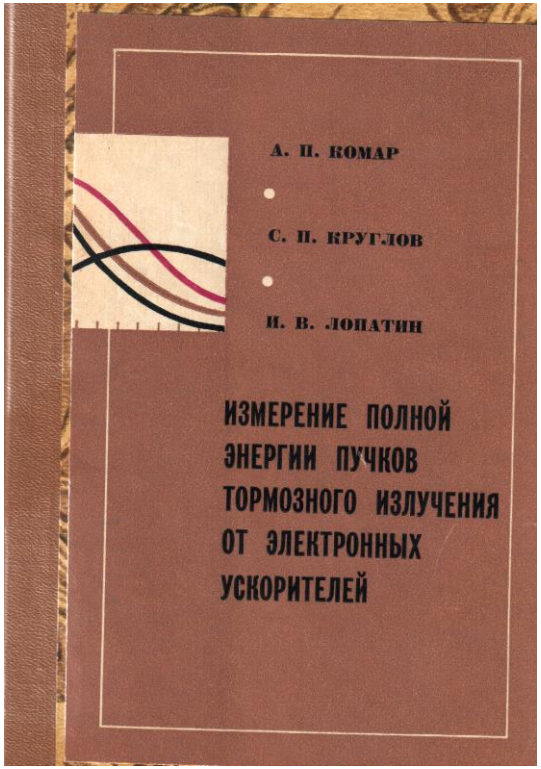
Сергей Павлович Круглов закончил Ленинградский политехнический института им. М.И. Калинина в 1953 году и в этом же году был зачислен в Физико-технический институт Академии Наук СССР – в Лабораторию рентгеновских и гамма-лучей, во главе которой стоял Академик УССР Антон Пантелеймонович Комар. На начальном эта

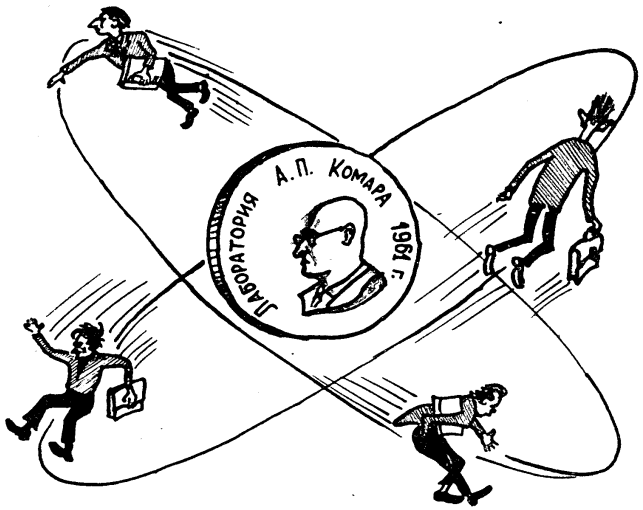
научной деятельности Круглова основным её направлением было изучение взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. В результате цикла этих исследований была разработана серия приборов для измерения полной энергии пучков тормозного излучения от электронных ускорителей; без применения таких измерительных приборов практически невозможно точное определение сечений фотоядерных реакций. Итогом многолетней деятельности в этом

направлении стало создание приборов нового типа – кванто метров с постоянной чувствительностью в широком диапазоне энергий излучения электронных ускорителей 5 МэВ до 5 ГэВ. Это подтверждено экспериментами на ускорителях в Ленинграде, Москве, Харькове и Ереване. И сейчпс ещё квантометры широко исполь-зуются не только в отечественных, но и в зарубежных научных центрах для точного определения полной энергии в пучках тормозного излучения от электронных ускорителей.

–

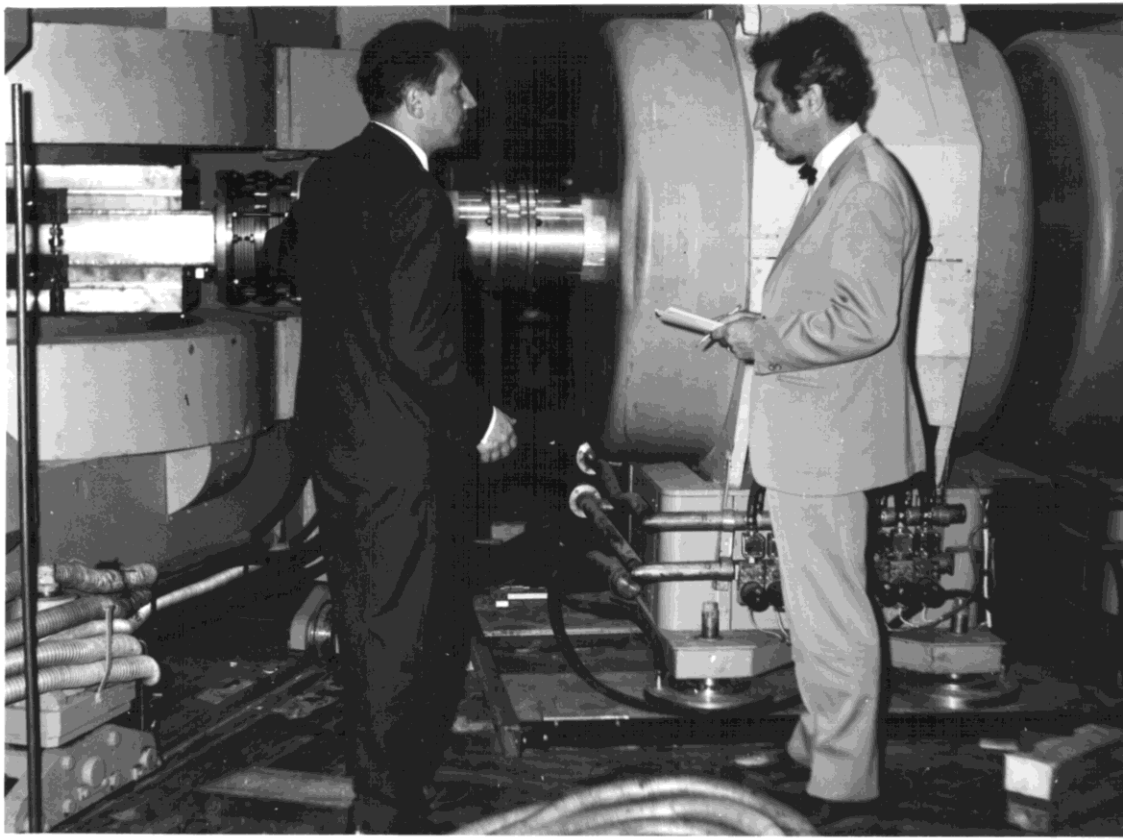


Материалы научных исследований, полученные Сергеем Павловичем Кругловым за время «квантометрической» эпохи, послужили основой кандидатской диссертации, успешно защищённой им 13 апреля 1961 г. Следует обратить внимание, что в тот же самый год А.П. Комар «запустил на диссертационные орбиты» ещё троих «кандинавтов»: Алексея Алексеевича Воробьёва, Евгения Борисовича Бажанова и Владимира Петровича Чижова. Все старты прошли вполне успешно, чему свидетельством был «товарищеский ужин», имевший место 26 апреля 1961 года.



