



# Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" Институт теоретической и экспериментальной физики Эксперименты на ускорителе ИТЭФ

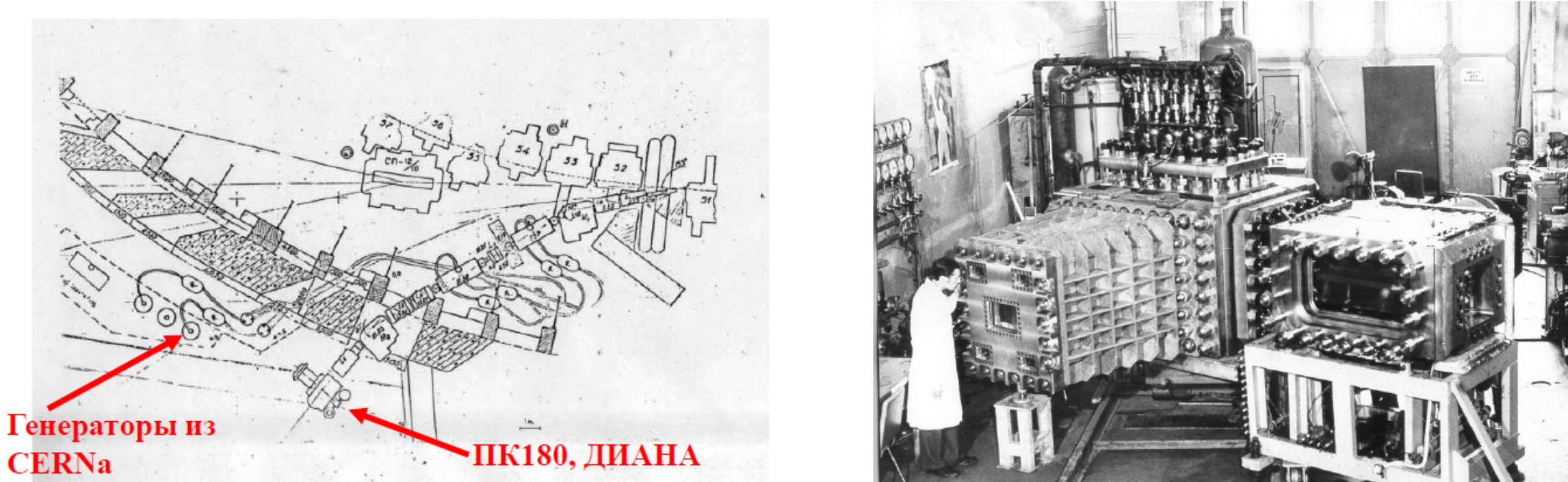


Группа Алиханова-Любимова

Работы связаны с реджистикой, обмен барионными траекториями.

1. А.И.Алиханов, Г.Л.Багтян, Э.В.Брахман, Ю.В.Галактионов, Г.П.Елисеев, Ф.А.Еч, О.Я.Зельдович, Л.Г.Ландсберг, В.А.Любимов, И.В.Сидоров "Упругое рассеяние назад пи-мезонов на нейтронах в интервале импульсов 1,4-4,0 ГэВ/с", Письма ЖЭТФ II, вып. 2, 90 (1965)
2. F.I.Alikhanov, G.L.Bayatyán, E.V.Brakman, G.P.Eliseev, Yu.V.Galaktionov, L.G.Landsberg, V.A.Lyubimov, I.V.Sidorov, F.A.Yetch, O.Ya.Zeldovich, "Backward elastic scattering  $\pi^-$  meson by neutrons in the momentum range 1.5-3.8 GeV/c", Phys.Lett. B, 28, 220, (1968)
3. V.D.Antopolsky, G.L.Bayatyán, E.V.Brakman, G.P.Eliseev, N.E.Emelyanov, Yu.V.Galaktionov, Yu.V.Gorodkov, L.G.Landsberg, N.N.Lujeskiy, V.A.Lyubimov, I.V.Sidorov, F.A.Yetch, O.Ya.Zeldovich, "Backward charge exchange ( $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + n$ ) reaction in the momentum range 1.55-3.8 GeV/c", Phys.Lett. B, 28, 223, (1968)
4. V.D.Antopolsky, G.L.Bayatyán, E.V.Brakman, G.P.Eliseev, N.E.Emelyanov, Yu.V.Galaktionov, Yu.V.Gorodkov, L.G.Landsberg, N.N.Lujeskiy, V.A.Lyubimov, I.V.Sidorov, F.A.Yetch, O.Ya.Zeldovich, "Backward charge exchange ( $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + n$ ) reaction in the momentum range 1.55-3.8 GeV/c", Phys.Lett. B, 28, 223, (1968)
5. В.В.Антопольский, Г.Л.Багтян, Э.В.Брахман, Ю.В.Галактионов, Ю.В.Городков, Г.П.Елисеев, Н.Е.Емельянов, Ф.А.Еч, О.Я.Зельдович, Л.Г.Ландсберг, В.А.Любимов, Н.Н.Лужский, И.В.Сидоров, "Упругое рассеяние назад  $\pi^-$  мезонов на нейтронах в интервале импульсов 1,5-3,8 ГэВ/с", Ядерная Физика 9, вып.4, 798 (1969)
6. В.В.Антопольский, Г.Л.Багтян, Э.В.Брахман, Ю.В.Галактионов, Ю.В.Городков, Г.П.Елисеев, Н.Е.Емельянов, Ф.А.Еч, О.Я.Зельдович, Л.Г.Ландсберг, В.А.Любимов, Н.Н.Лужский, И.В.Сидоров, "Исследование перекрестия назад в области импульсов 1,5-3,8 ГэВ/с", Ядерная Физика 9, вып.5, 1021 (1969)

