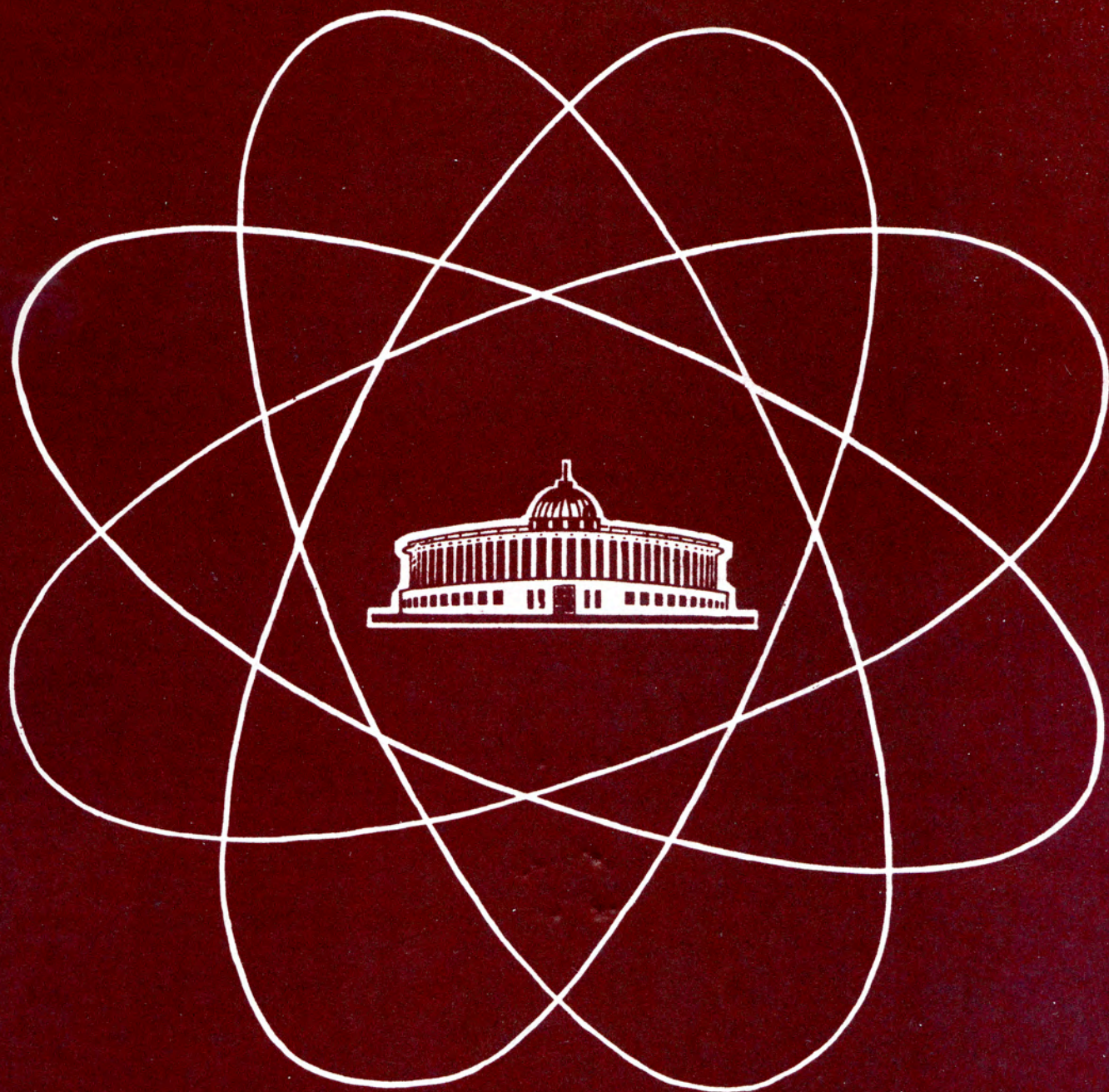


ДУБНА · 1981

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1981 · DUBNA

**ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ**

Усилия коллектива Лаборатории высоких энергий были направлены на проведение научных исследований в актуальных областях физики элементарных частиц и релятивистской ядерной физики. При изучении процессов множественного образования частиц проверены следствия, вытекающие из кварковых моделей, проведены успешные поиски очарованных частиц. Продолжено изучение процессов кумулятивного образования обычных и странных частиц и резонансов при большом наборе частиц-снарядов и ядермишеней.

Ученые лаборатории проводили исследования на основе материалов, полученных на физических установках, облученных в пучках синхрофазотрона, серпуховского

ускорителя, на 400-ГэВ ускорителе ЦЕРНа.

Проведены методические разработки в области электроники, детекторов и криогеники для обеспечения физических экспериментов.

Усовершенствован ряд узлов синхрофазотрона, прорабатывались вопросы криогенного обеспечения УНК, достигнуты успехи в исследовании сверхпроводящих магнитов с железным сердечником по проекту нуклотрона.

В 1981 году зарегистрированы 2 научных открытия сотрудников лаборатории.

Деятельность лаборатории осуществлялась в условиях широкого международного сотрудничества.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

МЕХАНИЗМ РОЖДЕНИЯ И РАСПАДА ЧАСТИЦ И РЕЗОНАНСОВ. ПОИСК НОВЫХ ЧАСТИЦ

1. На снимках с двухметровой жидководородной камеры "Людмила", облученной пучком антипротонов с импульсом 22,4 ГэВ/с на серпуховском ускорителе, изучены характеристики образования ρ^0 -мезонов. В четырехлучевых аннигиляционных $\bar{p}p$ -взаимодействиях обнаружена значительная выстроенность спина ρ^0 -мезона. Величина элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности для ρ^0 -мезона равна $0,61 \pm 0,06$, т.е. спин ρ^0 -мезона ориентирован преимущественно в плоскости реакции (рис. 1). Анализ показал, что этот эффект связан с аннигиляционными процессами и, возможно, является результатом поляризации кварков и антикварков на стадии перед их соединением в мезоны ^{1/1}.