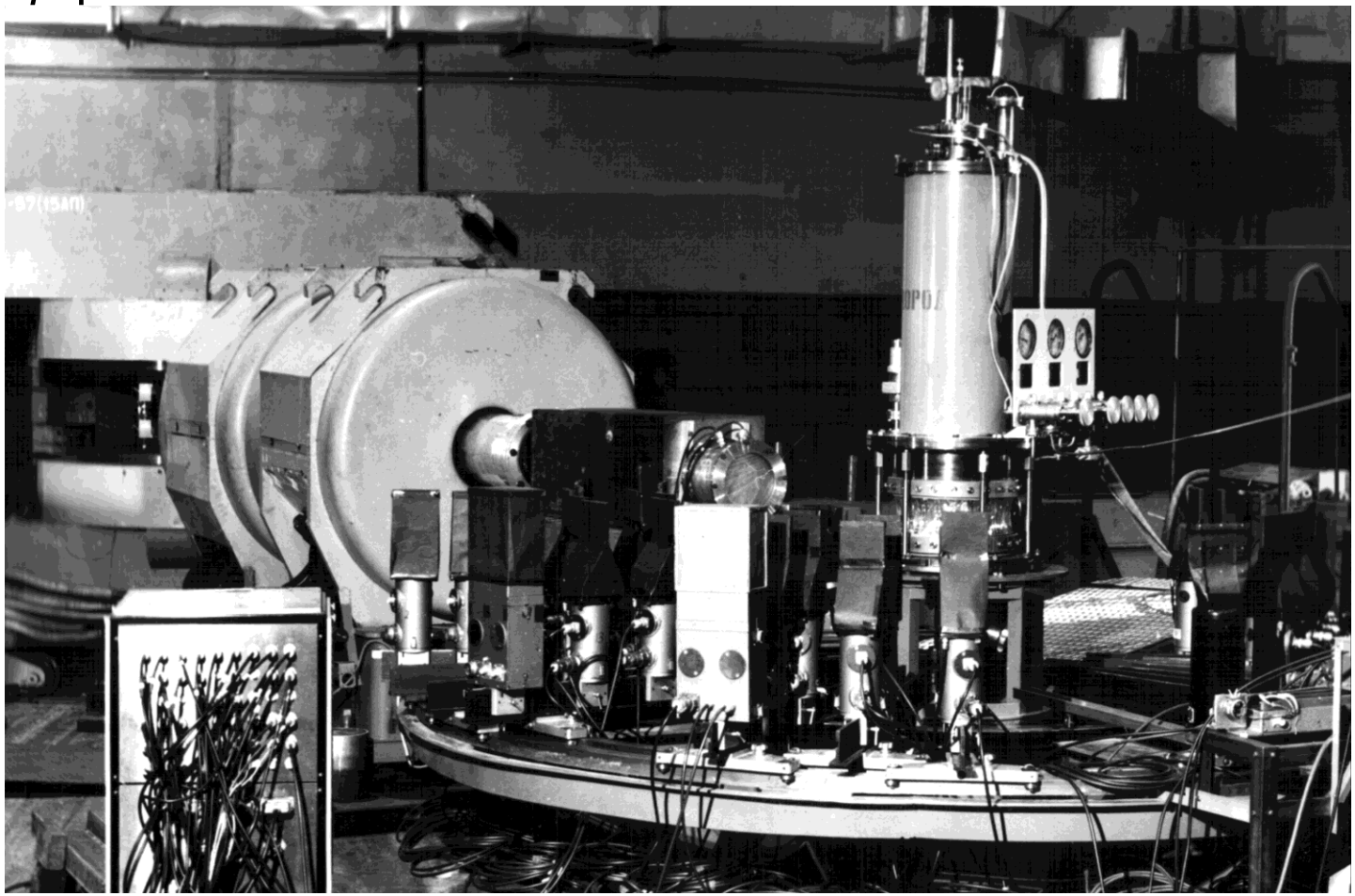
Глубокоуважаемый товарищ

Мы будем счастливы Вас видеть 26 апреля в 17³⁰ часов в Мраморном Зале Дворца приемов ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР.
(Яшумов переулок, дом 22, бельэтаж).
А.А. Воробьев, Е.Б. Бажанов, С.П. Круглов, В.П. Чижов.

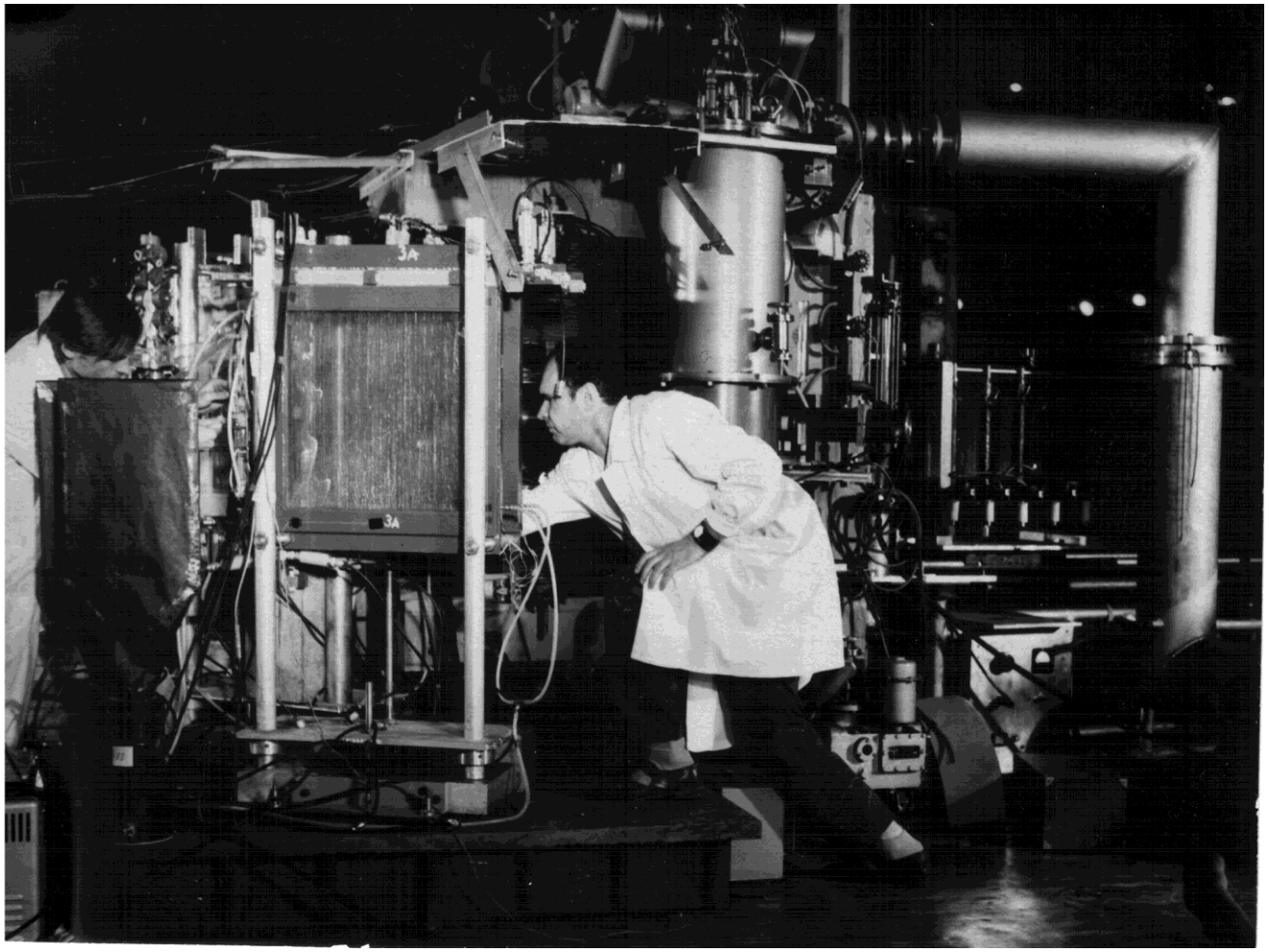


Новый этап научной плодотворной работы С.П. Круглова начался в 1964 году, когда возглавляяемый им коллектив сектора «Мезоны и мезоатомы» включился в подготовку научной программы «Барионная спектроскопия на пучках пионов промежуточных энергий». Сотрудники сектора активно приняли участие в настройке пи-мезонного канала ПИЯФ, а также в проектировании и создании физической аппаратуры для планируемых экспериментов. И именно на пи-мезонном канале в ночь с **21** по **22 апреля 1970 года** произошло долгожданное событие – через систему мониторных сцинтилляционных счётчиков прошли первые «гатчинскмие» мезоны. На приведённом выше рисунке С.П. Круглов объясняет зарубежному гостю основные параметры пучка.

А спустя два года после продолжительной подготовки на пи-мезонном канале начался цикл экспериментов по изучению упругого π^+p- и π^-p-рассеяния.