## КСЕНОНОВЫЕ КАМЕРЫ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ СЕПАРИРОВАННОМ ПУЧКЕ



Универсальный сепарированный пучок  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $K^+$ ,  $K^-$  мезонов и с импульсами от 0.6 до 1.4 ГэВ/с

Слева - камера ДИАНА, справа - корпус 180-л камеры

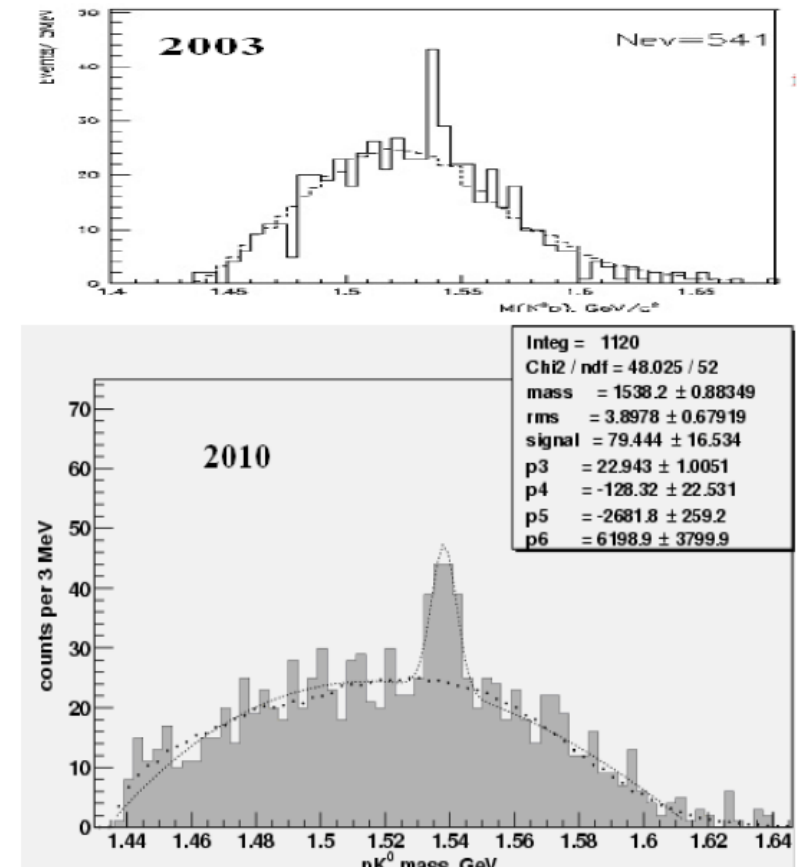
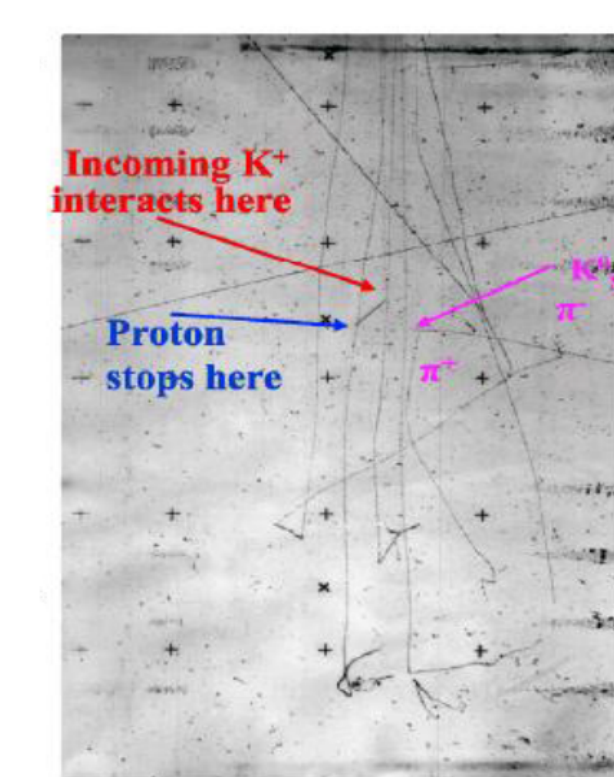
180-л камера, на пучке  $K^+$  - мезонов с импульсом 0.85 ГэВ/с (1973-1983) получено около 2 млн. снимков. Исследование СР и СРТ - симметрий Редкие распады  $K_s$ -мезонов:  $K_s \rightarrow e^+ e^-$  и  $K_s \rightarrow 2\gamma$ . Поиски СР-нарушения в распадах  $K^0 \rightarrow 3\pi^0$  и  $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ . Цикл работ по измерению вероятности редких и радиационных распадов  $K^+$ -мезонов:  $K^+ \rightarrow e^+ \nu$ ,  $K^+ \rightarrow e^+ \mu^0 \nu$ ,  $K^+ \rightarrow e^+ \pi^0 \nu$ ,  $K^+ \rightarrow e^+ \mu^0 \nu \gamma$ ,  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \gamma$  и  $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma \gamma$