2. Уточнены особенности образования узкого резонанса Λ_c^+ с распадом на $pK_S^0 \pi^+ \pi^-$, обнаруженного с помощью установки БИС-2 в пучке нейтронов серпуховского ускорителя на углеродной мишени (рис. 2). На основе обработки 5,3 млн. событий найдена масса Λ_c^+ бариона $M = 2259 \pm 3$ МэВ с шириной $\Gamma =$

$= 15$ МэВ. Для оценки величины сечения рождения Λ_c^+ получено ^{2/1}

$$\sigma(\Lambda_c^+) \times BR(\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0 \pi^+ \pi^-) = (1 \div 10) \text{ мкб/нукл.}$$

3. Большой объем исследований выполнен по изучению особенностей множественного образования частиц в π^-p -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с с помощью двухметровой пропановой камеры.

Обнаружено, что в π^-p -взаимодействиях хорошо проявляются черты струйного поведения адронов, аналогично известному струйному поведению частиц в e^+e^- -взаимодействиях при близкой энергии в с.ц.и. ^{3/1}.

При анализе масс тождественных пионов обнаружен эффект интерференции в области масс $M(\pi^+ \pi^+) < 0,4$ ГэВ. Эффект сильнее проявляется в $\pi^- \pi^-$ -системе, чем в $\pi^+ \pi^+$ -системе. Найдена интерференция в системах мезонов ($\pi^- \pi^- \pi^-$) или ($\pi^+ \pi^+ \pi^+$), которую не удается объяснить только двухмезонными корреляциями. Для систем нетождественных мезонов подобные корреляции не наблюдаются ^{4/1}.

Оказалось, что 50-60% лидирующих частиц (при $x = P_{||}^* / P^* > 0,4$) с зарядом, противоположным заряду налетающего пиона, образуются путем распада ρ^0 -, f - и g -резонансов. Для лидирующих частиц одного заряда с налетающим пионом

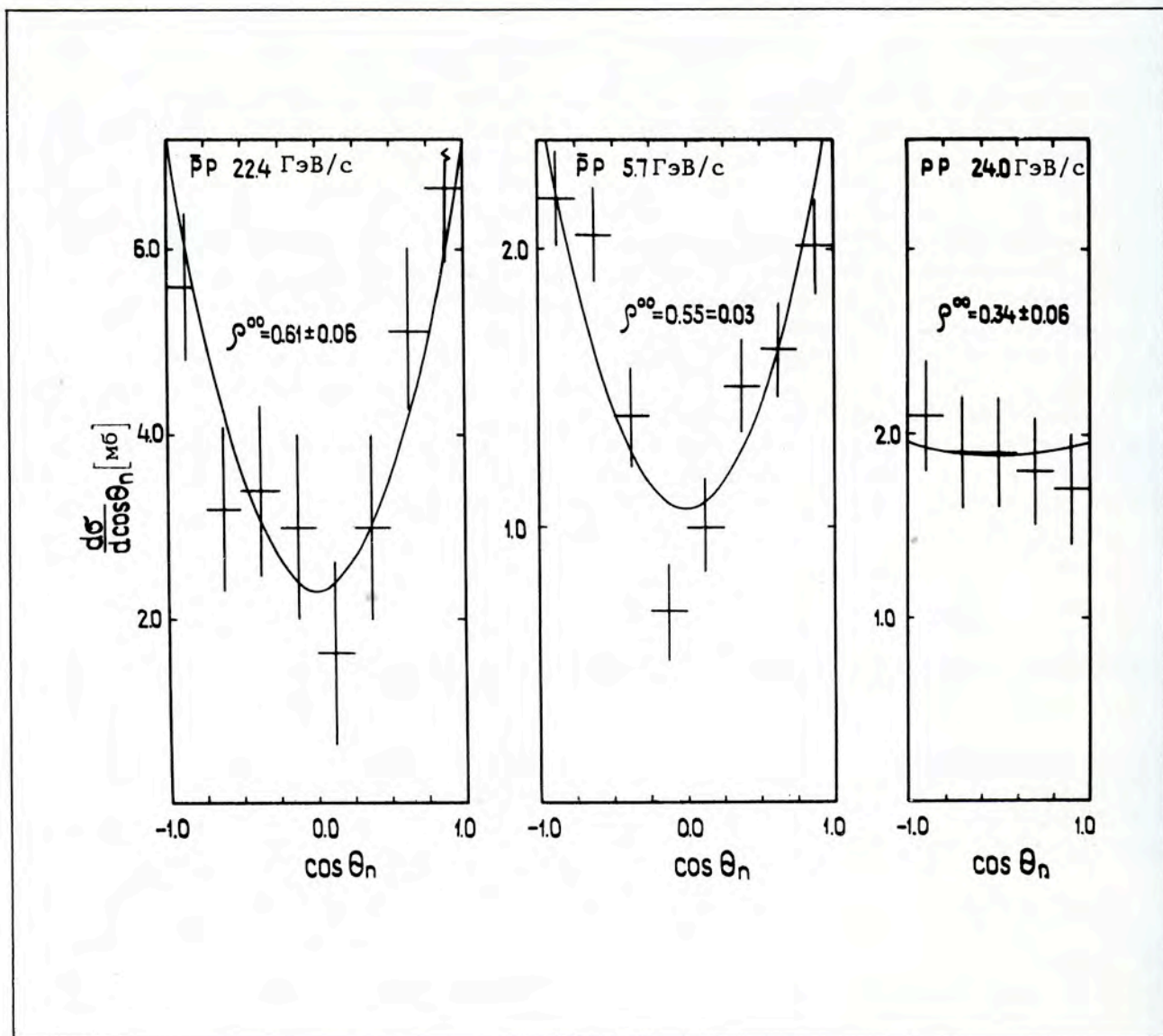


Рис. 1. Угловые распределения π^+ -мезонов от распада ρ^0 -мезонов в аннигиляционных событиях $\bar{p}p$ -взаимодействий.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

только в 15-20% событий их источником являются резонансы. С увеличением переменной x доля лидирующих пионов от распада резонансов тоже возрастает^{15/}.

Тщательный анализ результатов по интерференции вторичных отрицательных пионов показал, что для пространственно-временного описания источников рождения пионов в с.ц.и. необходимо ввести два характерных размера: $\tau_1 \approx 3$ Фм и $\tau_2 \approx 1$ Фм. Большой размер (3 Фм) интерпретируется как обусловленный интерференцией пионов от распада ρ - и f -мезонов, а меньший (1 Фм) - непосредственной генерацией пионов и, возможно, размерами области удержания кварков^{16/}.