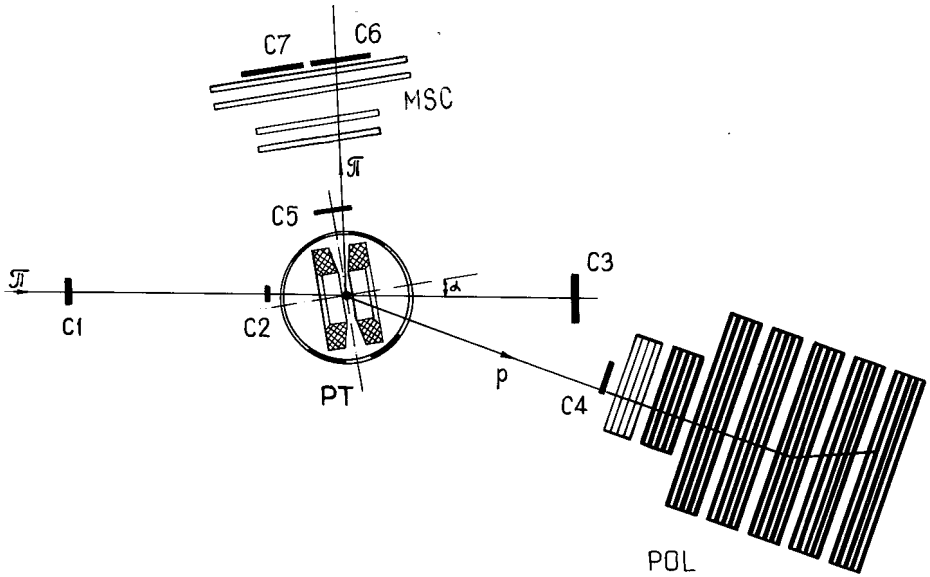


1) Измерение сечений упругого π^+p- и π^-p-рассеяния на жидко-водородной мишени с помощью многоканального годоскопа сцинтилляционных счётчиков. Выходные линзы пи-мезонного канала видны в левой части рисунка.

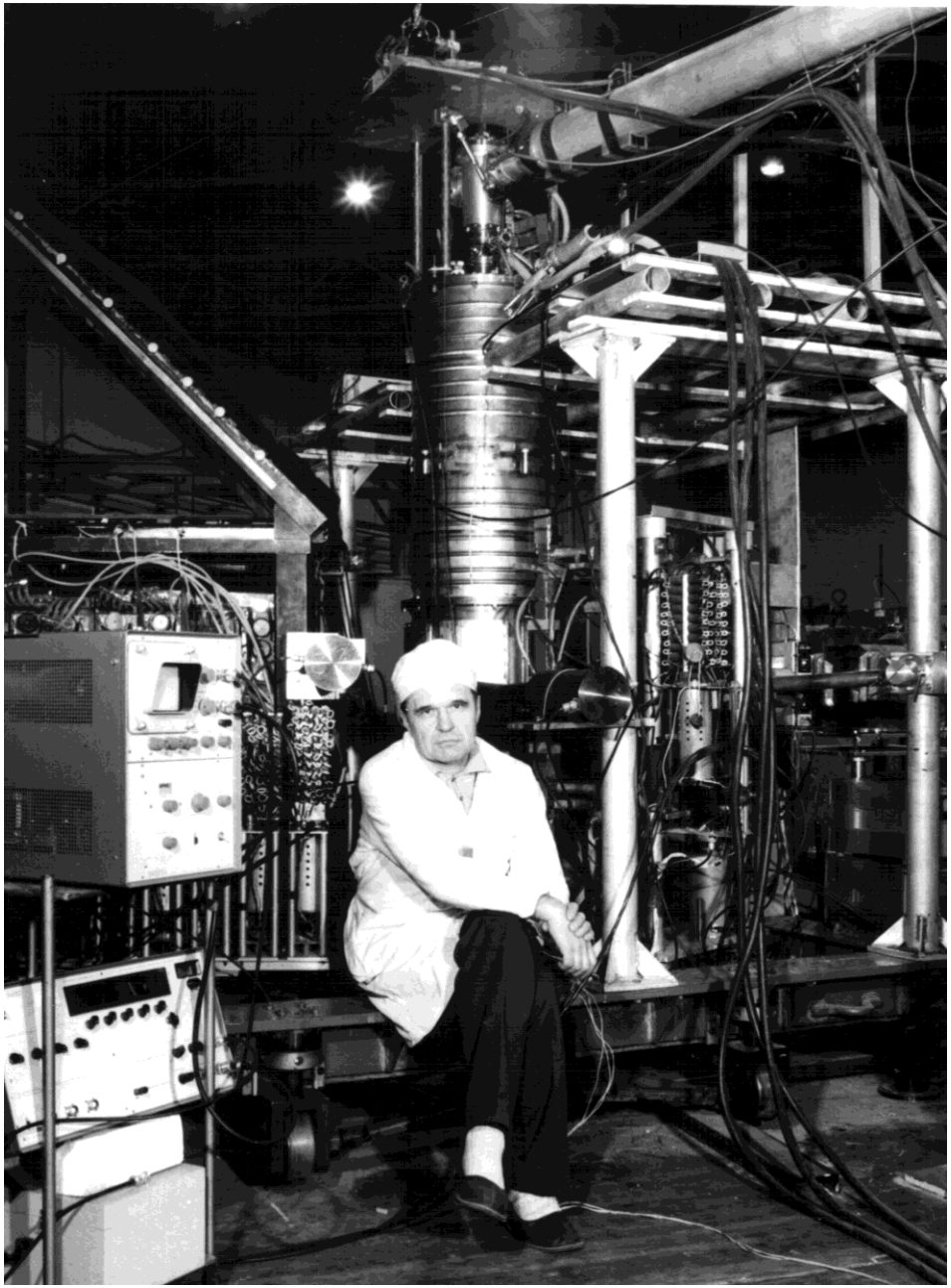


2) Измерение асимметрии πp-рассеяния на поляризованной протонной мишени из лантан-магниевого нитрата. Для определения траекторий в магнитном поле мишени рассеянного пиона и протона отдачи использовалось пять пакетов многопроволочных искровых камер с магнитострикционным съёмом информации – по четыре камеры в каждом пакете.

3) И, наконец, измерение параметров поворота спина *A* и *R*. Этот эксперимент является ключевым во всей экспериментальной программе исследования πp-рассеяния, т.к. только измерение этих параметров позволит устранить дискретные неоднозначности парциально-волнового анализа, которые, в свою очередь, приводят к неопределённостям при извлечении характеристик πN-резонансов.



Для измерения параметров поворота спина *A* и *R* в ПИЯФ была разработана поляризованная протонная мишень специального типа – с вектором поляризации, лежащим в горизонтальной плоскости, и разработан протонный поляриметр для измерения асимметрии вторичного рассеяния протонов отдачи на ядрах вещества-анализатора с известной анализирующей способностью. Поляриметр собран из пакетов оптических искровых камер с графитовыми электродами и специальным телевизионным съёмом информации.



Общий вид экспериментальной установки для измерения параметров поворота спина, располагавшейся во втором фокусе пи-мезонного канала, показан на рисунке слева. В центре видны цилиндрический вертикальный рефрижератор поляризованной протонной мишени и система откачки гелия. В левой части рисунка можно видеть протонный пробежный поляриметр из оптических искровых камер с графитовыми электродами; видна также часть зеркальной системы, с помощью которой искровые пробои в камерах проецировались на фотокатод телевизионной трубки.

В итоге цикла экспериментов по изучению упругого пион-нуклонного рассеяния, выполненного на пи-мезонном канале синхроциклотроне ПИЯФ, получено около 500 новых точных значений экспериментальных величин – сечений, значений асимметрии, параметров поворота спина – в области энергий налетающих пионов от 300 до 640 МэВ. Новые прецизионные результаты внесли существенный вклад в мировой банк данных в области низколежащих πN-резонансов, эти результаты были опубликованы в реферируемых журналах.

