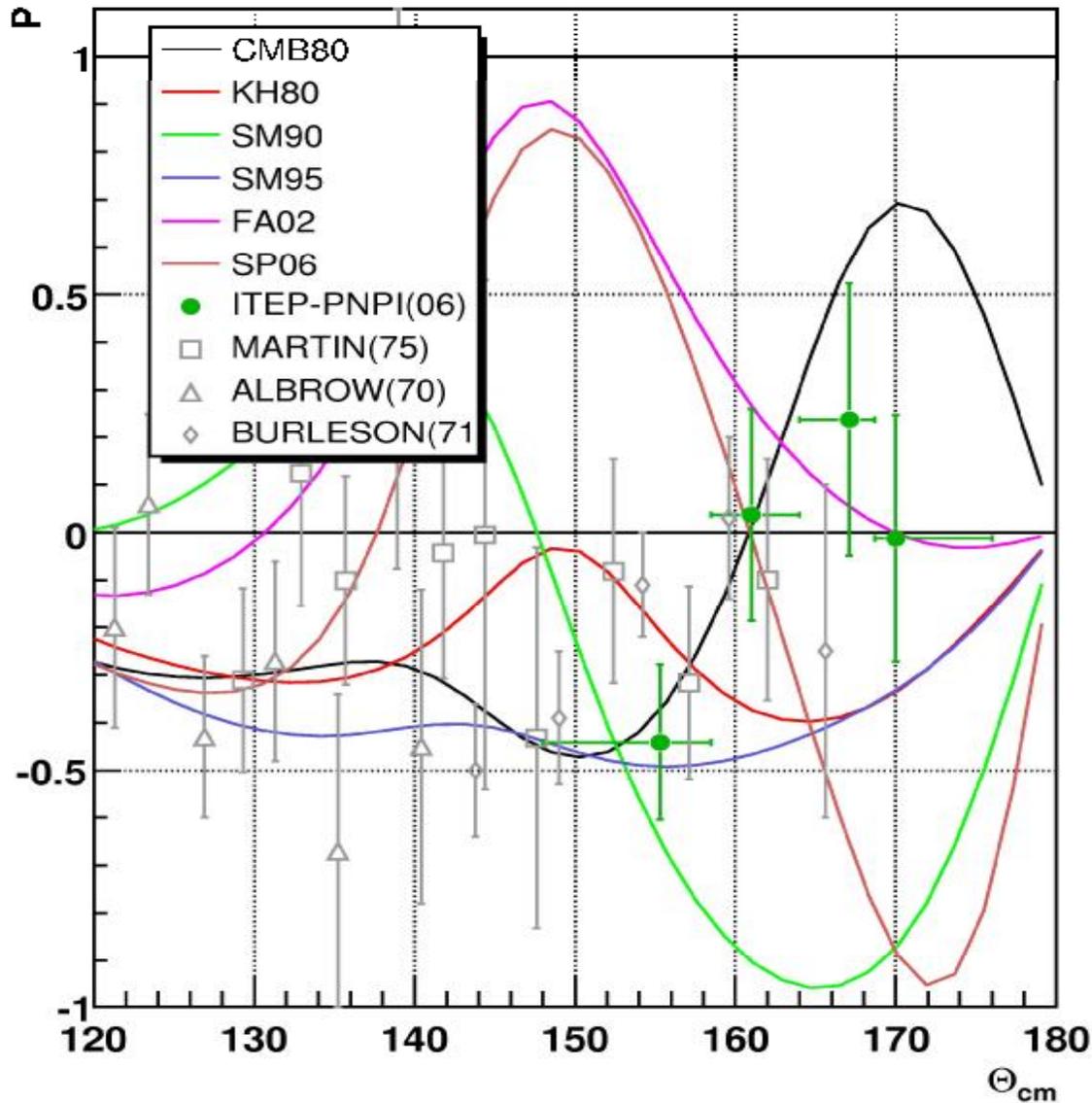


∅ Best
correspondence
to **KH80** and the
oldest
VPI/GWU
analysis

∅ Data suggests
even deeper
minimum at
165°

∅ Significant
deviation from
CMB80 and
latest **VPI/GWU**
solution

Asymmetry P at 2.07 GeV/c π^+p



∅ Best resemblance to CMB80

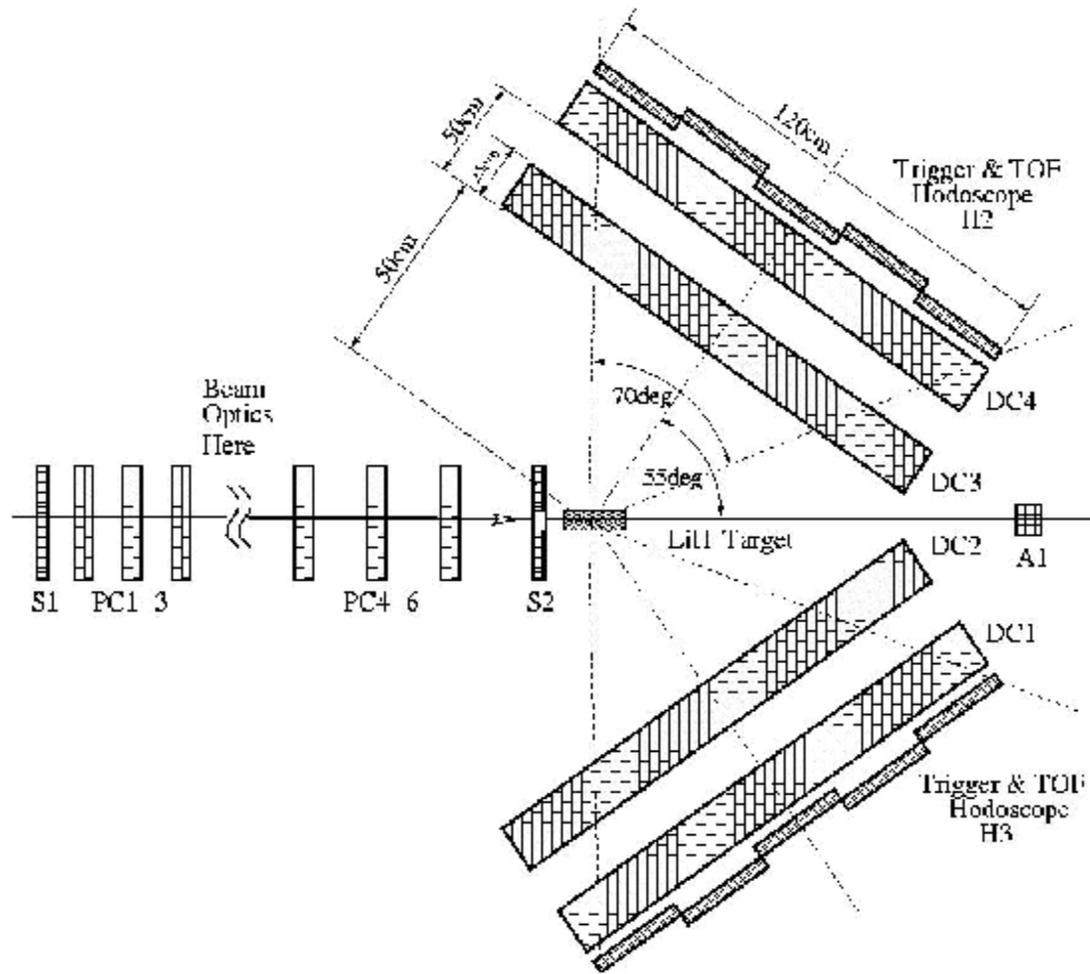
∅ Angular dependence looks contradictory to all other analyses

∅ Obvious contradiction to the latest VPI/GWU solution

∅ No disagreement with existing data

ЛМФ - 2006 год.

в) Реализуется программа подготовки совместного эксперимента ПИЯФ-ИТЭФ «ЭПЕКУР» по поиску узких нуклонных резонансов. На пионном пучке № 322 ускорителя ИТЭФ достигнуто импульсное разрешение $\Delta P/P=0.09\%$ (июль 2006 г.)