1. На 400-ГэВ ускорителе ЦЕРНа в совместном эксперименте ОИЯИ-ЦЕРН по изучению глубоконеупругого рассеяния мюонов на углеродной мишени завершен анализ данных при энергии мюонов 120 и 200 ГэВ и частично при 280 ГэВ. Найдено, что аппроксимация зависимости величины структурной функции нуклона $F_2(x, Q^2)$ от величины переданного импульса Q^2 улучшается, если учитывать нарушение масштабной инвариантности в этих процессах. При анализе поведения моментов структурной функции $F_2(x, Q^2)$ в кинематической области $x = 0,3 - 0,7$ и величин $Q^2 = 25 - 200$ (ГэВ/с)² с помощью синглетной формулы квантовой хромодинамики (КХД) получена оценка

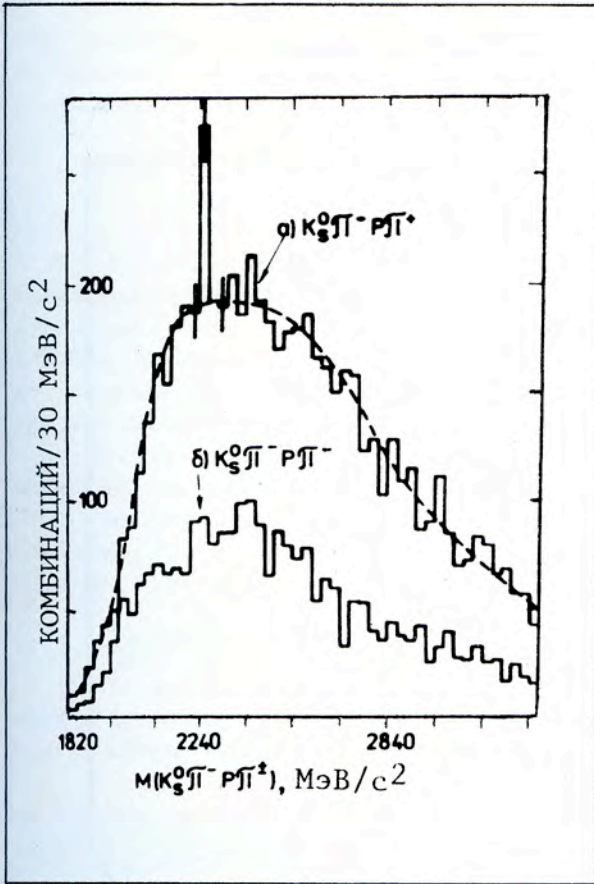


Рис. 2. Спектр эффективных масс системы частиц $K_S^0 \pi^+ \pi^-$ (а) и частиц $K_S^0 \pi^- \pi^-$ (б).

для масштабного параметра Λ , определяющего величину сильного взаимодействия в КХД: $\Lambda = 0 - 100$ МэВ (со средним значением ~ 40 МэВ). Эта величина Λ оказалась значительно меньше, чем найденная ранее при меньших передачах $Q^2/7$.

Спектр масс $(\mu^+ \mu^-)$ -системы изучен в области от 5 до 12 ГэВ и с хорошей точностью описывается физическим фоном от процесса рождения $\mu\mu$ -пар, вызванного распадом виртуального γ -кванта. Это позволяет дать верхнюю оценку образования Υ -частицы, равную $\sigma \times BR(\Upsilon \rightarrow \mu^+ \mu^-) \leq 14 \cdot 10^{-39}$ см²/нуклон^{18/}.

2. Изучено плоскостное каналирование позитронов с энергией 10 ГэВ в совместном эксперименте ОИЯИ-США на серпуховском ускорителе. Зафиксировано специфическое излучение фотонов (в ~ 50 раз превышающее уровень обычного тормозного излучения) в монокристалле кремния. Обнаружено несколько максимумов в энергетическом распределении фотонов, часть которых была ранее теоретически

предсказана и наблюдалась в других экспериментах (рис. 3). При исследовании эффекта каналирования вблизи критического угла входа падающего позитрона замечена явная периодическая структура в энергетическом распределении фотонов^{19/}.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

С помощью электронной и камерной методик на установках ДИСК-2, СЯО, СКМ-200, "Альфа", двухметровой пропановой камере и других продолжено изучение ядерных взаимодействий на синхрофазотроне. Особое внимание по-прежнему было уделено изучению особенностей кумулятивного образования мезонов и барионов.

С помощью установки ДИСК-2 накоплен большой экспериментальный материал по кумулятивному образованию K^+ и K^- -мезонов и антипротонов. Изучена A -зависимость образования частиц при больших числах кумулятивности^{10/}.

На установке "Массер-130" изучено образование кумулятивных π^0 -мезонов в π^-C -взаимодействиях при импульсе 3,8 ГэВ/с. Определен параметр $\langle \beta^0 \rangle$ - среднее число нуклонов в объеме кумуляции. Он равен $0,16 \pm 0,01$. Этот результат явился независимым подтверждением универсальности параметра $\langle \beta^0 \rangle$, который используется в кварк-партоновой структурной функции ядра^{11/}. В той же реакции для кумулятивных η -мезонов (под углом 180°) определена верхняя граница их инвариантного сечения^{12/}.

Подробно изучались характеристики кумулятивных мезонов на материалах двухметровой пропановой камеры. Имеющаяся совокупность данных свидетельствует о кварк-партоновой картине жестких соударений.

Для событий с одним кумулятивным π^- -мезоном найдено $\langle \beta^0 \rangle = 0,143 \pm 0,004$ и для событий с двумя кумулятивными π^- -мезонами (кумулятивная струя) $\langle \beta^0 \rangle = 0,130 \pm 0,005$. Совпадение этих величин указывает на мягкую адронизацию кварков. Обнаружен новый существенный признак выделения кумулятивной области по величине P_{\perp}^2 . Для некумулятивной области при $\beta^0 = 0 - 0,5$ $\langle P_{\perp}^2 \rangle = 0,034 \pm 0,002$ (ГэВ/с)² для кумулятивной при $\beta^0 = 0,5 - 2,0$ $\langle P_{\perp}^2 \rangle = 0,18 \pm 0,02$ (ГэВ/с)².