Nuclear Physics **A364** (1981) 408–428
© North-Holland Publishing Company

MEASUREMENT OF DIFFERENTIAL CROSS SECTIONS OF π^+p AND π^-p ELASTIC SCATTERING IN THE REGION OF LOW-LYING PION NUCLEON RESONANCES

V.A. GORDEEV, V.P. KOPTEV, S.P. KRUGLOV, L.A. KUZ'MIN, A.A. KULBARDIS, YU.A. MALOV, S.M. MIKIRTICH'YANTS, I.I. STRAKOVSKY and G.V. SCHERBAKOV

Nuclear Physics **A364** (1981) 515–526
© North-Holland Publishing Company

MEASUREMENT OF THE POLARIZATION PARAMETER *P* IN π^-p ELASTIC SCATTERING IN THE ENERGY RANGE 450–600 MeV

V.S. BEKRENEV, N.F. BONDAR, E.P. FEDOROVA-KOVAL, E.A. FILIMONOV, V.G. GADITSKY, A.I. KOVALEV, S.P. KRUGLOV, A.A. KULBARDIS, L.A. KUZ'MIN, I.V. LOPATIN, V.E. POPOV, A.N. PROKOFIEV, V.V. SUMACHEV and V.Yu. TRAUTMAN

Z. Phys. A – Atoms and Nuclei 311, 217–223 (1983)

Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei
© Springer-Verlag 1983

Measurement of the Polarization Parameter P in $\pi^+ p$ Elastic Scattering in the Region of Low-Lying Pion-Nucleon Resonances

V.V. Abaev, V.S. Bekrenev, Yu.A. Beloglazov, V.G. Gaditsky, A.I. Kovalev, S.P. Kruglov, A.A. Kulbardis, I.V. Lopatin, A.N. Prokofiev, V.V. Sumachev, V.Yu. Trautman, E.P. Fedorova-Koval, E.A. Filimonov, and A.V. Shvedchikov

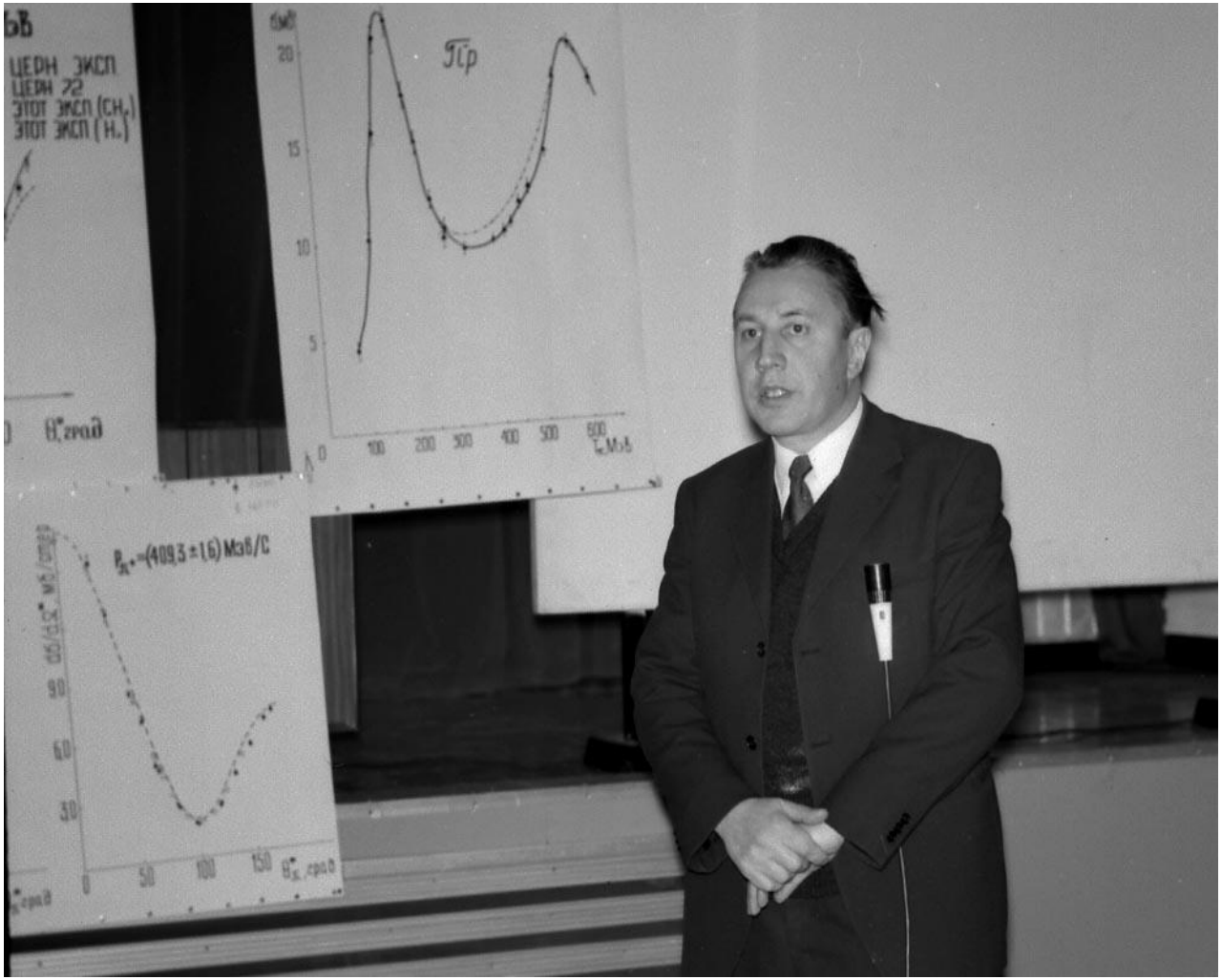
Nuclear Physics A567 (1994) 882–892
North-Holland

NUCLEAR PHYSICS A

Measurement of the spin rotation parameters R and A in πp elastic scattering and a test of πN partial-wave analyses in the region of low-lying P_{11}, S_{11} and D_{13} resonances

I.V. Lopatin, V.V. Abaev, N.A. Bazhanov, V.S. Bekrenev, Yu.A. Beloglazov, E.A. Filimonov, A.I. Kovalyov, N.G. Kozlenko, S.P. Kruglov, A.A. Kulbardis, L.V. Lapochkina, V.V. Polyakov, V.A. Shchedrov, A.V. Shvedchikov, V.V. Sumachev, I.I. Tkach, V.Yu. Trautman

Результаты исследований упругого пион-нуклонного рассеяния в области низколежащих πN-резонансов, выполненных на пи-мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ, послужили основой докторской диссертации, успешно защищённой С.П. Кругловым в январе 1986 года.