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

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

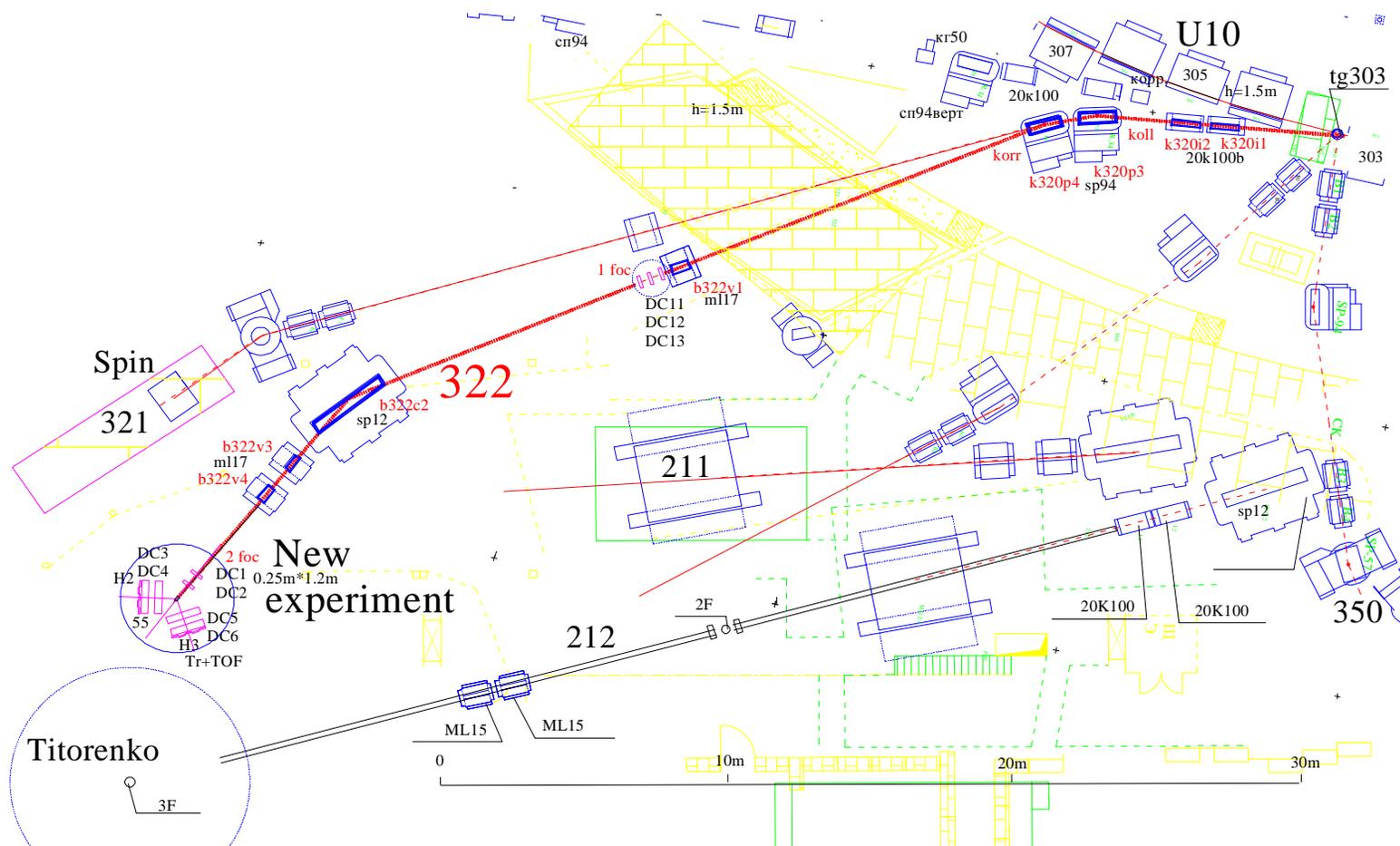
- We want to reach statistic resolution as high as 0.5 %

- 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 - 2006 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 $dP/P = \pm 0.06\%$.



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

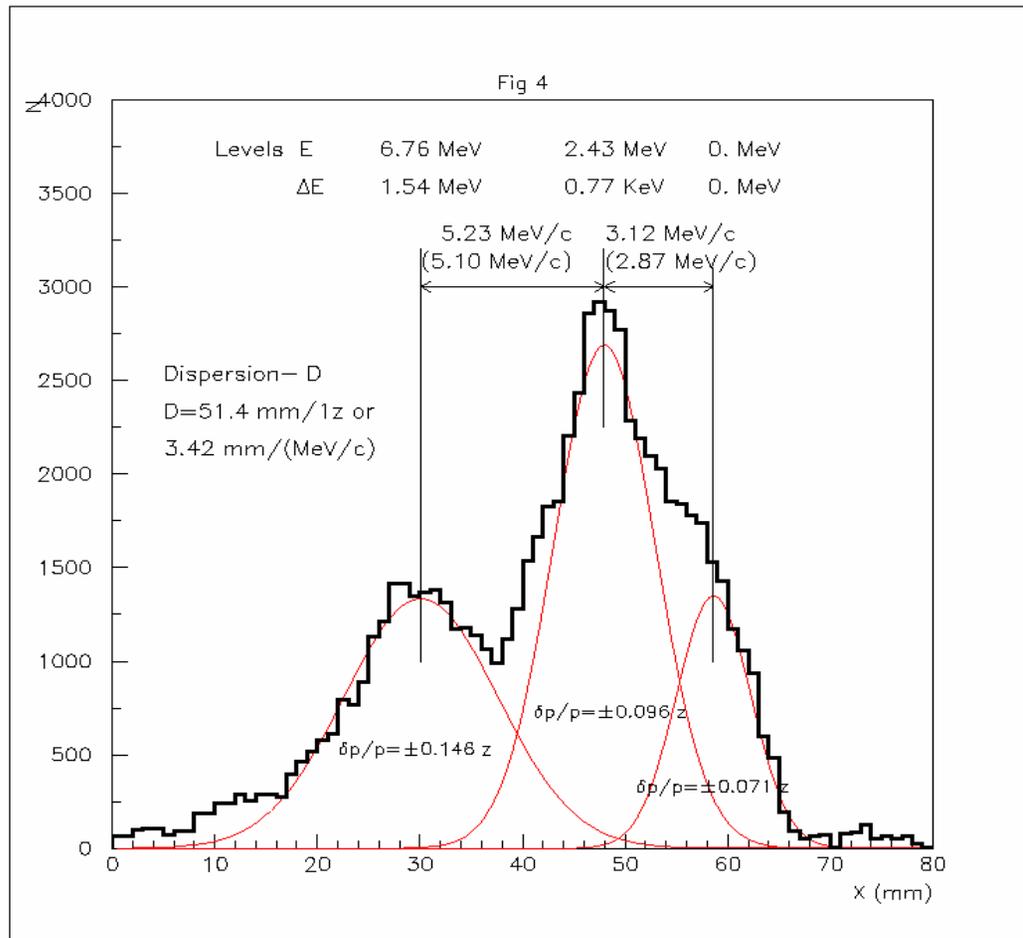
ЛМФ - 2006 год.

Исследование магнитооптического канала № 322.