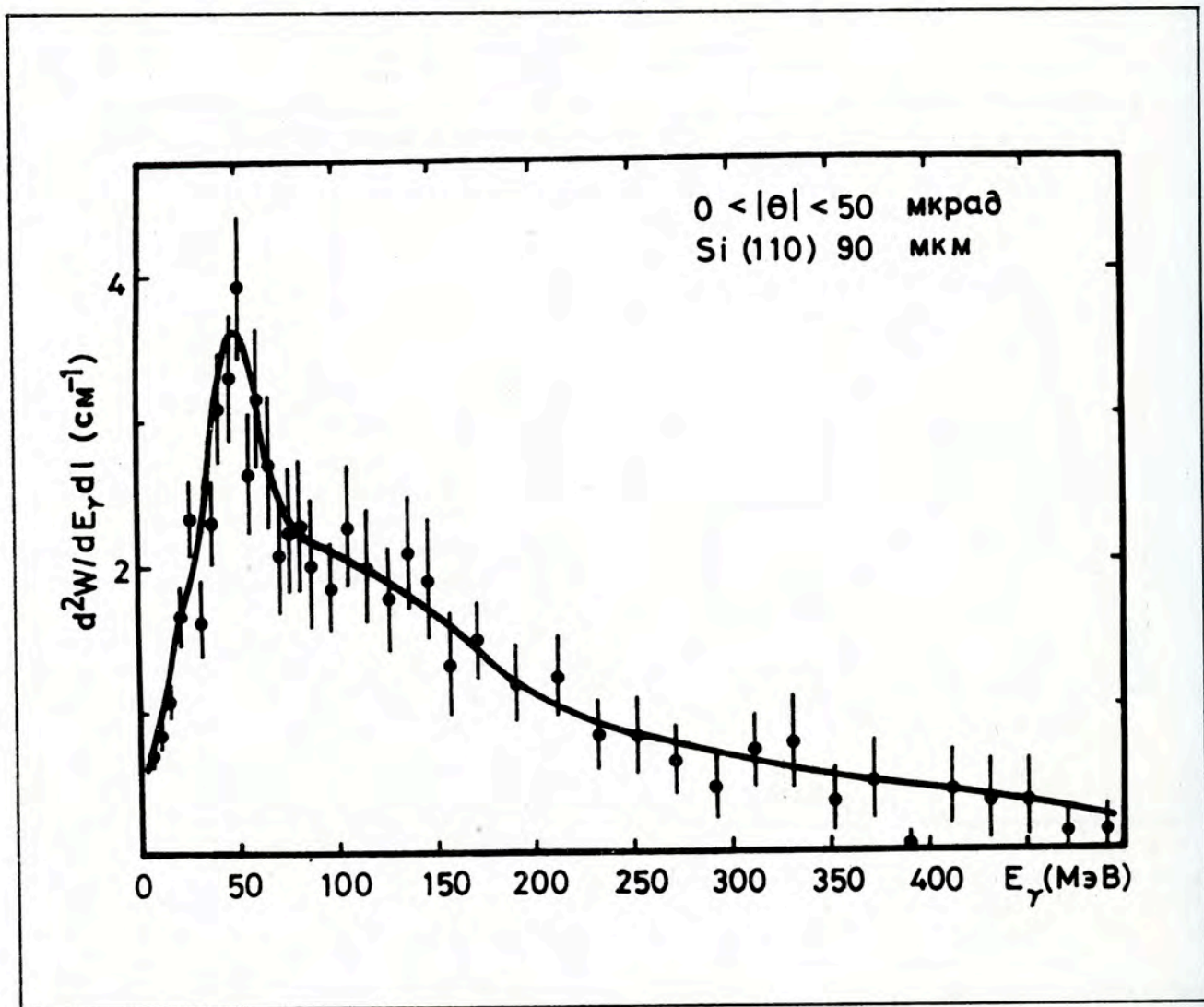


Рис. 3. Энергетическое распределение фотонов, испущенных при каналировании позитронов с энергией 10 ГэВ.

Смена режима образования частиц (при $\beta^0 \approx 0,5$) указывает, что по величинам β^0 и P_1^2 нет полной факторизации зависимости сечений^{/13/}. Для (C+Ta) - взаимодействий при импульсе 4,2 ГэВ/с/нуклон наблюдалось образование кумулятивных π^- -мезонов в области фрагментации ядра-мишени. Для этих событий обнаружены корреляции не только в системе ($2\pi^-$), но и в системах ($3\pi^-$) и ($4\pi^-$), не сводящиеся к парным и тройным корреляциям π^- -мезонов^{/14/}.

Для π^- -C- взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с определены сечения рождения резонансов ρ^0 -мезона (22 ± 5 мб), ω -мезона (20 ± 6 мб) и f -мезона (7 ± 3 мб). Анализ спектров эффективных масс ($p\pi^+$ -пар с помощью фурье-алгоритма выявил

образование изобар $\Delta^{++}(1232)$, $\Delta^0(1232)$ и $\Delta^{++}(1650)$. Было показано, что форма распределения по эффективной массе изобар не зависит от присутствия кумулятивного мезона в комбинациях ($p\pi^+$)^{/16/}. Доля многонуклонных столкновений в π^- -C- взаимодействиях определена в 18%. Оценена вероятность взаимодействия обоих кварков налетающего пиона с ядром углерода: в одноклонных взаимодействиях $\sim 20\%$ и в многонуклонных $\sim 60\%$ ^{/15/}. Для столкновения ядра углерода с пропаном (C_3H_8) при импульсе 4,2 ГэВ/с/нуклон не наблюдалось заметного увеличения сечения взаимодействия спектаторных легких фрагментов на расстоянии ~ 10 см от источника фрагментов^{/17/}. Найдено, что релятивистские протоны (с импульсом $> 0,7$ ГэВ/с) образуются в результате внутриядерных πN - взаимодействий и являются индикаторами числа этих соударений. В многонуклонных взаимодействиях

ях доля релятивистских протонов составляет $(18 \pm 4)\%$ от числа всех положительно заряженных частиц и их примерно в 2 раза больше, чем в π^-p -взаимодействиях^{/18/}.