## 700- ЛИТРОВАЯ КСЕНОНОВАЯ КАМЕРА - ДИАНА

700-л ксеноновой пузырьковой камеры ДИАНА, без магнитного поля, 1500 кг ксенона, Эффективность регистрации  $\gamma$  - квантов близка к 100%. 1. Исследования аннигиляции антипротонов низких энергий на ядрах ксенона. Получено 1.4 млн. снимков в 1987-1993 гг. Зарегистрировано 500 тыс. аннигиляций в покое и около 300 тыс. на лету со средним импульсом 0.7 ГэВ/с. Определены сечения взаимодействий  $\omega$  и  $\eta$ - мезонов с нуклоном при среднем импульсе этих мезонов 0.45 ГэВ/с. Получены прямые доказательства образования в процессе внутриядерного каскада бинарных реакций  $\omega \rightarrow K^+ \Lambda$  и  $\text{anti}(K) N \rightarrow \Lambda \pi^0$ . Показано, что эти реакции являются главными источниками рождения гиперонов в аннигиляциях антипротонов низких энергий на ядрах. Оценено сечение  $\omega \rightarrow K^+ \Lambda$  реакции. Оценены массы анти(K) и  $\omega$ -мезонов, взаимодействующих в ядерном веществе. Впервые обнаружено рождение двух гиперонов при аннигиляции остановившихся антипротонов на ядрах ксенона

## НАБЛЮДЕНИЕ ПЕНТАКВАРКА $\Theta^+$ (1540)

Поиски резонанса в рКs - системе во взаимодействиях K+ мезонов с ядрами ксенона начались в ИТЭФ в 1999 году по снимкам ксеноновой пузырьковой камеры ДИАНА, полученным в экспозициях камеры на пучке сепарированных K+ мезонов в 1985-1987 годах. В результате анализа K+Xe-rKsX реакций, отобранных на части статистики, в рКs - системе обнаружен узкий ( $\sim 9$  МэВ) резонанс с массой около 1540 МэВ. 29 случаев над фоном.



Это наблюдение, опубликованное в начале 2003 года практически одновременно с работой японской группы LEPs, в которой сообщалось об обнаружении узкого барионного резонанса с массой около 1540 МэВ в  $nK^+$  системе, образованной во взаимодействиях фотонов с ядрами углерода. Резонанс свидетельствовал о существовании нового класса элементарных частиц - пентакварков. Появление этих двух работ вызвало необычайный взрыв научной активности в попытках решить проблему существования частиц состоящих из 5 кварков.

С целью проверки возможности существования  $\Theta^+$ (1540) выполнено большое количество экспериментальных работ. Хотя в ряде работ получены доказательства существования  $\Theta^+$  в различных реакциях экспериментальная ситуация остается во многом неопределенной, т.к. во многих экспериментах, выполненных при высоких энергиях с большой статистикой и хорошим разрешением  $\Theta^+$  не обнаруживается. Однако, эксперименты LEPs и ДИАНА подтвердили свои первоначальные наблюдения. Возможная причина несогласия экспериментальных работ заключается в неизвестном механизме образования  $\Theta^+$  и чрезвычайной малости его ширины. За последние несколько лет появилось более 700 теоретических работ о объяснении природы наблюдаемого состояния. Однако, пока нет полной ясности ни в достоверности наблюдения, ни объяснения динамики его образования. Требуются новые эксперименты для решения этой проблемы.

## ИТОГИ РАБОТЫ

Опубликовано в рецензируемых журналах более 70 научных работ. Около 1000 ссылок по базе данных HEP.

20 результатов вошли в Таблицы свойств элементарных частиц (PDG)

- Пленки камеры ДИАНА содержащие взаимодействия  $K^+$ ,  $K^-$  и антипротонов с ядрами Хе находится в ИТЭФ и доступны для исследований
- Рабочее вещество камеры ДИАНА - ксенон успешно используется в методических работах ИТЭФ, в экспериментах ZEPLIN и EXO. Предполагается использование основной оставшейся части Хе в качестве рабочего вещества в Российском эксперименте РЭД по поиску темной материи.