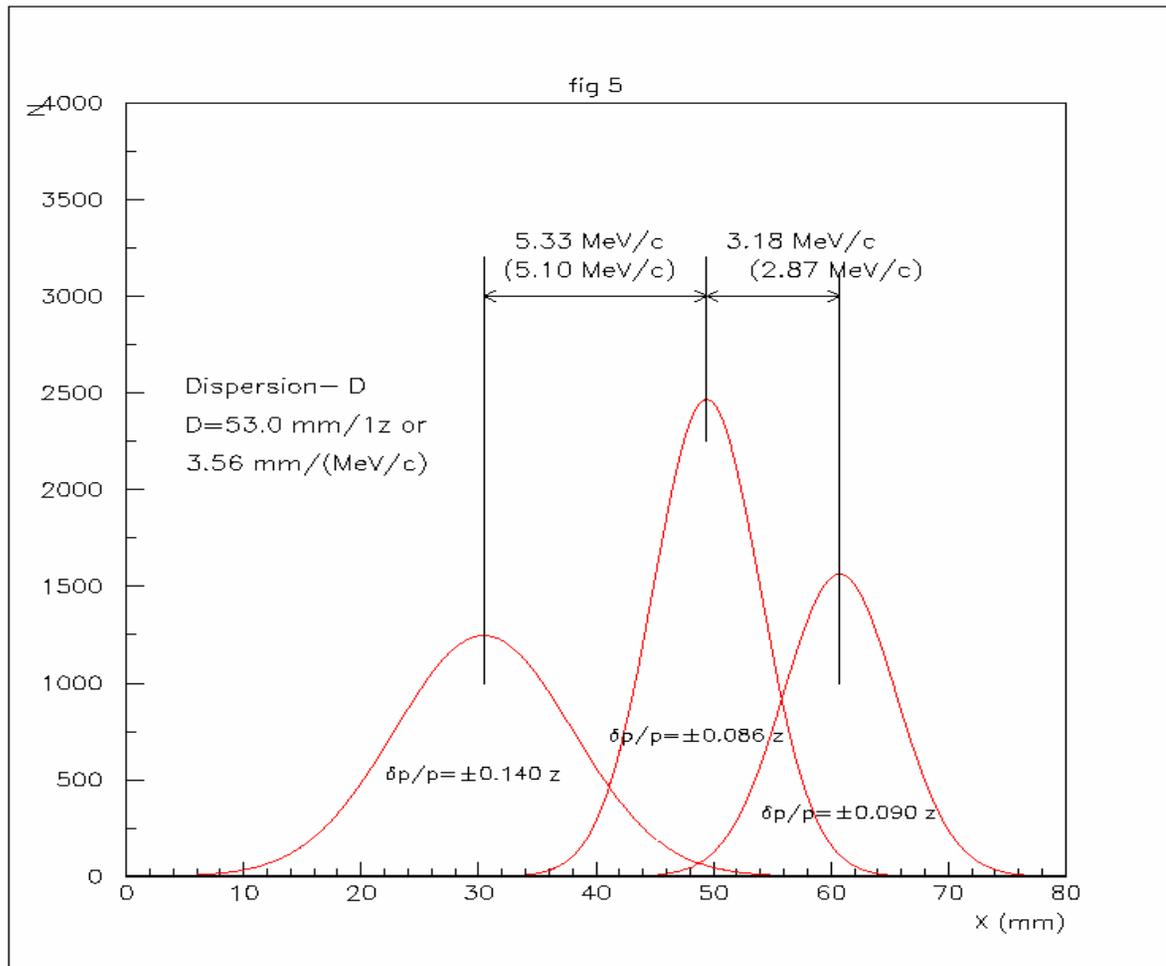
- 1) Проведены 4 однонедельных методических сеанса на ускорителе ИТЭФ.
- 2) В ходе этих сеансов:
 - а) исследованы свойства магнитооптического канала и изучено его фактическое импульсное разрешение, которое составило 0.09%;
 - б) выполнены испытания пропорциональных камер с шагом сигнальных проволочек 1 мм и электроники к ним с использованием двух различных газовых смесей. По результатам испытаний проведена доработка камер и повторные испытания на пучке. В результате, была достигнута эффективность выше 99% и выбрана газовая смесь для питания камер;
 - в) испытаны прототипы дрейфовых камер вместе с электроникой;
 - г) испытан тонкий сцинтилляционный счетчик для установки в первом фокусе канала для проведения временных измерений.
- 3) Изготовлена и проверена электроника считывания информации с пропорциональных камер на 2400 каналов (24 платы по 100 каналов).
Полностью отлажено микропрограммное обеспечение для этих плат.

Показано распределение по горизонтальной координате в пропорциональной камере, расположенной вблизи от первого фокуса магнито-оптического канала. Распределение аппроксимировано суммой трех нормальных распределений и фона – чёрная линия.

ЛМФ - 2006 год.



ЛМФ - 2006 год.



ЛМФ - 2006 год.

Жидководородная мишень для эксперимента «ЭПЕКУР».

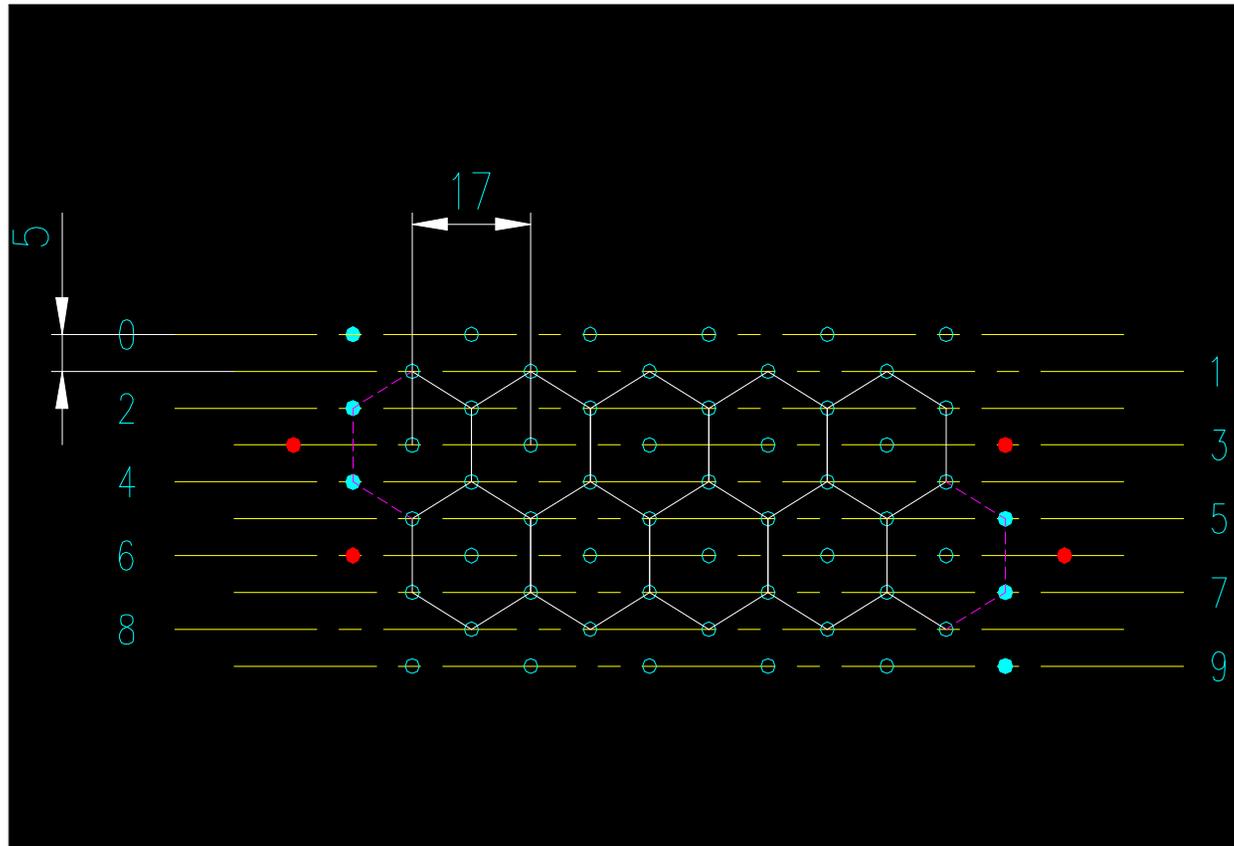
- 1) Аппаратура жидко-водородной мишени смонтирована на рабочем месте на пучке, выполнен поиск и устранение обнаруженных течей. Проведено испытание отдельных узлов системы управления мишенью. Достигнута степень откачки вакуумного кожуха, необходимая для устойчивой работы мишени.
- 2) Освоена технология изготовления майларового контейнера для жидкого водорода в мишени. Проведены его успешные испытания в режиме многократного охлаждения до температуры жидкого азота и нагревания до комнатной температуры. После чего было поднято давление до разрыва контейнера, которое произошло при избыточном давлении 5.15 атм, что более чем в 3 раза превышает максимальное рабочее давление 1.6 атм.

ЛМФ - 2006 год.

Дрейфовые камеры для эксперимента «ЭПЕКУР».