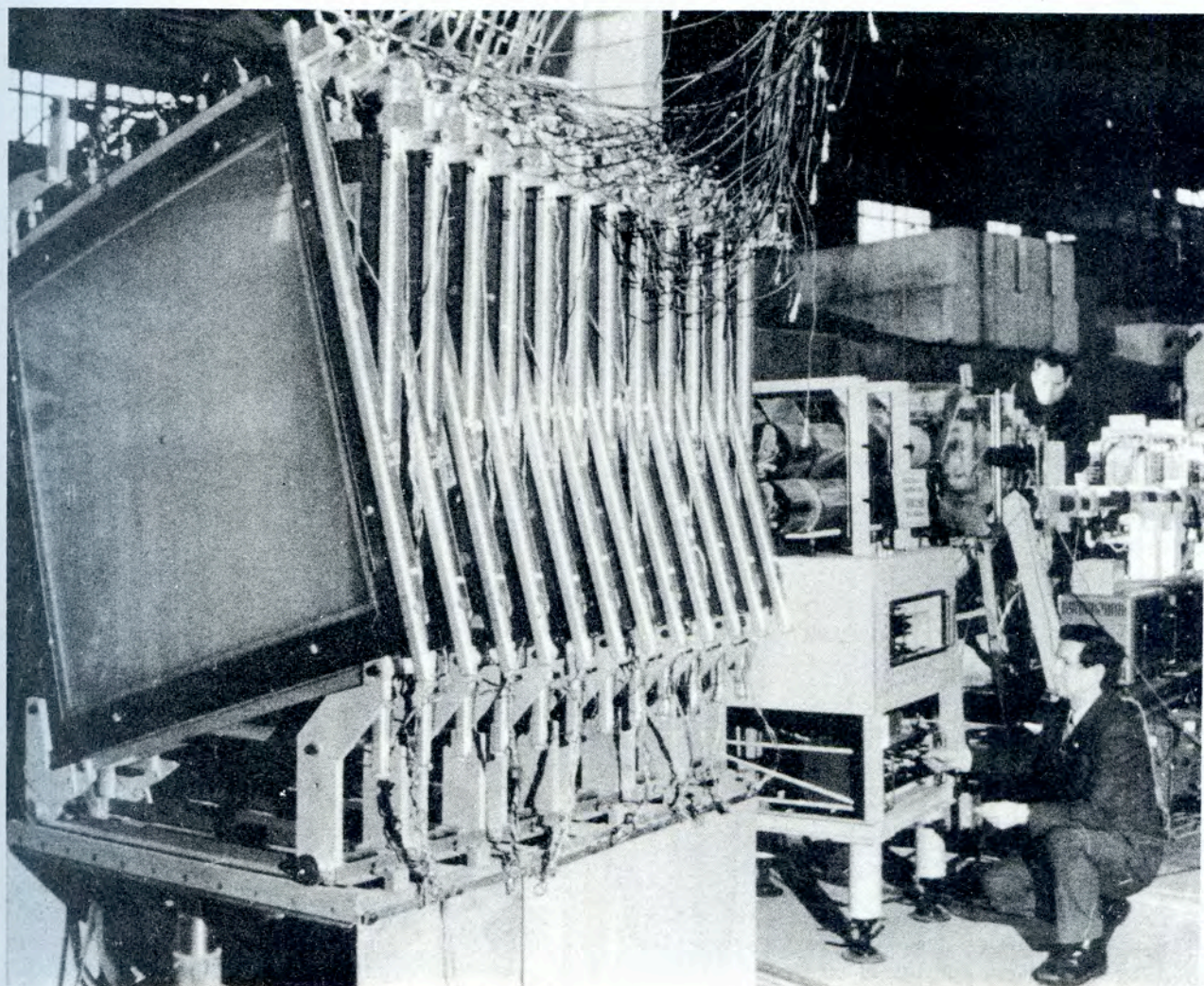
Изучено образование изотопов ^3He , ^4He , ^6He , ^6Li , ^7Li при взаимодействии протонов с энергией 6,6 ГэВ с ядрами Be, C, Sn, Cu и Au на синхрофазотроне. Из сравнения структурных функций в pA -взаимодействиях в интервале 6,6 - 400 ГэВ следует их постоянство и такое их поведение соответствует гипотезе ядерной масштабной инвариантности. Для этих легких фрагментов обнаружена зависимость их образования от величины P_{\perp} у фрагмента и необычайно сильная зависимость от величины массы ядра-мишени (для изотопа лития показатель степени $n=3$ для зависимости $d\sigma/d\omega \sim A^n$)^{/19/}.

На установке "Альфа" определена величина инвариантного сечения реакции $d+C \rightarrow p+X$ при импульсе 4,5 ГэВ/с/нуклон.

Показано, что для лучшего описания высокоимпульсной части спектра протонов к волновой функции дейтрона (в форме Рейда или Мак-Ги) надо в размере $\sim 1\%$ добавить шестикварковую компоненту дейтрона. При этом из относительной фазы состояний дейтрона^{/20/} (np) и ($6q$) найден эффект их деструктивной интерференции.

Исследование случаев полного разрушения ядер свинца в фотоэмulsion ядрами углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с/нуклон показало, что вероятность разрушения ядра растет с массой ядра-снаряда. Для взаимодействия $C+p$ эта вероятность достигает $\sim 25\%$, что сопровождается большим числом вылетевших быстрых протонов (> 40) из звезд^{/21/}.

В новом экспериментальном павильоне лаборатории - корпусе 205 на четырех физических установках начаты работы на пучках частиц синхрофазотрона. На одном из каналов пучка - установка "Массер-130".



РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. В установке "Людмила" (двухметровая жидководородная пузырьковая камера) смонтирована мишень с чистым жидким дейтерием. Получен режим синхронной чувствительности в мишени и жидководородном объеме камеры "Людмила". Зарегистрированы первые несколько тысяч снимков с $\bar{d}d$ -взаимодействиями^{/22/}.

2. Исследованы и рекомендованы в качестве термодатчиков для широкого диапазона температур от 4,2 до 450 К композиционные резисторы ТВО - 0,125^{/23/}.

3. Разработана дрейфовая камера со встроенным конвертором для прецизионного измерения углов вылета γ -квантов при каналировании электронов и позитронов. Точность восстановления координат около 70 мкм, что соответствует угловому разрешению для фотонов около $4 \cdot 10^{-6}$ рад^{/24/}.