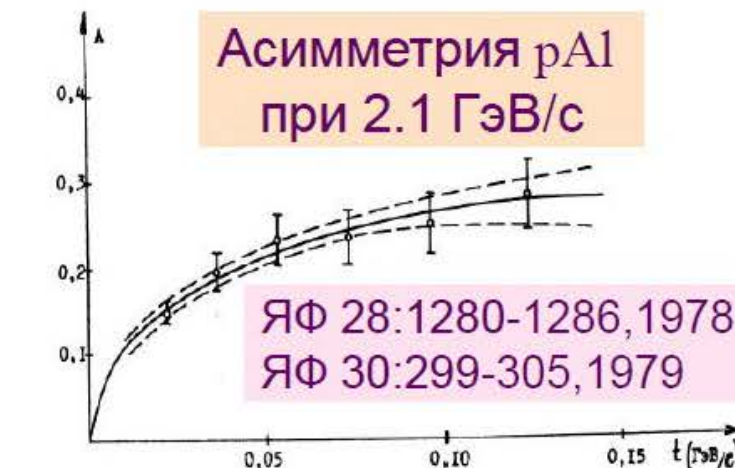
## Участие ученых других институтов в работах на ускорителе ИТЭФ

- Исследования с помощью 180-л и 700-л ксеноновых камер проводились в содружестве с учеными из ОИЯИ, Польши, Норвегии, Бельгии и Италии. Некоторые из зарубежных ученых участвовали в получении экспериментального материала.
- 200-литровая пузырьковая камера МПФ экспонировалась на пучке  $\pi^-$  мезонов с импульсом 3.9 ГэВ/с на ускорителе ИТЭФ. Получено около 100 тыс. снимков. Камера работала в магнитном поле и была заполнена фреоном. В исследованиях по снимкам камеры получены данные о резонансе с массой 1300 МэВ в системе K $\Lambda$ , наблюдались рождение  $\rho^-$ -мезонов и явление двойной перезарядки  $\pi^-$ -мезонов на ядрах. Измерено сечение  $\rho^-$ -N-взаимодействия.
- После завершения работы камеры ДИАНА на освободившемся универсальном пучке группой немецких ученых вместе с сотрудниками ИТЭФ в 1994 году проведен набор экспериментального материала с помощью привезенной из Германии аппаратуры и телескопа  $K^+$ -мезонов. Результаты работы представлены в публикации: K+meson production in p Be interactions at T p=2.9 GeV. Z.Phys. A355 (1996) 93-100 M. Büscher, R. Eber, A. Franzen, L. v. Horn, D. Kopylov, H. Ohm, H. Seyfarth, K. Sistemic, H. Müller, B. Prieszsch et al