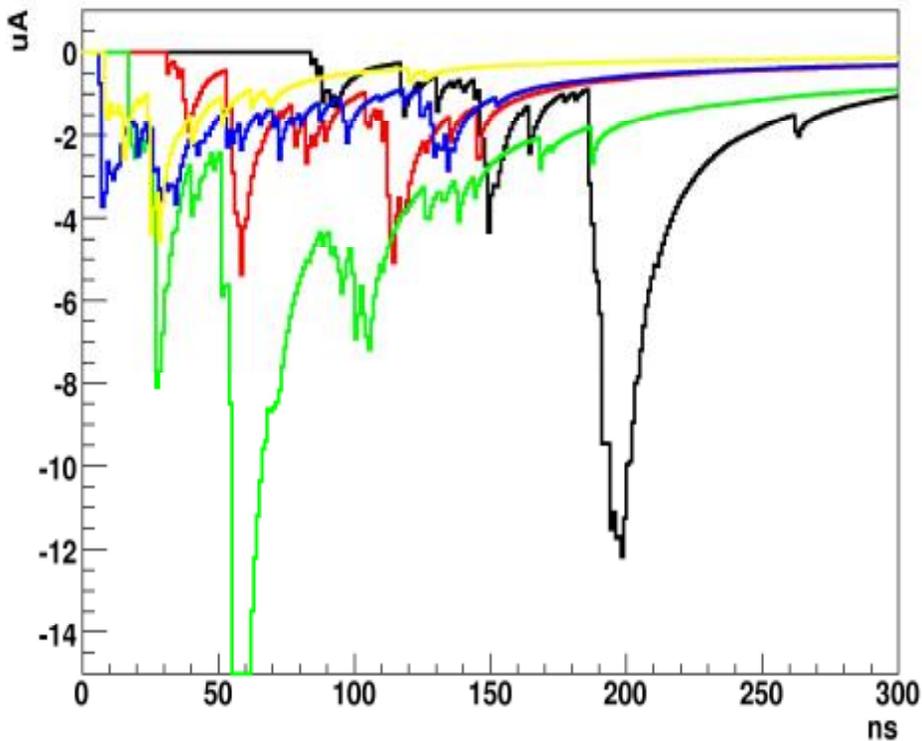
- 1) Выполнено Монте-Карло моделирование сбора и газового усиления заряда от трека минимально ионизирующей частицы в дрейфовой камере с гексагональной структурой. Результаты использованы для моделирования отклика входного усилителя для оптимизации его амплитудно-частотной характеристики.
- 2) Проведены измерения координатной точности на космических лучах с прототипом дрейфовой камеры с гексагональной структурой ячеек, такой же как предполагается использовать в рабочих камерах. Измеренная координатная точность составила примерно 200 мкм в широком диапазоне порогов дискриминатора и напряжений на катодных проволочках.
- 3) Отлажено микропрограммное обеспечение для плат считывания информации с дрейфовых камер.
- 4) Разработаны блоки питания и коммутации информации для плат электроники, расположенных на камерах. Блоки обеспечивают сбор информации по USB 2.0 и передачу ее в головной компьютер по Ethernet. Один блок поддерживает подключение до 16 плат считывания информации с пропорциональных камер или до 24 плат считывания информации с дрейфовых камер. Полностью собрано три блока.
- 5) Подготовлен и издан препринт с описанием разработанной электроники и результатами ее испытаний на реальных камерах.
- 6) Разработаны чертежи X и Y субмодулей ДК с размером рабочей области 1200x800 мм².
Закуплены материалы и начато производство камер.

ЛМФ - 2006 год.

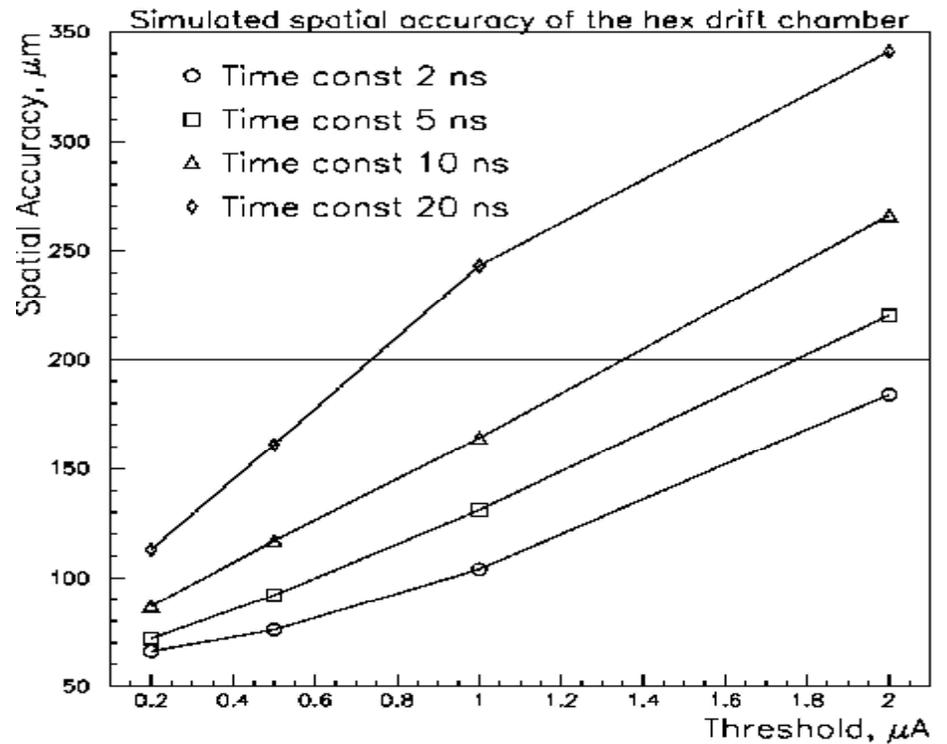


Выполнено моделирование сбора заряда и его газового усиления в ячейке дрейфовой камеры с гексагональной структурой при прохождении через нее минимально-ионизирующей частицы. Анализ результатов моделирования показал, что для получения координатной точности 200 мкм при пороге дискриминатора 1 мка нужно иметь длительность фронта нарастания при подаче на усилитель прямоугольного импульса не хуже 15 нс. Эти расчеты были использованы для оптимизации частотных свойств усилителей.

ЛМФ - 2006 год.



Примеры импульсов тока на анодной проволоке дрейфовой камеры с гексагональной структурой от прохождения минимально-ионизирующей частицы (расчет выполнен в ПИЯФ).



Пространственное разрешение как функция порога дискриминатора для различных скоростей нарастания импульса во входном усилителе.

ЛМФ - 2006 год.

В 2007 году планируется продолжить измерения поляризационного параметра P на ускорителе ИТЭФ в очень интересной области 780 – 810 МэВ/с.

Прежние результаты коллаборации ПИЯФ-ИТЭФ по измерению поляризационных параметров πN -рассеяния фактически стали классическими. Так новый ПВА SP06, опубликованный в октябре 2006 года, использует сравнение с нашими данными по измерению параметра вращения спина A как демонстрацию гарантии правильного выбора решения в области бифуркации траектории нулей пион-нуклонной амплитуды.

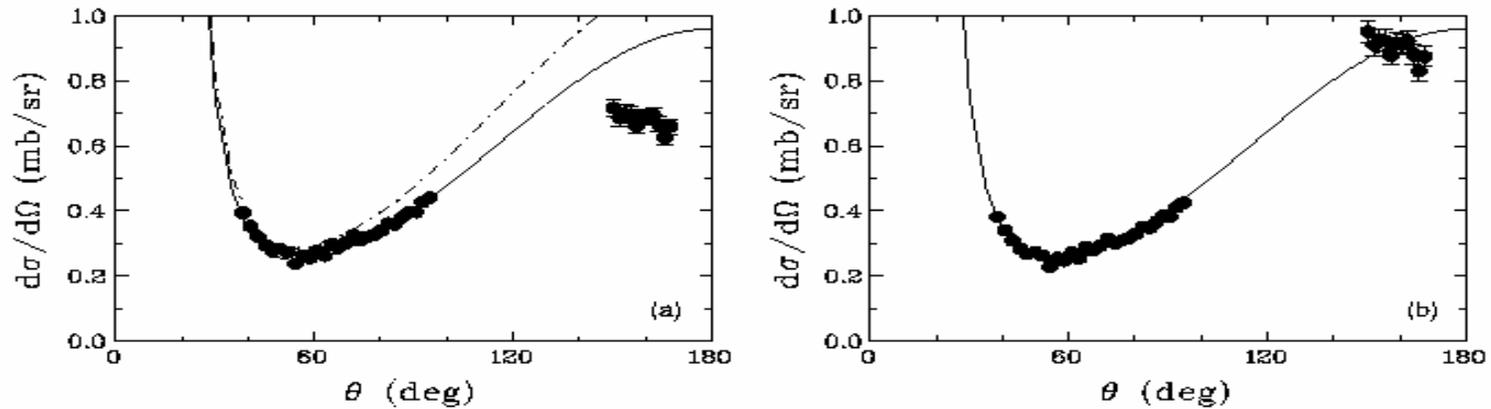


FIG. 1. Differential cross sections for π^+p elastic scattering at 26 MeV: (a) unnormalized and (b) normalized data. The Karlsruhe KA84 prediction [2] is plotted as a dot-dashed line. Data are taken from Ref. [15].