4. В лаборатории продолжена работа по автоматизации экспериментальных установок физики высоких энергий, стендов для проведения исследований по ускорительной технике, криогенных испытаний. В области вычислительной техники создан драйвер ветви в стандарте КАМАК для ЭВМ типа LSI -11, "Электроника-60" и МЕРА-60. Драйвер обеспечивает работу по каналу прямого доступа в ЭВМ и по программному каналу^{/25/}. Разработан блок управления работой драйвера от ЭВМ ЕС-1010 для передачи драйверу группы команд КАМАК, связи с ЭВМ, прерывания данных от физической аппаратуры и др.^{/26/}. Разработан и используется микропрограммный контроллер канала для организации эффективной работы ЭВМ ЕС-1040 на линии с измерительно-регистрирующей аппаратурой. Контроллер с помощью широкого набора команд абонента может за рабочий цикл ускорителя обслуживать физическую установку без выхода в основную программу процессора ЭВМ^{/27/}. Для расширения оперативной памяти микроЭВМ "Мишка" с 64 Кбайт до нескольких Мбайт разработаны устройства-интерфейсы, через которые подключаются стандартные магнитофоны типа ИЗОТ-5012

и ИЗОТ-5003^{/28/}. Разработана двухпроцессорная система автоматизации оперативного измерения показателя "n" неоднородности магнитного поля синхрофазотрона. Определение "n" проводится до 100 раз за один цикл нарастания магнитного поля ускорителя^{/29/}. Создана аппаратура для контроля качества цифровой линии связи удаленной ЭВМ с физическими экспериментальными установками^{/30/}.

Для автоматизации процессов измерения параметров сверхпроводящих магнитов создан программатор источника тока для питания исследуемых образцов^{/31/}. Разработан вспомогательный язык для описания печатных плат с применением 8-разрядной микропроцессорной системы "Мишка", связанной с полуавтоматом ADMAP^{/32/}.

Для ряда физических установок проводились специфические разработки. Создан блок интерфейса связи установки БИС-2 с микропроцессорной системой, используемой для обработки и представления экспериментальных данных, работает аппаратура связи с ЕС-1040 на базе микропрограммного контроллера канала^{/33/}. В эксперименте "Кристалл" использован разработанный блок контроллера и блок цифро-аналогового преобразователя для вывода графической информации на дисплей. Устройство позволяет запоминать и восстанавливать изображения в нескольких видах^{/34/}. В состав установки "Альфа" включена микропроцессорная система МСА-КАМАК, с помощью которой ведется наладка дрейфовых камер, обмен информацией с ЭВМ ЕС-1010 и т.д. Для сокращения времени настройки установки "Альфа" осуществлена связь ЭВМ, обслуживающей медленный вывод пучка, с ЭВМ этой установки с помощью последовательных интерфейсов^{/35/}.

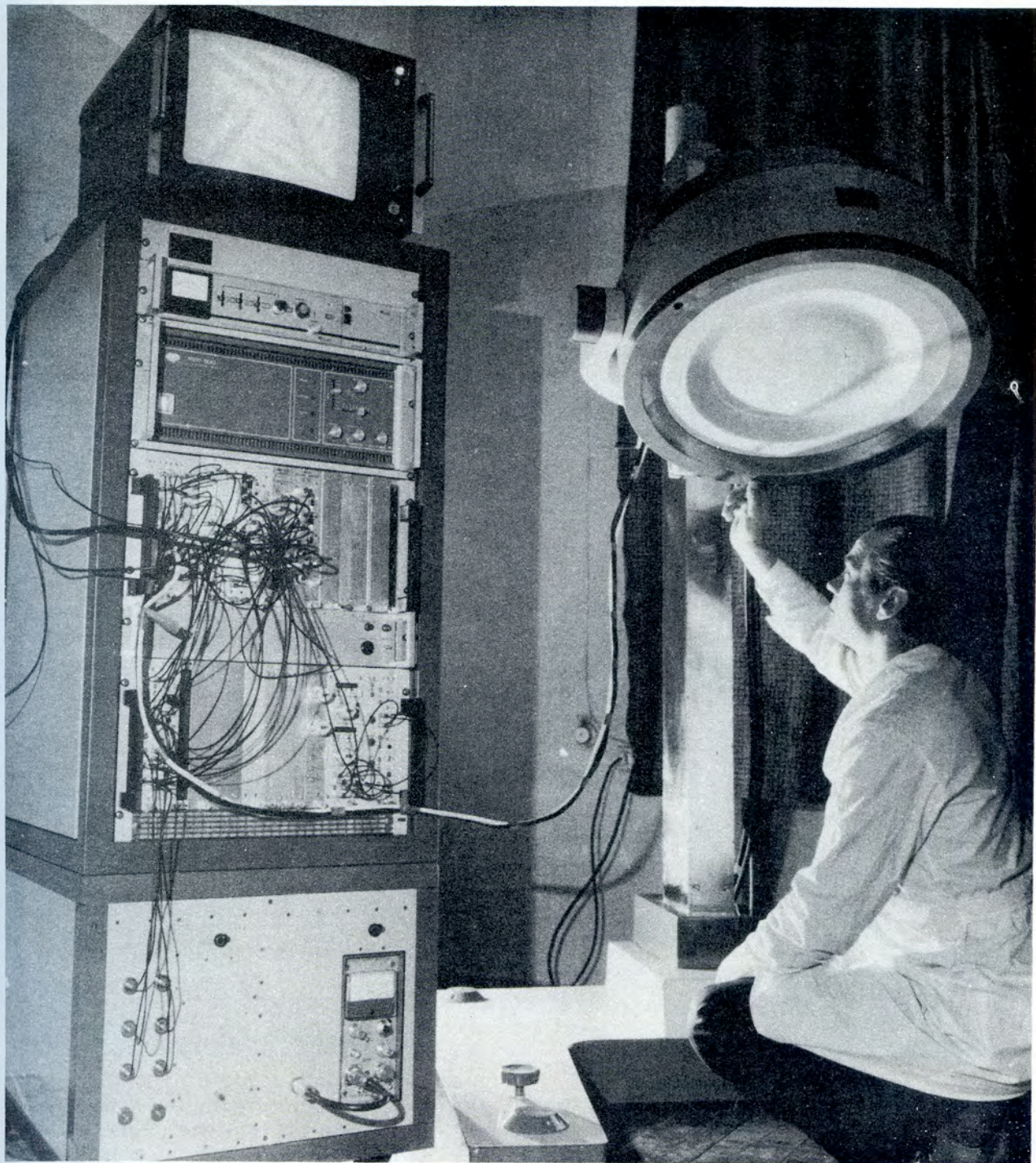
Разработаны и включены в состав математического обеспечения ЭВМ ЕС-1040 программы проверки микропрограммного контроллера канала с целью выявления аппаратурных ошибок и повышения эффективности работы экспериментальных установок на линии с ЭВМ^{/27/}.