## Лаборатория Поляризационных исследований

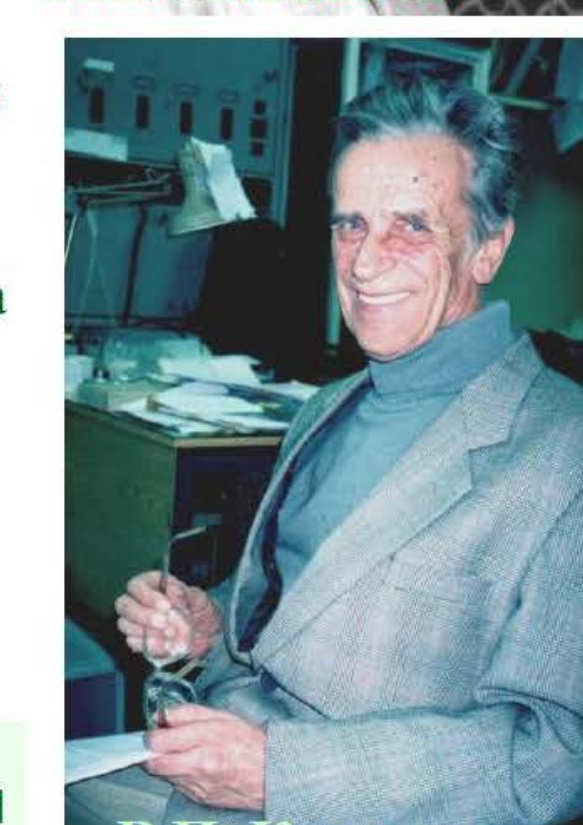
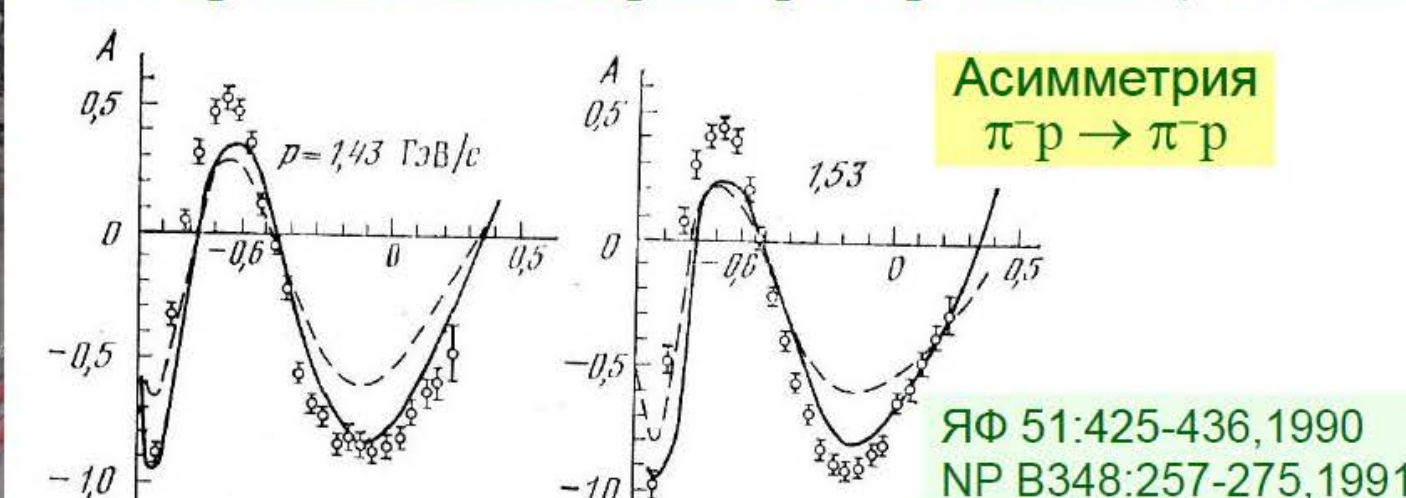
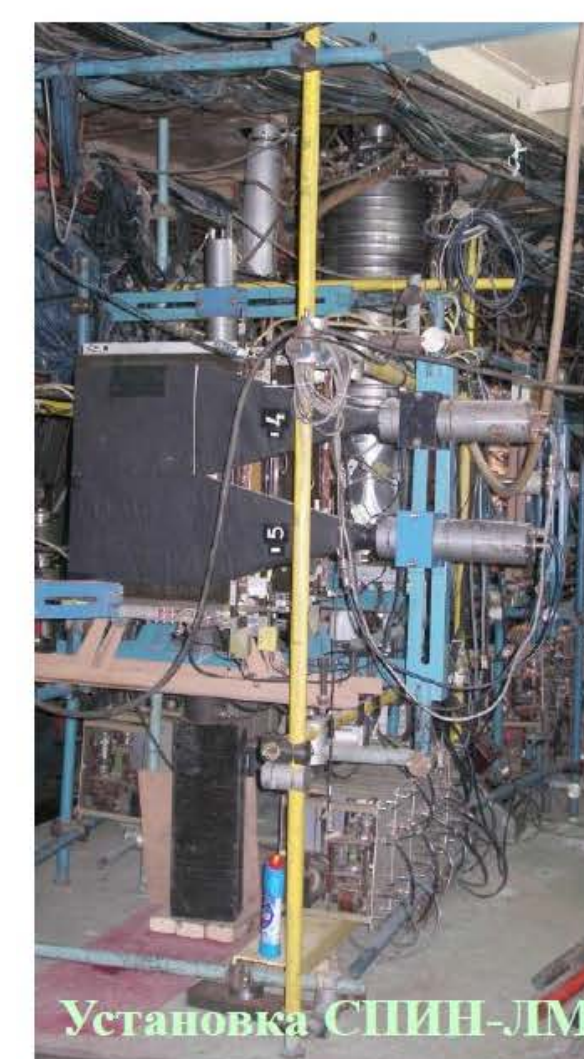
1970-1980 Эксперименты по измерению асимметрий рассеяния поляризованных протонов на водороде и ядрах под руководством И.И. Левинтова