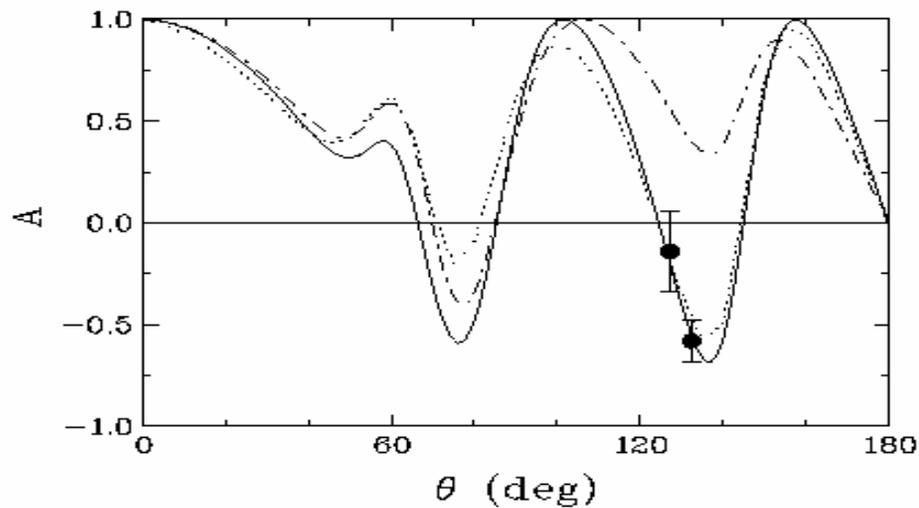
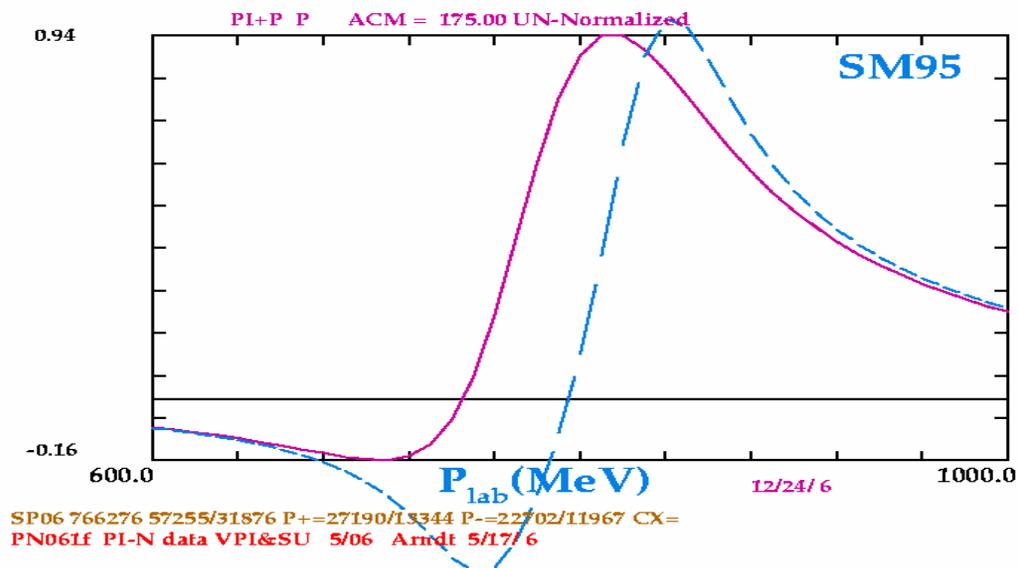
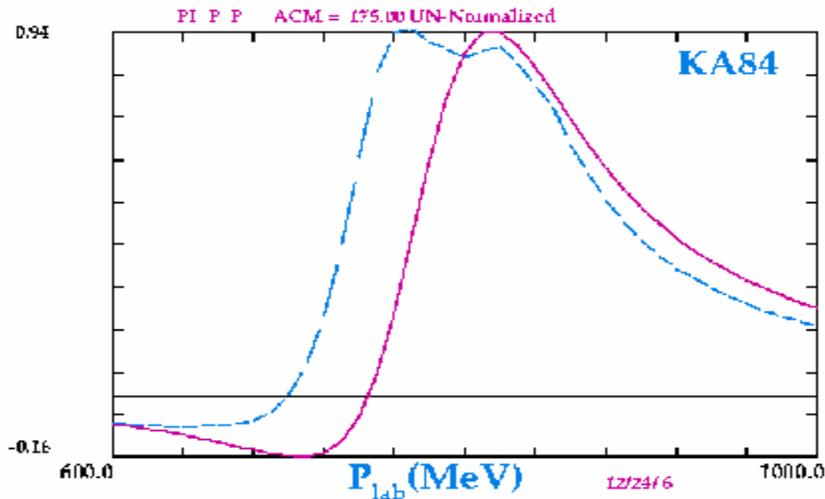


FIG. 2. Spin-rotation parameter A for π^+p . The original KA84 solution [2] (dot-dashed line) is compared to a Barrelet-transformed solution [22] (dotted line) and our SPO6 solution (solid line). Data are taken from Ref. [21].

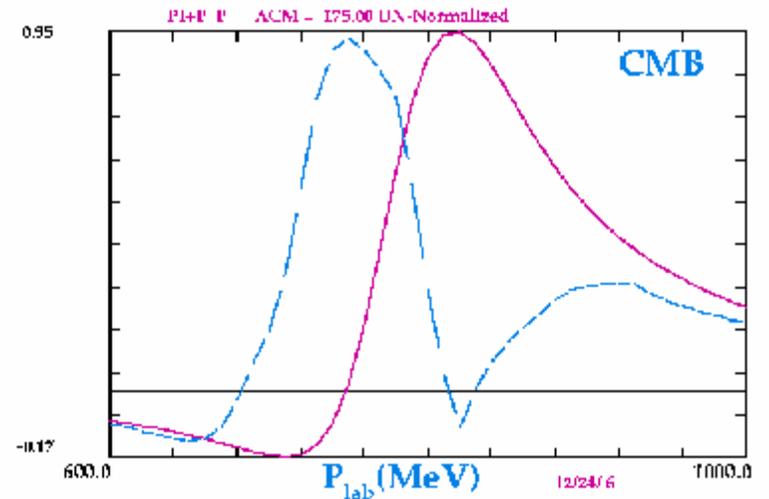
ЛМФ - 2006 год.



ЛМФ - 2006 год.



SP06 766276 57255/31876 P1 = 27190/13344 P = 22702/11967 CX =
PN061F PI-N data VPI&SC: 5/06 Arndt 5/17/6



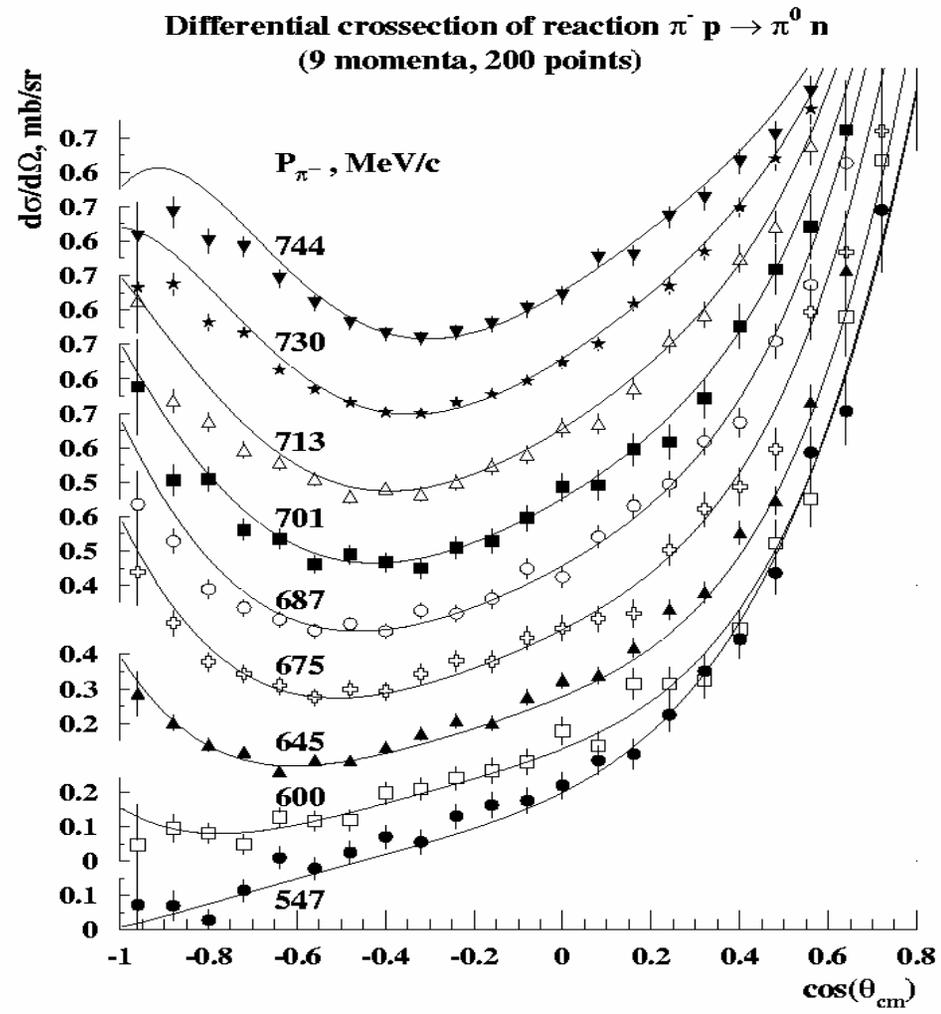
SP06 766276 57255/31876 P1 = 27190/13344 P = 22702/11967 CX =
PN061F PI-N data VPI&SC: 5/06 Arndt 5/17/6

ЛМФ - 2006 год.