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ РАБОТЫ

Создан детектор гамма-излучения ГKM-1 для радиоизотопной диагностики в медицине с высоким разрешением (до 2 мм). Эффективность регистрации гамма-излучения в диапазоне 50-100 кэВ лучше 50%. В состав аппаратуры входит микропроцессор, информация выводится на цветной дисплей. Параметры детектора су-

щественно лучше, чем параметры применяемой в ядерной медицине сцинтилляционной гамма-камеры^{/36/}.

Многопроволочная гамма-камера ГKM-1, предназначенная для радиоизотопной диагностики в медицине.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИНХРОФАЗОТРОНА

1. Проведен успешный запуск источника поляризованных дейтронов на синхрофазотроне. Пучок поляризованных дейтронов с интенсивностью 10^8 дейтронов за цикл ускорен до кинетической энергии 4,2 ГэВ на нуклон при степени поляризации около 50%. На двух физических установках начаты эксперименты с релятивистскими поляризованными дейтронами.

2. Проведены работы по улучшению режимов ускорения частиц. Интенсивность ускоренных ядер гелия увеличена более чем в 3 раза и достигла уровня $5,5 \cdot 10^{10}$ ядер за цикл. Улучшены параметры электронно-лучевого ионного источника "Крион" /37/. На основе использования волоконно-оптической линии связи создана телеметрическая система для контроля основных параметров источника "Крион" во время его эксплуатации на форинжекторе линейного ускорителя /38/.

Введена в эксплуатацию аппаратура для выработки сигналов обратной связи на участке медленного вывода пучка с подавлением помех в 50-100 раз /39/.

При помощи многоканальной автоматизированной системы на линии с ЭВМ ЕС-1010 проведены тщательные измерения показателя "n" неоднородности магнитного поля ускорителя с точностью измерения 1,5%. Определены величины "n", величины азимутальных гармоник и их начальный сдвиг, величины азимутальных гармоник первых трех производных и их начальный фазовый сдвиг. Даны рекомендации по уменьшению потерь интенсивности в процессе ускорения /40/.

Для получения бесструктурного медленного вывода частиц из ускорителя на всех четырех квадрантах электромагнита смонтированы активные фильтры /41/.

3. В новом экспериментальном павильоне на четырех каналах проводятся эксперименты с пучком, на остальных

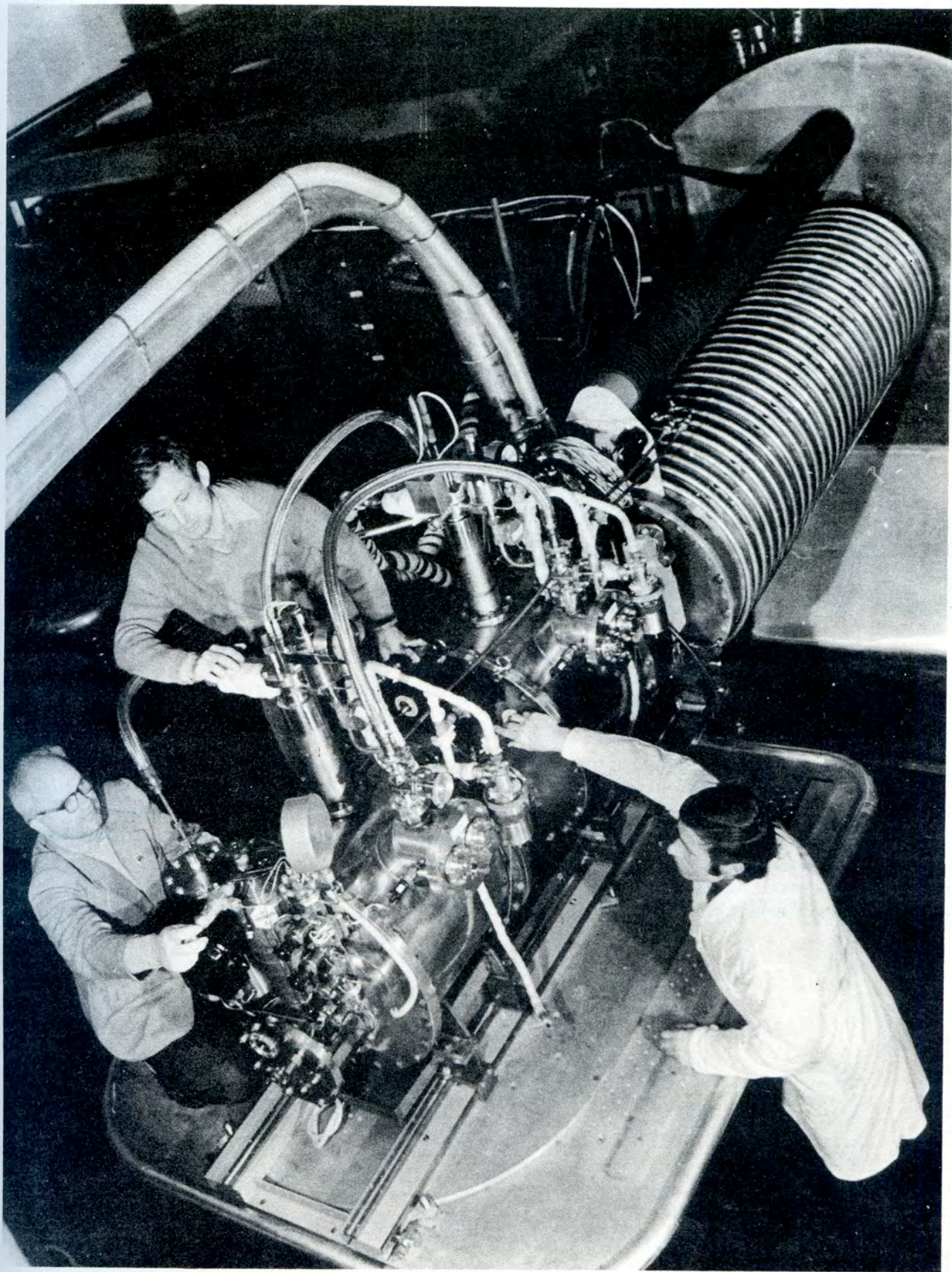
каналах проводятся юстировочные работы. Введена в действие автоматизированная система на линии с ЭВМ для контроля и управления работой магнитных элементов каналов частиц /42/. Использование нового павильона повысило эффективность работы синхрофазотрона.