- Поляризация протонов 35-40%, импульс до 2.1 ГэВ/с в канале 321 У-10



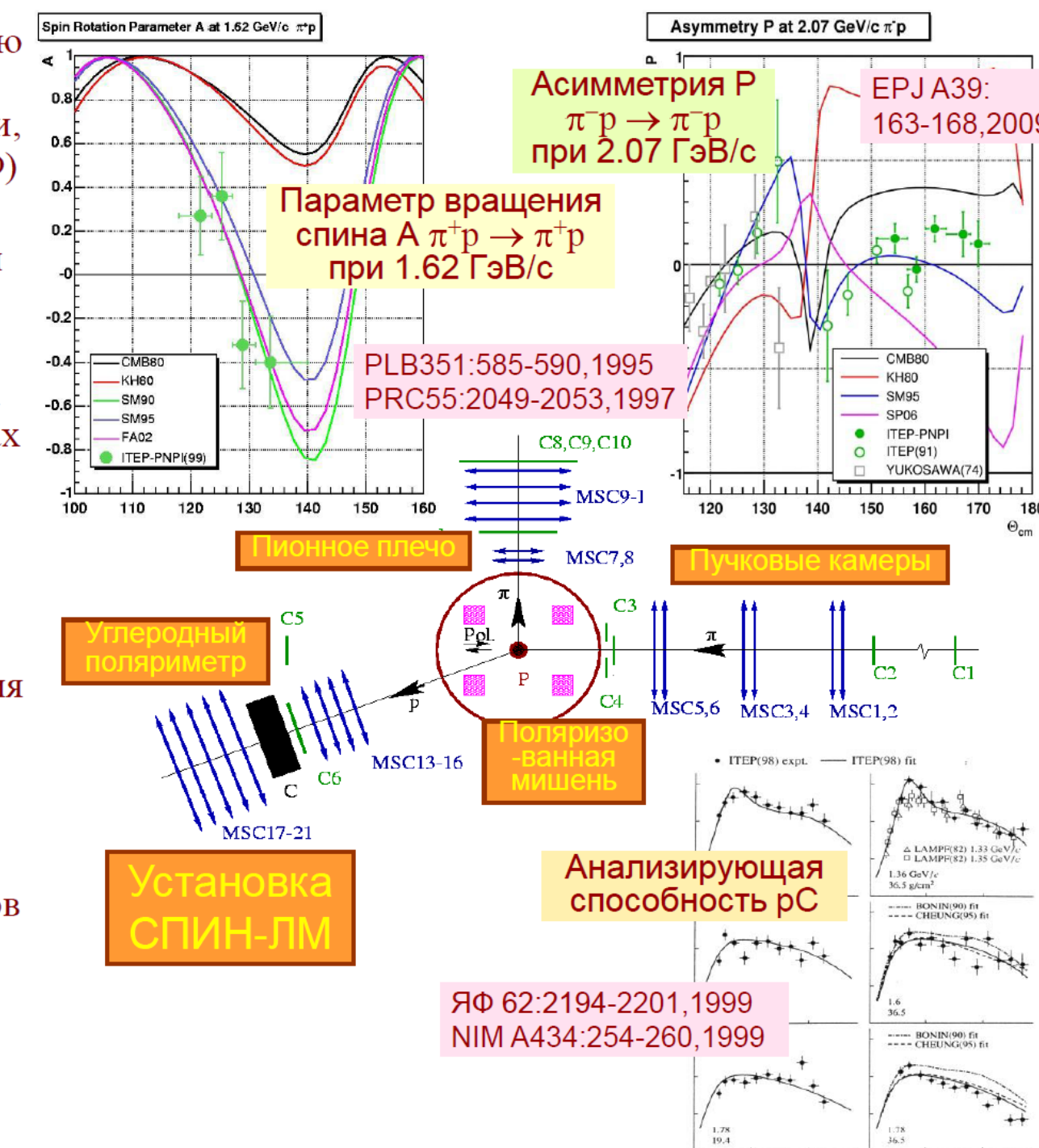
1980-1990 Создание установки СПИН на базе поляризованной протонной мишени и искровых камер с магнитострикционным съемом информации, под рук. И.И. Левинтова, затем В.П. Канавца, пионерный пучок в канале 321 У-10

- Измерение асимметрии в упругом пион-протонном рассеянии при 1.2-2.1 ГэВ/с, лучшие данные по настоящее время, использованы в ПВА
- Поляризационные параметры в рождении  $\rho$ -мезона



## Коллаборация СПИН-ЛМ ИТЭФ-ПИЯФ

- 1991-2007 Цикл работ по измерению поляризационных параметров в упругом пион-протонном рассеянии. В.П. Канавец, В.В. Сумачев (ПИЯФ)
- Установка СПИН-ЛМ с поляризованной мишенью ПИЯФ и углеродным поляризатором на канале 321 У-10
  - Параметры вращения спина A и R при 1.00, 1.43 и 1.62 ГэВ/с на пучках положительных и отрицательных пионов
  - Единственные данные по настоящее время
  - Ссылка в обзорной статье PDG, использованы в ПВА для устранения дискретных неоднородностей
  - Параметрические данные по анализирующей способности рС рассеяния для поляризации на пучках поляризованных протонов 1.35-2.02 ГэВ/с
  - Асимметрия Р при больших углах рассеяния в областях больших разностаслей ПВА



## ТЯЖЕЛОЖИДКОСТНЫЕ ПУЗЫРЬКОВЫЕ КАМЕРЫ НА ПУЧКАХ УСКОРИТЕЛЯ ИТЭФ (1962 г - 1993 г)

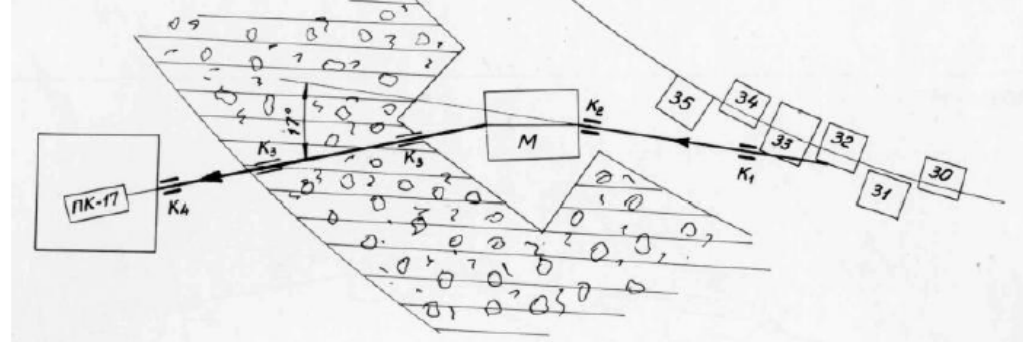
Создание тяжеложидкостных пузырьковых камер в ИТЭФ инициировано академиком А.И.Алихановым