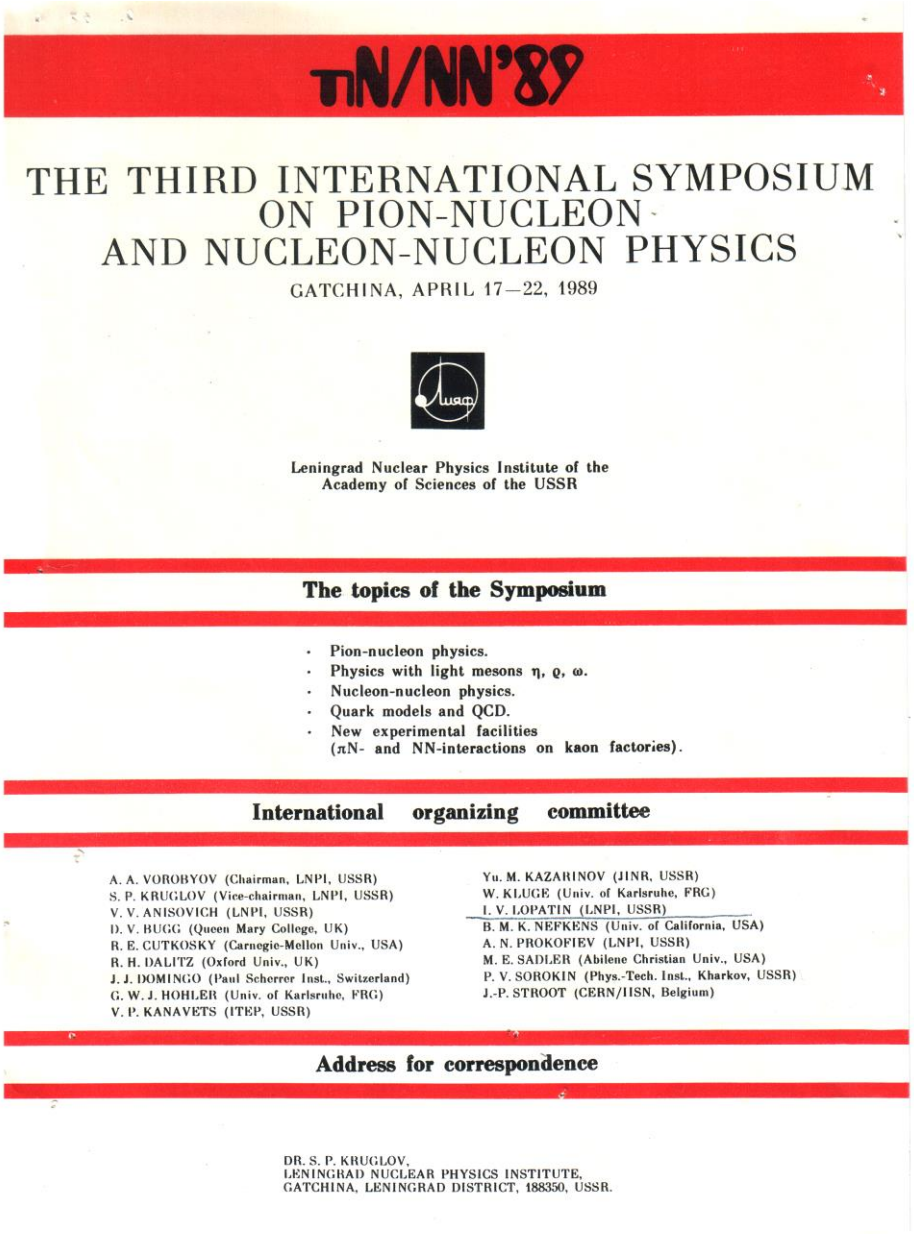
Полученные новые данные были использованы при проведении фазового анализа ПИЯФ-94. Принципиально новая особенность этого анализа – применение генератора дискретных неоднозначностей, позволившего сделать процедуру поиска единственного решения более эффективной. Другая его особенность – при его проведении не использовалось предположение о зарядовой симметрии пион-нуклонных парциальных амплитуд. Результатом фазового анализа ПИЯФ-94 было получение наиболее точных амплитуд для энергий падающих пионов от 160 до 600 МэВ (соответствующий диапазон энергий в с.ц.м. составляет от 1210 до 1510 МэВ). Один из наиболее интересных результатов, полученных при проведении фазового анализа ПИЯФ-94, – обнаружение зарядового расщепления в P_{33}-фазе; количественно этот эффект можно характеризовать разностью фаз $\delta_{33}^{++} - \delta_{33}^{0}$, величина которой зависит от энергии. Аппроксимация этой зависимости с учетом Брейт-Вигнеровского резонансного члена и нерезонансного фона привела к следующим значениям масс (M) и ширин (Γ) P_{33}-резонансов:

$$M^0 = 1233{,}1 \pm 0{,}3 \text{ МэВ}, \qquad M^{++} = 1230{,}5 \pm 0{,}2 \text{ МэВ},$$
$$M^0 - M^{++} = 2{,}6 \pm 0{,}4 \text{ МэВ}, \qquad \Gamma^0 - \Gamma^{++} = 5{,}1 \pm 1{,}0 \text{ МэВ}.$$

Эти значения включены в последние издания Review of Particle Physics.

Проведённые на пи-мезонном канале ПИЯФ исследования свойств пион-нуклонного взаимодействия и полученные в итоге этих исследований результаты снискали признание и авторитет мирового научного сообщества Институту, коллективу Лаборатории мезонной физики. И вполне естественно, что именно в ПИЯФ был организован в апреле 1989 года Международный симпозиум по пион-нуклонной и нукло-нуклонной физике. Симпозиум был проведён по инициативе С.П. Круглова и при активной поддержке зарубежных учёных. Международный Оргкомитет Симпозиума возглавил А.А. Воробьёв. Симпозиум собрал в Гатчине небывало «звёздный» состав учёных из многих стран мира, являющихся признанными специалистами в физике πN-взаимодействия. Среди них были такие корифеи парциально-волнового анализа (ПВА) как G. Höhler (Germany), R.E. Cutkosky (U.S.A.) и R.A. Arndt (U.S.A.), признанные экспериментаторы в области пион-нуклонной физики B.M.K. Nefkens (U.S.A.), M.E. Sadler (U.S.A.) и D.F. Measday (Canada), учёные-теоретитки R.H. Dalitz, G. Holzwath, M.D. Huber, J. Gasser, L.-C. Liu, J.A. Niskanen и другие представители дальнего и ближнего зарубежья.

После проведения в 1989 году в Гатчине Симпозиума по мезон-нуклонной физике такие Симпозиумы (им присвоена аббревиатура MENU) стали проводиться в разных странах на регулярной основе. Очередной, 11ый Симпозиум MENU состоялся в Германии в 2007 году.



πN/NN'89

THE THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM
ON PION-NUCLEON
AND NUCLEON-NUCLEON PHYSICS

GATCHINA, APRIL 17—22, 1989

Leningrad Nuclear Physics Institute of the
Academy of Sciences of the USSR

The topics of the Symposium

- Pion-nucleon physics.
- Physics with light mesons η, ϱ, ω.
- Nucleon-nucleon physics.
- Quark models and QCD.
- New experimental facilities
  (πN- and NN-interactions on kaon factories).

International organizing committee

A. A. VOROBYOV (Chairman, LNPI, USSR)
S. P. KRUGLOV (Vice-chairman, LNPI, USSR)
V. V. ANISOVICH (LNPI, USSR)
D. V. BUGG (Queen Mary College, UK)
R. E. CUTKOSKY (Carnegie-Mellon Univ., USA)
R. H. DALITZ (Oxford Univ., UK)
J. J. DOMINGO (Paul Scherrer Inst., Switzerland)
G. W. J. HOHLER (Univ. of Karlsruhe, FRG)
V. P. KANAVETS (ITEP, USSR)
Yu. M. KAZARINOV (JINR, USSR)
W. KLUGE (Univ. of Karlsruhe, FRG)
I. V. LOPATIN (LNPI, USSR)
B. M. K. NEFKENS (Univ. of California, USA)
A. N. PROKOFIEV (LNPI, USSR)
M. E. SADLER (Abilene Christian Univ., USA)
P. V. SOROKIN (Phys.-Tech. Inst., Kharkov, USSR)
J.-P. STROOT (CERN/IISN, Belgium)

Address for correspondence

DR. S. P. KRUGLOV,
LENINGRAD NUCLEAR PHYSICS INSTITUTE,
GATCHINA, LENINGRAD DISTRICT, 188350, USSR.

Программа Симпозиума $\pi N/NN$'89 была насыщенной, всего было запланировано около 60 докладов с самой разнообразной тематикой. Помимо плановых докладов, прошло несколько обсуждений за круглым столом «спорных» проблем, затрагивающих пересекающиеся интересы учёных, занятых в различных областях мезон-нуклонной физики.

Темами «жарких» дискуссий были проблемы парциально-, волнового анализ и разных способов устранения неоднозначностей, присущих этому анализу. Затрагивались также тематика существования так. наз. missing резонансов, предсказываемых теорией, но не обнаруженных в эксперименте.