г) Продолжена обработка данных, полученных в экспериментах на π -мезонном пучке ускорителя AGS в Брукхэйвенской национальной лаборатории США, когда впервые были проведены систематические измерения сечений реакции перезарядки $\pi^-p - \pi^0n$ в области около порога и выше порога реакции $\pi^-p - \eta n$ (в области S11 резонанса).

Получено 200 новых значений дифференциальных сечений реакции. В области выше порога реакции $\pi^-p - \eta n$ экспериментальные данные, полученные для реакции перезарядки с вылетом π^0 назад, не подтверждают предсказаний фазового анализа FA02.

Систематические ошибки измерений составляют от 2 до 5% в зависимости от импульса.



ЛМФ - 2006 год.

д) На электронном микротроне МАМІ в 2006 году осуществлялась модернизация микротрона, имеющая целью увеличение энергии электронов с 800 до 1500 МэВ.

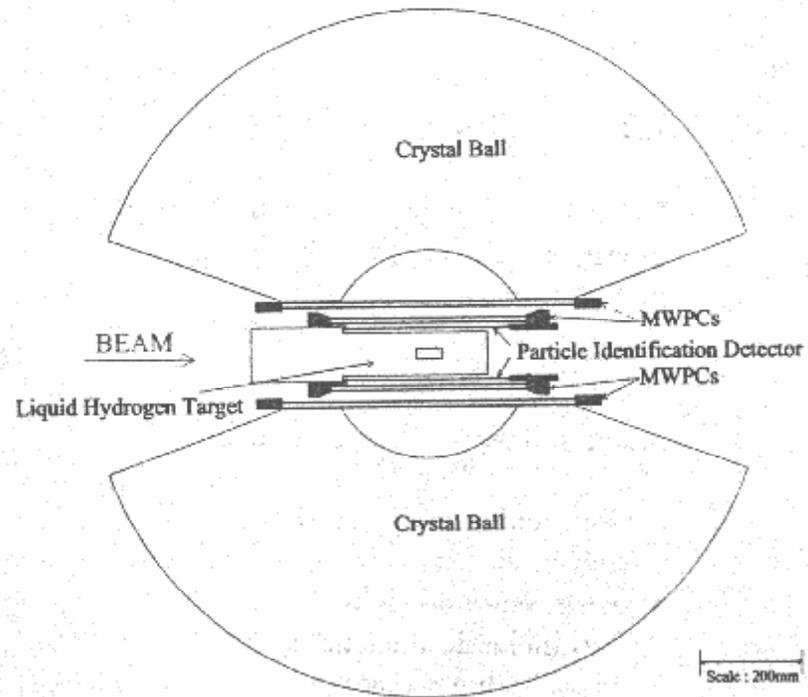
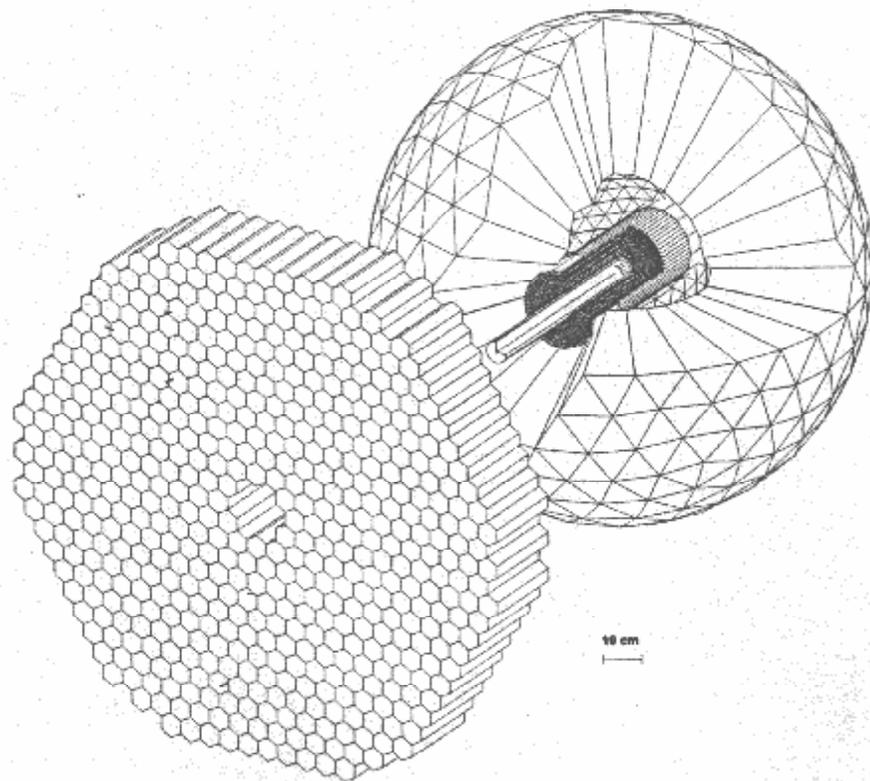
Сотрудники ПИЯФ участвовали в модернизации и наладке системы «мечения» фотонов. В ПИЯФ было изготовлено около 400 сцинтилляционных кристаллов для новых счётчиков этой системы. В конце 2006 года система «мечения» была введена в строй и откалибрована по импульсам с помощью электронов.

В этих работах участвовали В.С.Бекренёв и А.А.Кулбардис.

В 2007 году начнутся эксперименты на новом микротроне МАМІ-С при энергии электронов 1500 МэВ. Физики ПИЯФ продолжают участвовать в экспериментах по изучению редких и запрещённых мод распада h -мезона. Планируется также изучать поведение сечений процесса $g\rho \rightarrow \rho^0\rho$ вблизи порога реакции $g\rho \rightarrow h\rho$.

Обработкой информации занимаются В.С.Бекренёв и А.А.Кулбардис.

ЛМФ - 2006 год.



В левой части рисунка – схематическое изображение экспериментальной установки с детектором Crystal Ball на ускорителе МAMI в Майнце, в правой части детектор Crystal Ball в разрезе.

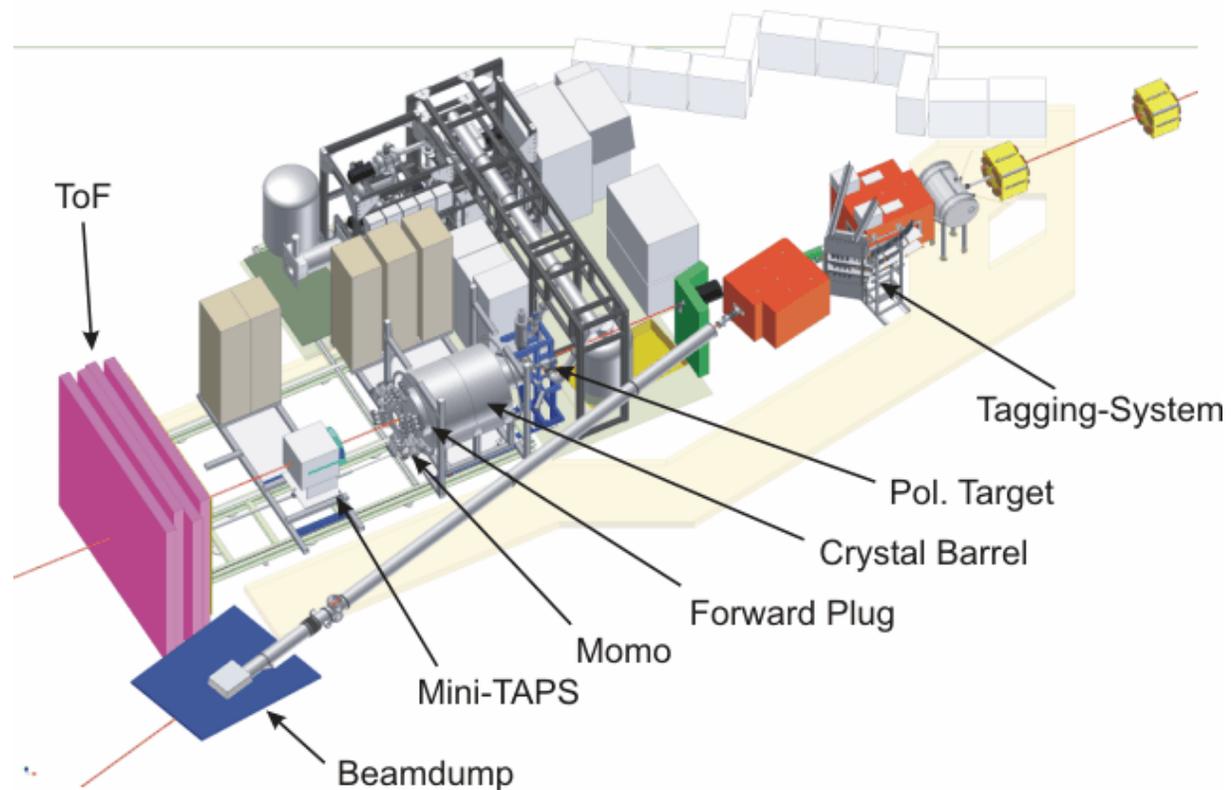
ЛМФ - 2006 год.