Первый эксперимент на У-7 поставлен с 17-литровой пузырьковой камерой заполненной смесью пропана и ксенона. Камера работала без магнитного поля. В экспозициях камеры на пучке  $\pi^-$ -мезонов получено около 300 тыс снимков в 1962-1969 г. Обнаружен распад  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$  (зарегистрировано открытие), поставлен предел на вероятность распада  $\omega \rightarrow e^+ e^-$ , обнаружен распад  $\Omega \rightarrow \pi^0 \Lambda^0$ , в общемом рассеянии  $\pi^+ \rightarrow \pi^0 \pi^+$  обнаружен второй максимум в угловом распределении  $\pi^0$ -мезонов.

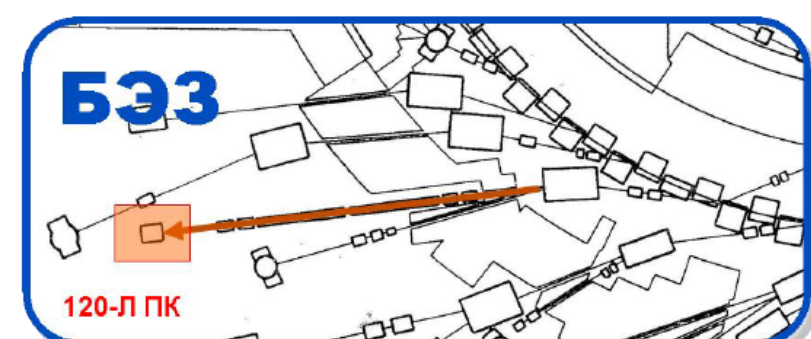


Руководитель исследований с использованием пузырьковых камер

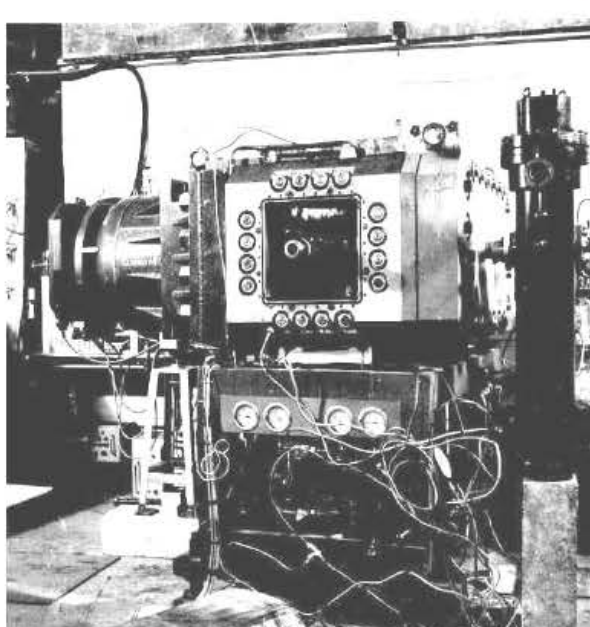
СОЗДАТЕЛИ КАМЕР Г.А.Блинов, Ю.С.Крестников, В.А.Шебанов, И.И.Першин, М.Ф.Ломанов, А.А.Никитин, Е.В.Кузнецов, А.Н.Розанов, В.В.Барнин, В.М.Голубчиков, В.С.Демидов, А.Г.Долголенко.