В ходе Симпозиума его участники С.П. Круглов, с одной стороны, и Б.М.К. Нефккенс и М.Е. Садлер, с другой стороны, обсудили вопрос о продолжении экспериментов по изучению $\pi^- p$-реакций с образованием нейтральных частиц в конечном состоянии на пи-мезоного пучке ПИЯФ. Было достигнуто соглашение о передаче ПИЯФу во временное пользование шести нейтронных спектрометров, принадлежащих Университету в Лос-Анжелесе. ПИЯФ взял на себя обязательство обеспечить планируемые эксперименты необходимыми гамма-детекторами. В обсуждаемые планы входило изучение таких реакций, как $\pi^- p \to \gamma n$, $\pi^- p \to \pi^0 n$, $\pi^- p \to \eta n$. В 1990 г. нейтронные спектрометры были транспортированы из США в Гатчину, проблема с гамма-детекторами была решена, что позволило начать подготовку к экспериментам в ПИЯФе. На первом этапе были выполнены измерения сечений реакции перезарядки $\pi^- p \to \pi^0 n$ для рассеяния на большие углы. Эксперимент проводился в диапазоне импульсов налетающих пионов от 450 до 750 МэВ/с путём измерения времени пролёта нейтрона отдачи, вылетевшего под углом от 1° до 15° (в лаб. системе координат), на совпадение с одним из гамма-квантов от распада $\pi^0 \to 2\gamma$. Для улучшения импульсного разрешения пи-мезонного канала была произведена его специальная модернизация – годоскоп из восьми узких вертикальных сцинтилляционных счётчиков был помещён в той части канала, где импульсная дисперсия максимальна.

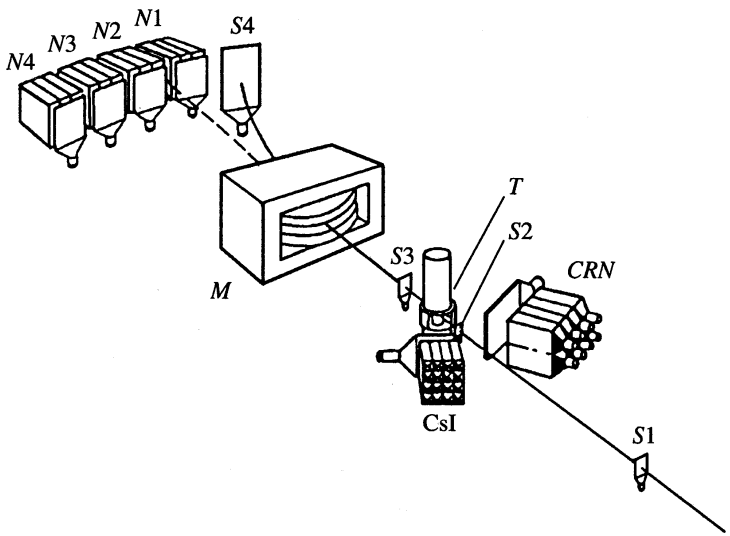
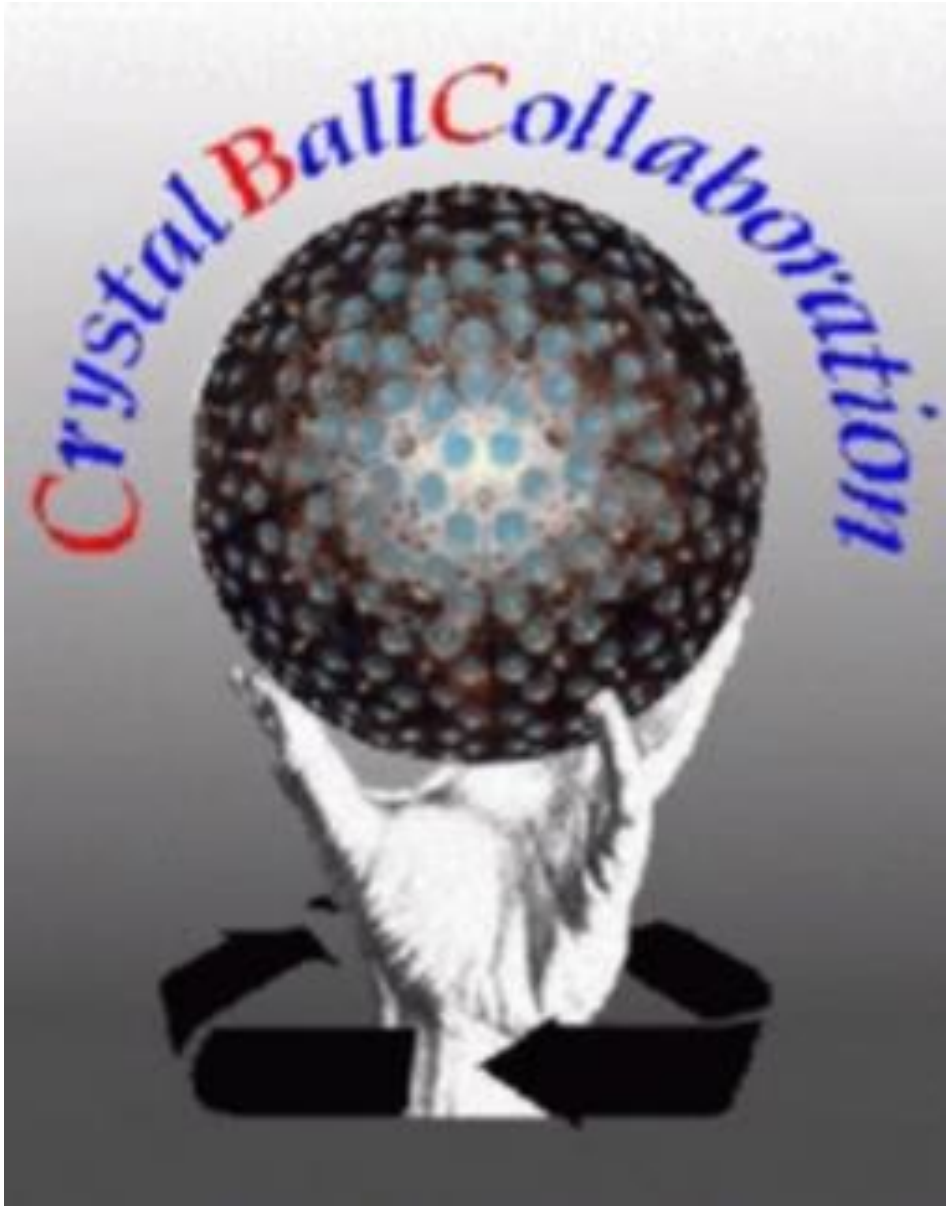


Рис. 2. Установка для измерения дифференциальных сечений $\pi^- p$-рассеяния с перезарядкой. $S1$, $S2$ — мониторные счетчики; $S3$, $S4$ — пучковые вето-счетчики; $N1$–$N4$ — детекторы нейтронов; T — жидководородная мишень; M — магнит для отклонения пучка π-мезонов, прошедших через мишень без взаимодействия; CsI — гамма-детектор, состоящий из 16 кристаллов CsI(Na); CRN — черенковский гамма-детектор, состоящий из восьми блоков свинцового стекла.

В дальнейшем сотрудники Лаборатории мезонной физики ОФВЭ включились в Crystal Ball коллаборацию и приняли активное участие в экспериментах, выполняемых на мезонном канале ускорителя AGS Брукхэйвенской национальной лаборатории, США.