е) На электронном ускорителе ELSA с энергией электронов до 3.2 ГэВ (Бонн, Германия) в 2006 году завершена модернизация экспериментальной установки для исследования фоторождения нейтральных мезонов, основой которой является многокристальный спектрометр полного поглощения Crystal Barrel. В ходе этой модернизации спектрометр передвинут на другую пучковую линию, что позволило разместить во внутренней полости спектрометра поляризованную протонную мишень «с замороженным спином»; «поддерживающее» магнитное поле создаётся помещённым в этой же полости сверхпроводящим соленоидом.

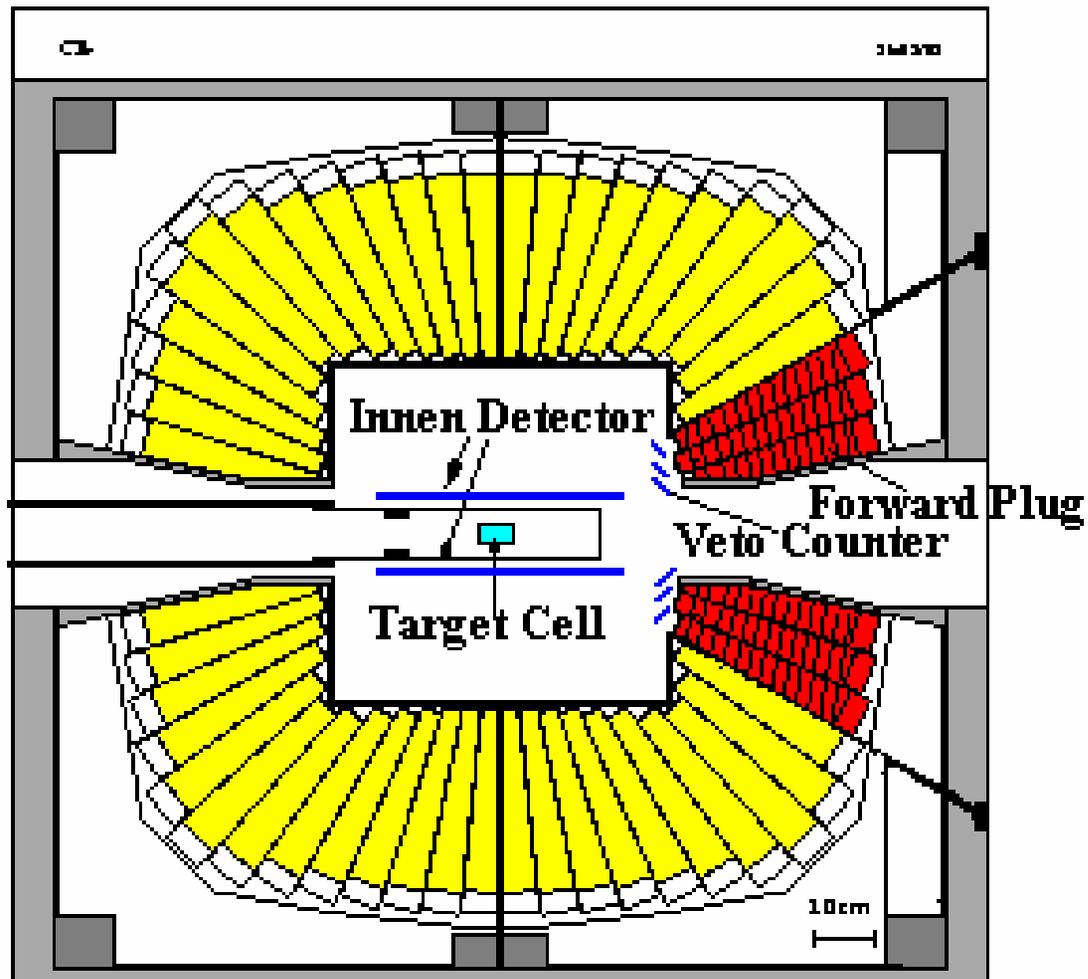
Для увеличения углового акцептанса спектрометра Crystal Barrel и улучшения пространственного разрешения при детектировании фотонов и протонов, вылетающих под малыми углами, изготовлены два форвардных детектора. В передний открытый конус спектрометра помещена дополнительная вставка (Forward Plug) из 90 кристаллов CsI(Tl), а сразу за спектрометром Crystal Barrel поставлен форвардный детектор Mini-TAPS, состоящий из 216 кристаллов BaF₂. Благодаря этим новым элементам установка будет способна регистрировать фотоны и заряженные частицы, вылетающие из мишени под всеми углами $q \geq 0,8^\circ$. Для идентификации того, какая частица – заряженная или нейтральная – попала в кристалл, перед каждым из кристаллов Forward Plug и Mini-TAPS располагаются тонкие сцинтилляторы из пластика. Такие сцинтилляторы для детекторов Forward Plug (6 типоразмеров, общее количество – 180) были изготовлены в ПИЯФ. Сотрудники ПИЯФ принимали в 2006 году активное участие в сборке и отладке детектора Forward Plug и соответствующей электроники для считывания информации.

ЛМФ - 2006 год.

Планируется использовать модернизированную установку Crystal Barrel с поляризованной протонной мишенью в новой серии экспериментов, в которых будут использоваться как линейно поляризованные, так и циркулярно поляризованные «меченые» фотоны. За счёт этого появится уникальная возможность измерять разнообразные поляризационные параметры реакций фоторождения нейтральных мезонов. В настоящее время заканчивается тестирование на фотонном пучке ускорителя ELSA экспериментальной установки в целом и всех её компонент. Предполагается, что эксперименты на модернизированной установке начнутся в январе-феврале 2007 года.



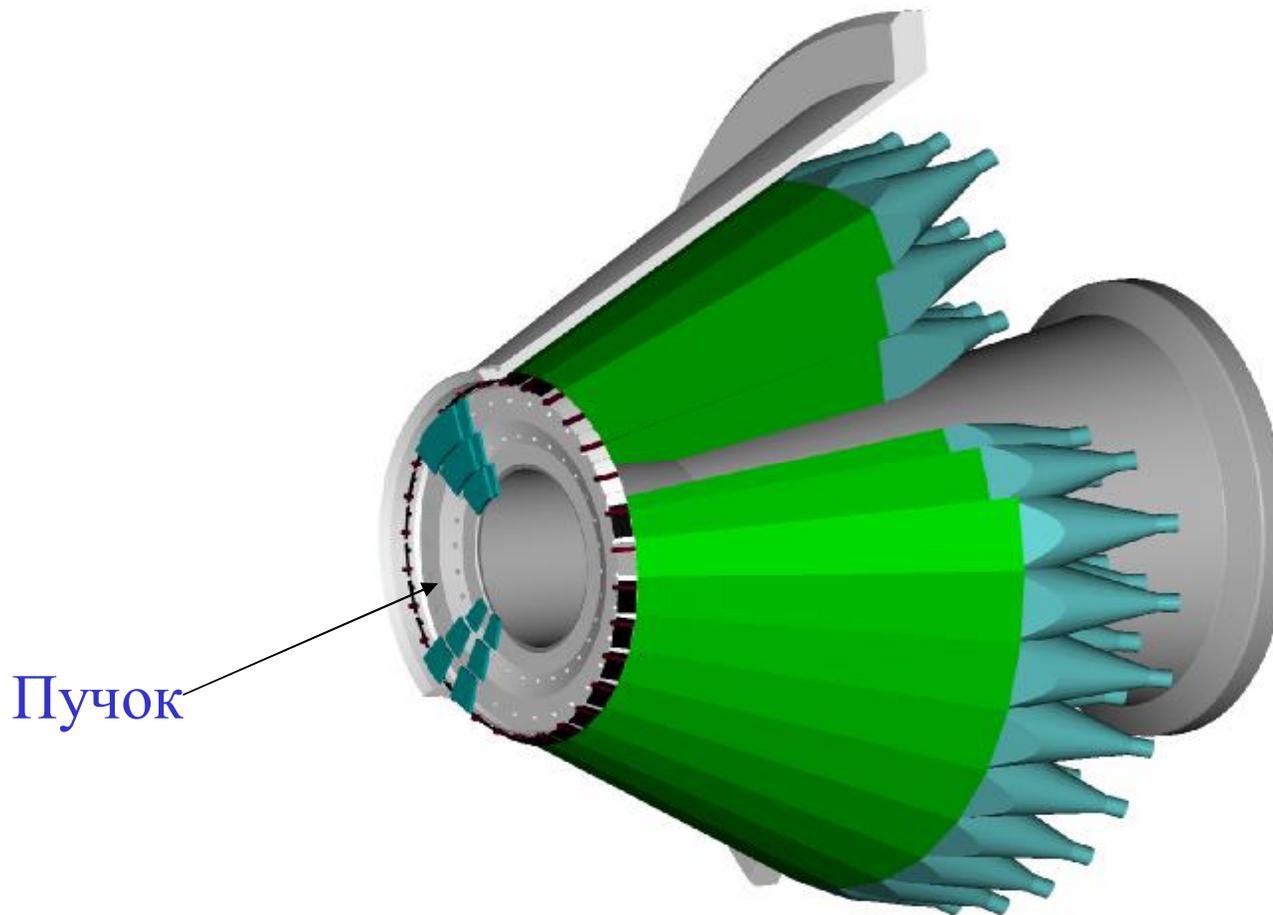
Fast Forward Photon Detector with PM Readout