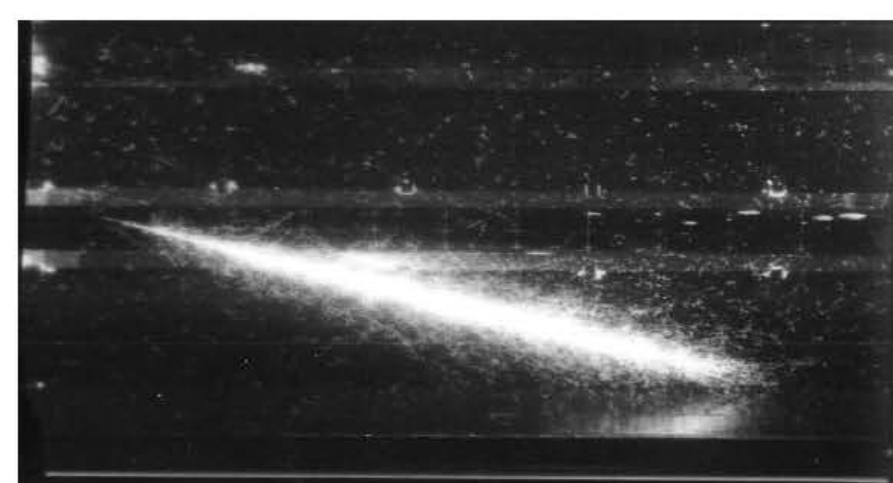
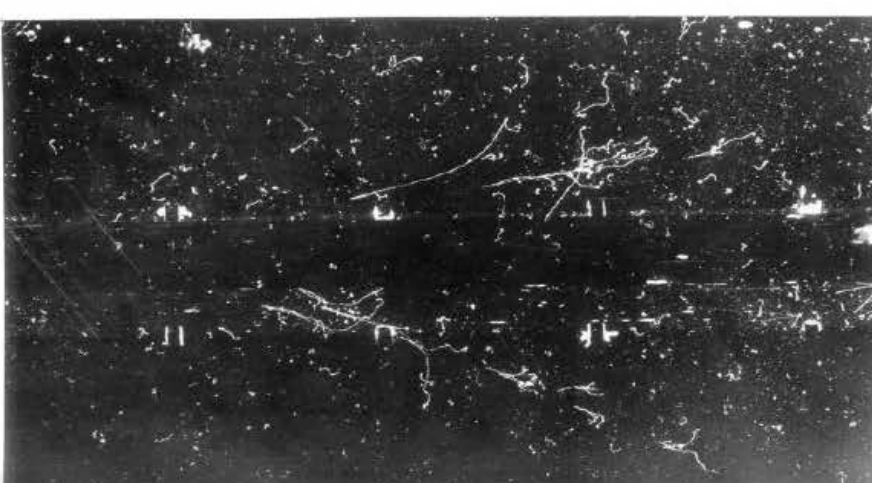
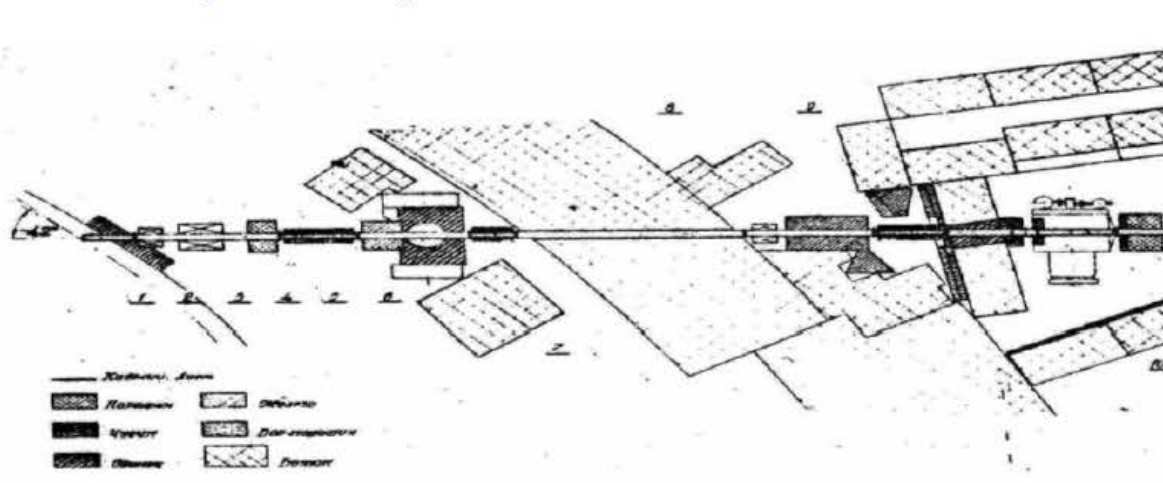
120-литровая пузырьковая камера с магнитом. Заполнялась смесью пропана и ксенона. На сепарированном пучке  $\pi^+$  и  $\pi^-$  мезонов 2.9 ГэВ/с получено около 200 тыс. снимков в 1964-1968 г. Исследования обменного рассеяния  $\pi^+$  и  $\pi^-$  мезонов, полного сечения  $\rho^0 N$ - взаимодействия, систем  $\pi^0 \pi^0$ ,  $\pi^+ \pi^0$ ,  $\pi^0 \pi^0$ , рождения  $\Lambda$ -гиперонов и др.



## 180-литровая ксеноновая пузырьковая камера



Без магнитного поля, 430 кг ксенона, эффективность регистрации  $\gamma$ - квантов - 95%. В 1968 г. получено около 950 тыс. снимков на нейтральном пучке для исследований распадов  $K_L^0$ - мезонов



Исследования СР симметрии. Эксперимент по измерению вероятности распада  $K_L^0 \rightarrow 2\pi^0$  был решающим для проверки равенства  $\eta_{CP} = \eta_{CP}$ . Цикл работ по измерению вероятностей распадов  $K_L^0 \rightarrow 2\gamma$ ,  $K_L^0 \rightarrow 3\pi^0$ ,  $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ,  $K_L^0 \rightarrow 2\eta$  и поиски нарушения СР-инвариантности в распадах  $K_L^0 \rightarrow 3\pi^0$ . Значение параметра  $\eta_{1000}$  было улучшено лишь через 18 лет.