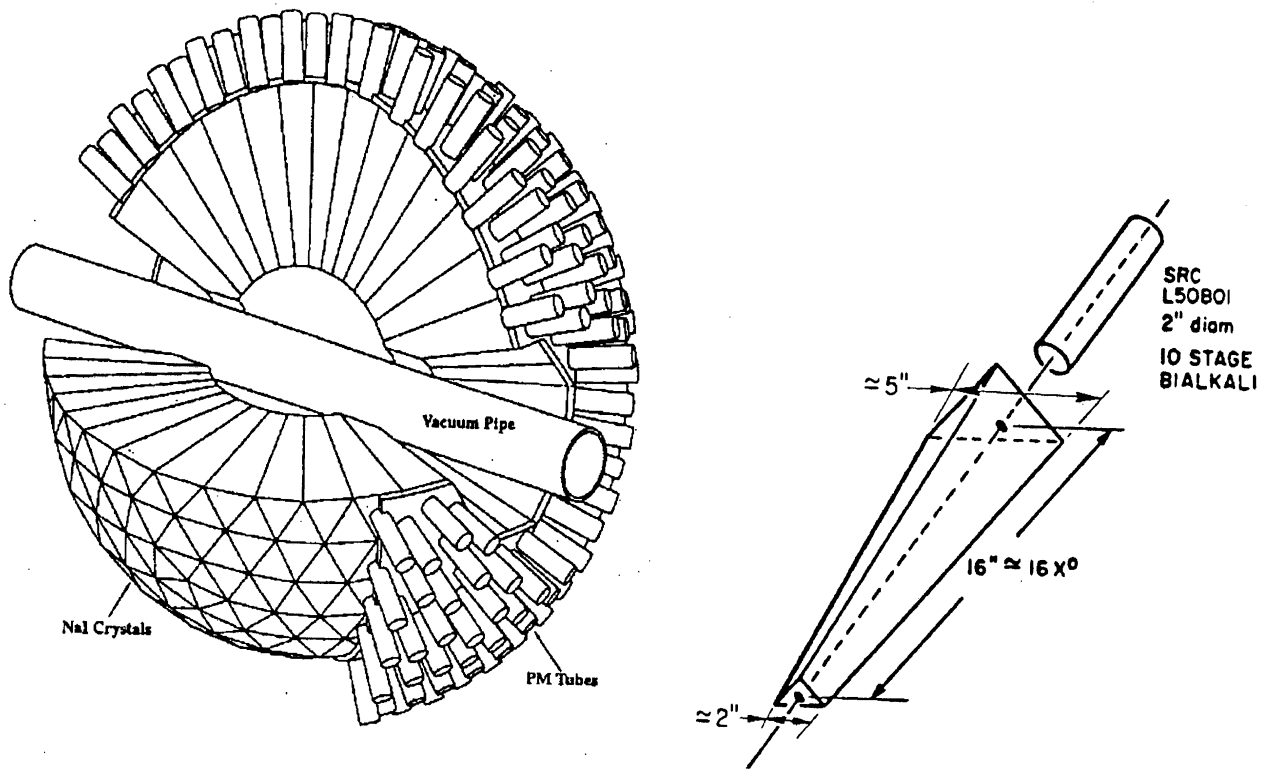


Crystal Ball коллаборация была сформирована в 1995-1996 гг., она включает 14 университетов и институтов из пяти стран. Эксперименты E913/914/953/958 выполнялись на пучковой линии C6 ускорителя AGS и включают в себя:

1.Эксперименты E913/E958.

Измерение дифференциальных сечений $\pi^- p$-реакций с нейтральными частицами в конечном состоянии ($\pi^- p \to \gamma n$, $\pi^- p \to \pi^0 n$, $\pi^- p \to \eta n$, $\pi^- p \to \pi^0 \pi^0 n$); импульсы налетающих пионов составляют при этом от 150 до 750 МэВ/с.

2. Эксперименты E914/E953.
   Измерение дифференциальных сечений K^-p-реакций с нейтральными частицами в конечно состоянии: $K^-p \to \gamma\Lambda$, $K^-p \to \pi^0\Lambda$, $K^-p \to \eta\Lambda$ и аналогичные реакции с рождением Σ^0-гиперона.
3. Изучение редких и запрещённых распадов η-мезона.

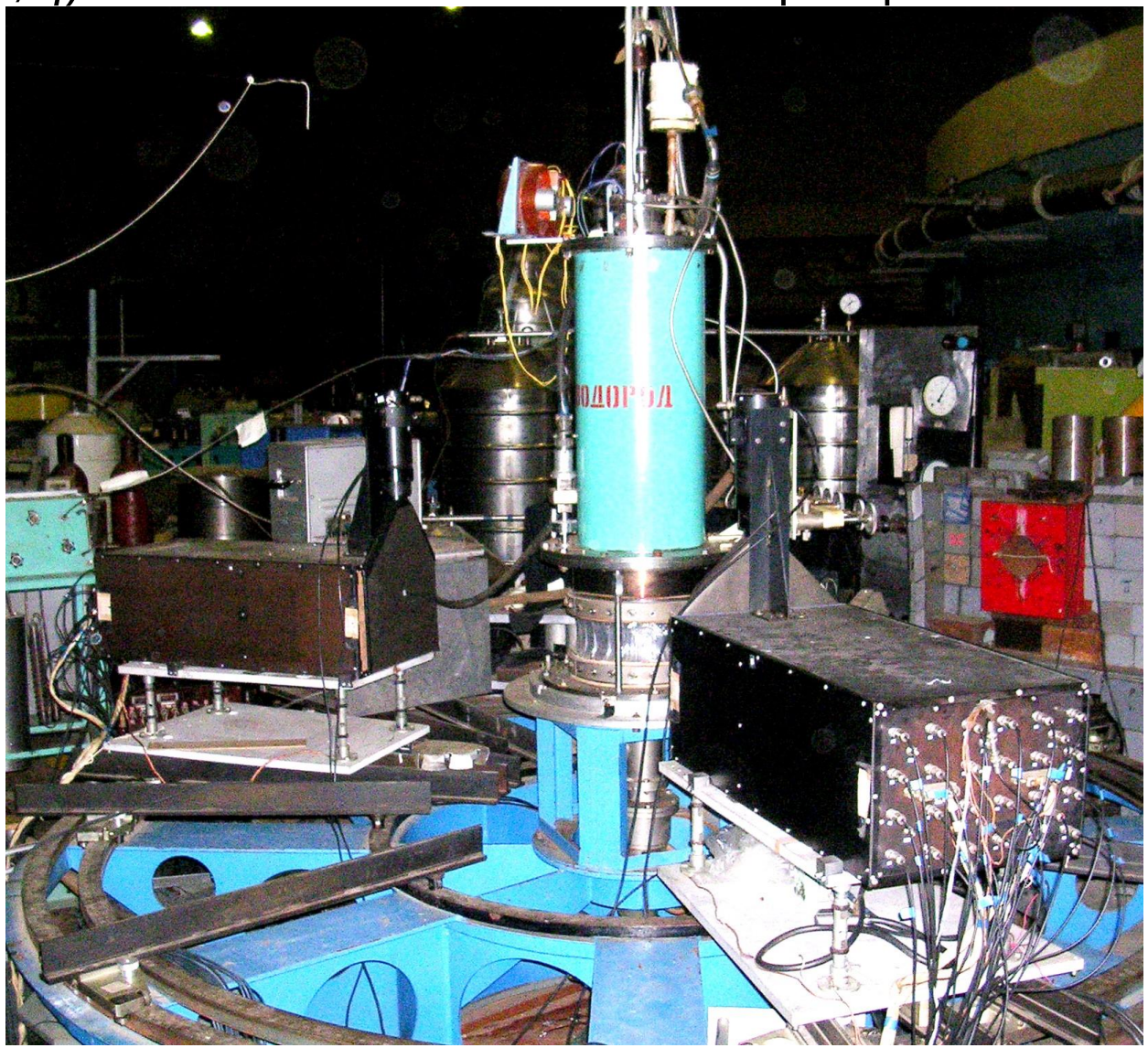


Схематическое изображение детектора “Crystal Ball”, состоящего из 672 кристаллов CsI(Tl)

Войдя в состав Crtstal Ball коллаборации, сотрудники ОФВЭ ПИЯФ В.В. Абаев, В.С. Бекренёв, Н.Г. Козленко, С.П. Круглов, А.А. Кулбардис И.В. Лопатин и А.Б. Старостин в период с 1996 г. до 2002 г. принимали участие в подготовке и проведении экспериментов на мезонном канале С6 ускорителя AGS. На начальном этапе ими была проведена повторная сборка детектора Crystal Ball (после его транспортировки в разобранном виде из Стэнфорда в БНЛ) и произведена его наладка. Силами сотрудников ОФВЭ была спроектирована, изготовлена в Гатчине и перевезена в БНЛ и там отлажена система мониторных счётчиков. Физики ОФВЭ принимали самое активное участие в наборе данных во время смен на ускорителе. Что же касается извлечения окончательного результата по сечениям $\pi^- p$-рассеяния с перезарядкой, то решающую роль в получении сечений этого процесса из набранного в ходе экспериментов массива данных играли проф. М.Е. Садлер и сотрудники Лаборатории мезонной физики ОФВЭ В.С. Бекренёв, Н.Г.Козленко, С.П. Круглов, А.А. Кулбардис, А.Б. Старостин.