ЛМФ - 2006 год.

Форвардный детектор, работающий в комбинации с детектором Crystal Barrel.

Ускоритель ELSA, Бонн.



ЛМФ - 2006 год.

ж) Экспериментальные данные по πN – рассеянию в области энергий пионов до 250 МэВ проанализированы в рамках многоканального К-матричного подхода с эффективными лагранжианами. Получено хорошее описание всех экспериментальных данных. Из анализа данных определены новые значения для масс и ширин Δ^0 и Δ^{++} – резонансов.

Продолжались работы по подготовке нового парциально-волнового анализа (совместно с учеными Института физики г.Хельсинки (Финляндия)).

ЛМФ - 2006 год

Публикации:

1) Measurement of the spin rotation parameter A in the elastic pion-proton scattering at 1.43 GeV/c

I.G.Alekseev, N.A.Bazhanov, P.E.Budkovsky, E.I.Bunyatova, V.P.Kanavets, L.I.Koroleva, A.I.Kovalev, S.P.Kruglov, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, D.V.Novinsky, V.V.Ryltsov, V.A.Shchedrov, V.A.Sakharov, V.V.Sumachev, D.N.Svirida, V.Yu.Trautman, V.V.Zhurkin.

Eur. Phys. J. C, vol. 45, 383 (2006).

2) The K -matrix approach to the Δ -resonance mass splitting and isospin-violation in low-energy pN scattering.

A.B.Gridnev, I.Horn, W.J.Briscoe, I.I.Strakovsky.

«Ядерная физика», том 69, 1576 (2006) [Phys. At. Nucl., vol. 69, 1542 (2006)].

3) Cost effective electronics for proportional and drift chambers of “EPECUR” experiment.

I.G.Alekseev, V.A.Andreev, P.E. Budkovsky, E.A.Filimonov, V.V.Golubev, V.P.Kanavets, M.M.Katz, L.I. Koroleva, A.I. Kovalev, N.G.Kozlenko, V.S.Kozlov, A.G.Krivshich, V.V.Kulikov, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, D.V.Novinsky, V.V.Ryltsov, M.E.Sadler, V.S.Sakharov, D.Soboyede, A.D.Sulimov, V.V.Sumachev, D.N.Svirida, V.Yu.Trautman, E.Walker, S.Watson.

Preprint ITEP 21-06 (Moscow, 2006)

ЛМФ - 2006 год

- 4) Λ -polarization in the reaction $p\bar{p} @ K^0\Lambda$ - “EPECUR” experiment proposal.
I.G.Alekseev, P.E. Budkovsky, E.A.Filimonov, V.V.Golubev, V.P.Kanavets, M.M.Katz, L.I. Koroleva, A.I. Kovalev, N.G.Kozlenko, V.S.Kozlov, A.G.Krivshich, V.V.Kulikov, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, D.V.Novinsky, V.V.Ryltsov, V.A.Sakharov, V.V.Sumachev, D.N.Svirida, A.D.Sulimov, V.Yu.Trautman.
Proceedings of the 11th Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics, edited by A.V.Efremov and S.V.Goloskokov (Dubna, 27 September – 1 October 2005), Dubna, 2006, p. 437.
- 5) The development of the design and concept of the target polarization measurement.
A.V.Aldushchenkov, A.G.Dernyatin, A.Kovalev, D.V.Novinsky, I.S.Okunev, V.V.Sumachev, V.Yu.Trautman, I.G.Alekseev, P.E.Budkovsky, V.P.Kanavets, L.I. Koroleva, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, D.V.Novinsky, V.V.Ryltsov, D.N.Svirida, N.A.Bazhanov, E.I.Bunyatova.
Proceedings of the 11th Advanced Research Workshop on High Energy Spin Physics, edited by A.V.Efremov and S.V.Goloskokov (Dubna, 27 September – 1 October 2005), Dubna, 2006, p. 514.
- 6) Asymmetry measurements in the elastic pion-proton scattering at 1.94 and 2.07 GeV/c.
I.G.Alekseev, N.A.Bazhanov, Yu.A.Beloglazov, P.E.Budkovsky, E.I.Bunyatova, E.A.Filimonov, V.P.Kanavets, L.I.Koroleva, A.I.Kovalev, S.P.Kruglov, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, D.V. Novinsky, V.V.Ryltsov, V.A.Shchedrov, V.V.Sumachev, D.N.Svirida, A.D.Sulimov, V.Yu.Trautman, V.V.Zhurkin, L.S.Zolin.
Proceedings of the 17th International Spin Physics Symposium (Kyoto, Japan, 2 - 7 October 2006), in press.

ЛМФ - 2006 год.

7) Λ -polarization measurement in $p^- p \rightarrow K^0 \Lambda$ in the framework of "EPECUR" experiment proposal.

I.G.Alekseev, P.E.Budkovsky, E.A.Filimonov, V.V.Golubev, V.P.Kanavets, M.M.Katz, L.I.Koroleva, A.I.Kovalev, N.G.Kozlenko, V.S.Kozlov, A.G.Krivshich, V.V.Kulikov, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, D.V.Novinsky, V.V.Ryltsov, M.E.Sadler, V.A.Sakharov, D.Soboyede, V.V.Sumachev, D.N.Svirida, A.D.Sulimov, V.Yu.Trautman, E.Walker, S.Watson.
Proceedings of the 17th Int. Spin Physics Symposium (Kyoto, Japan, 2 - 7 October 2006), in press.

8) The experimental investigation of the missing N^* - and Δ -resonances problem: current status and perspectives.

V.V.Sumachev, V.S.Bekrenev, Yu.A.Beloglazov, E.A.Filimonov, A.I.Kovalev, N.G.Kozlenko, S.P.Kruglov, A.A.Kulbardis, I.V.Lopatin, D.V.Novinsky, V.A.Shchedrov, V.Yu.Trautman, I.G.Alekseev, P.E. Budkovsky, V.P.Kanavets, L.I.Koroleva, B.V.Morozov, V.N.Nesterov, V.V.Ryltsov, A.D.Sulimov, D.N.Svirida.
The talk at the 33th Int. Conference on High Energy Physics ICHEP'06 (Moscow, Russia, 26 July - 2 August 2006), to be published in the ICHEP'06 Proceedings.

ЛМФ - 2006 год.

9) Измерение дифференциальных сечений реакции $\pi^- p - \pi^0 n$ на полиэтиленовой мишени с помощью детектора “CRYSTAL BALL” в диапазоне импульсов налетающих π^- - мезонов от 547 МэВ/с до 570 МэВ/с.

Н.Г.Козленко, М.Садлер, В.В.Абаев, В.С.Бекренев, С.П.Круглов, А.А.Кулбардис, И.В.Лопатин, А.Б.Старостин, А.Баркер и др.

Препринт ПИЯФ –2006, № 2684, 56с.