В дальнейшем планировалось продолжить изучение $\pi^- p$-реакций с образованием нейтральных частиц в конечном состоянии в БНЛ при энергиях до 2 ГэВ. Однако время на эти эксперименты в БНЛ не было выделено, поэтому в 2002 году Crystal Ball был перевезён в Майнц (Германия) для проведения экспериментов на пучке «меченых фотонов» ускорителя MAMI-C.

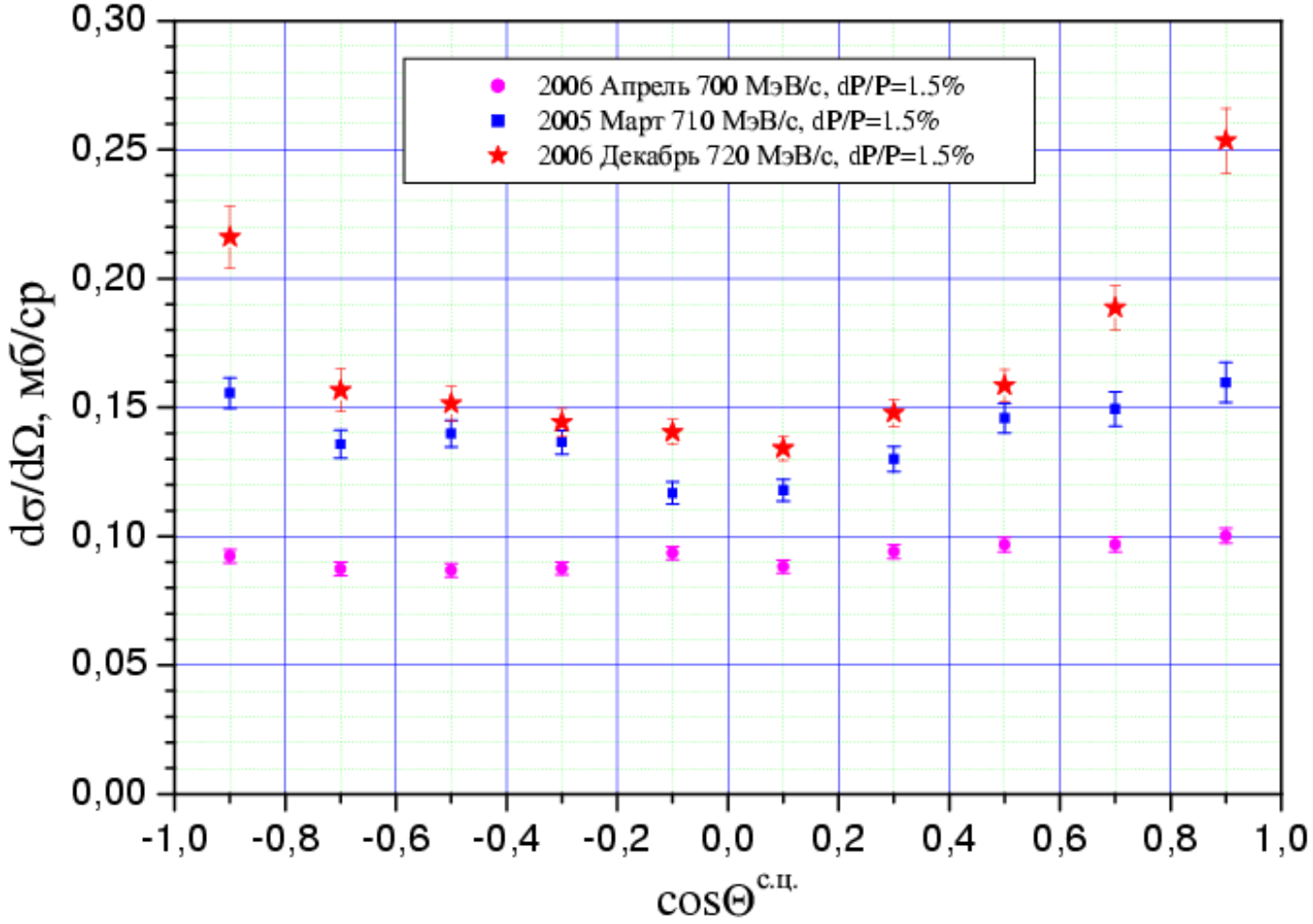
Для проведения на пи-мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ экспериментов по изучению $\pi^- p$-реакций с образованием нейтральных мезонов (π^0, η) в конечном состоянии в Лаборатории мезонной физики



спроектирован и изготовлен новый прибор – спектрометр нейтральных мезонов (СНМ) Этот спектрометр состоит из двух электромагнитных калориметров полного поглощения, по 24 кристалла CsI(Na) в каждом. Благодаря достаточно высокому пространственному и энергетическому разрешению калориметров, энергии двух фотонов от распада $\pi^0 \to 2\gamma$ ($\eta \to 2\gamma$) и углы их эмиссии могут быть измерены с хорошей точностью. На основе этих измерений можно восстановить энергию и угол вылета образовавшегося π^0-мезона (η-мезона). С помощью СНМ были измерены сечения реакции перезарядки для углов вылета π^0-мезона, близких к 0°. Изменения выполнены в той области импульсов налетающих пионов (417–585 МэВ/с), где опубликованные результаты других экспериментов были фрагментарны, противоречивы и неточны.

С использованием спектрометра нейтральных мезонов на пи-мезонном канале ПИЯФ производятся измерения сечений процесса образования η-мезона при импульсах налетающих пионов вблизи порога этой реакции, который составляет 685 МэВ/с. Эти измерения направлены на выяснение механизма этого процесса, для которого характерно, что его порог почти совпадает с положением максимума резонанса $S_{11}(1535)$. К данному времени сечения реакции $\pi^- p \to \eta n$ измерены при импульсах налетающих пионов 700, 710 и 720 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 и 720 МэВ/с угловая зависимость анизотропна, но симметрична относительно $\cos\theta^{cm}$ = 0 (напоминает профиль тарелки). Таким образом, непосредственно вблизи порога процесс $\pi^- p \to \eta n$ идёт, в основном, через образование резонанса $S_{11}(1535)$ с его последующим распадом – с вероятностью 45–60% – по каналу ηN, но при более высоких



импульсах существенный вклад в сечение реакции может вносить процесс формирования резонанса $D_{13}(1520)$, хотя этот резонанс и имеет сравнительно малую вероятность распада по каналу ηN.

В дальнейших планах – эксперименты по изучению рождения η-мезона на связанном нуклоне в реакциях $\pi^+ d \to \eta p(p)$ и $\pi^- d \to \eta n(n)$, осуществляемые с использованием жидкодейтериевой мишени. Сопоставление дифференциальных сечений этих реакций с сечениями процесса $\pi^- p \to \eta n$ позволит оценить, насколько ядерная среда модифицирует характеристики нуклонных резонансов, а отклонение от единицы отношения сечений $\boldsymbol{R = d\sigma(\pi^+ d \to \eta pp) / d\sigma(\pi^- d \to \eta nn)}$ может служить мерой нарушения изоспиновой инвариантности в процессе рождения η-мезона, что, в свою очередь, даст возможность определить важную физическую величину – угол π^0–η смешивания. На следующем этапе исследований планируется выполнить измерения асимметрии процесса $\pi^- p \to \eta n$ в эксперименте с использованием поляризованной протонной мишени. Проведение парциально-волнового анализа этого процесса, включающего не только сечения, но также и значения асимметрии, позволит с большей точностью определить величину фундаментальной константы – длины ηN-рассеяния и также улучшить наше знание природы резонанса $S_{11}(1535)$

С Юбилеем,

Сергей Павлович !