РАБОТЫ ПО ПРОЕКТАМ НУКЛОТРОНА И УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

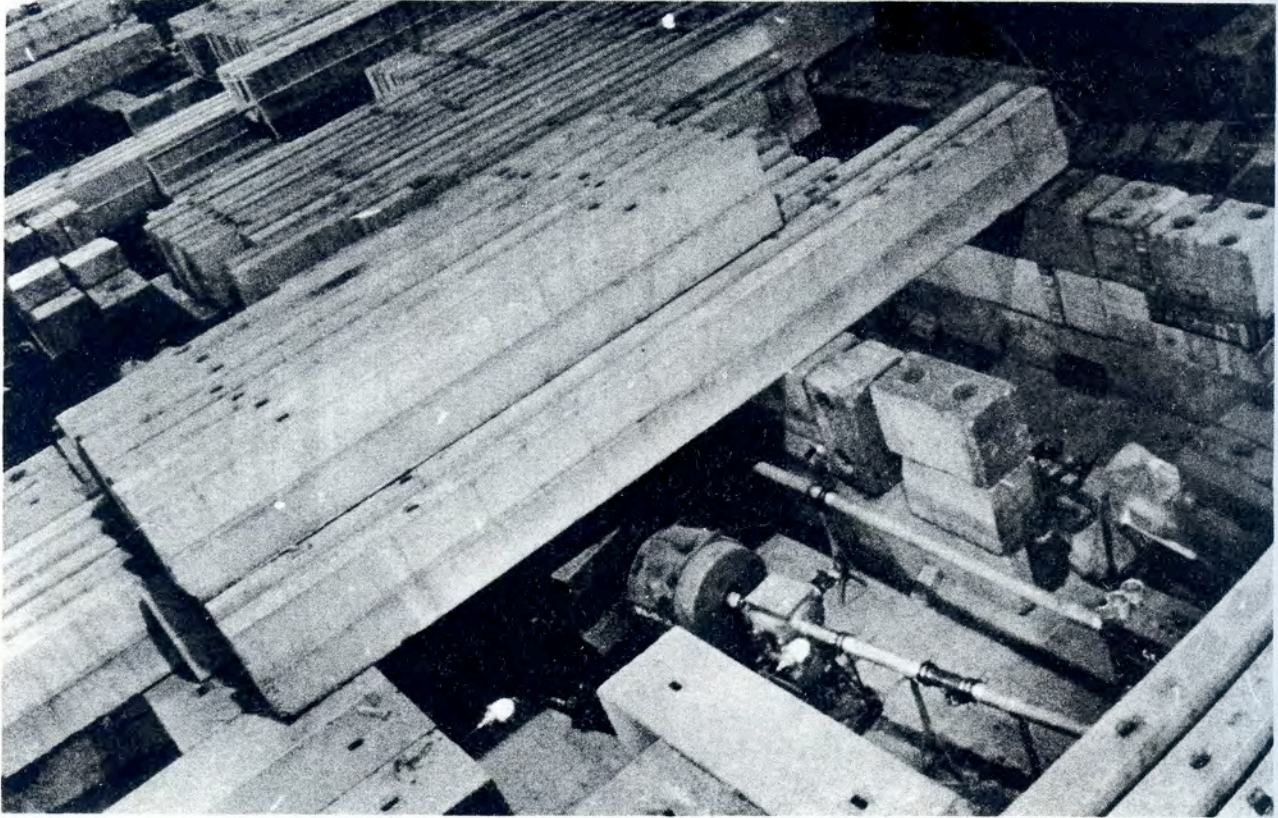
1. Проведены вакуумные испытания трех периодов магнитной системы, создаваемой в рамках проекта нуклотрона. Результаты вакуумных испытаний, проведенные при температуре жидкого гелия, показали соответствие полученных данных расчетным величинам (давление в вакуумной камере уменьшилось до величины менее 10 пПа /43/). Проведено численное моделирование двумерного и трехмерного распределений магнитного поля в сверхпроводящем дипольном магните типа "оконная рама" /44,45/.

В соответствии с программой нуклотрона создан полномасштабный образец дипольного магнита длиной 1,5 м с обмоткой из трубчатого сверхпроводника на максимальное поле 2 Т, что явилось важным шагом на пути создания бескристатных по гелию сверхпроводящих магнитов /46/.

2. Проведены расчеты и экспериментальные исследования потерь в составных сверхпроводниках под воздействием импульса поперечного магнитного поля в адиабатических условиях. Обнаружено значительное различие потерь в адиабатических и изотермических условиях /47/. Впервые прямо измерено поперечное сопротивление составного сверхпроводника, которое сильно зависит от величины внешнего магнитного поля /48/. Установлена связь между низкотемпературным поведением теплопроводности, электросопротивления и критическими параметрами сверхпроводящих твердых растворов ниобий-титан в интервале от 4,2 до 30 К /49/.



Наиболее важным результатом работ лаборатории в области ускорительной техники явился успешный запуск на синхрофазотроне уникального источника поляризованных дейтронов "Полярис".



В новом экспериментальном зале синхрофазотрона на четырех каналах проводятся физические эксперименты, на остальных идут юстировочные работы.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИНХРОФАЗОТРОНА

Ускоритель работал:

а) на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 3309 ча-

сов со средней интенсивностью $3 \cdot 10^{11}$ ускоренных протонов, $2 \cdot 10^{11}$ ускоренных дейтронов, $1,3 \cdot 10^{10}$ ускоренных ядер гелия, $1 \cdot 10^6$ ядер углерода за один цикл ускорения;

б) на совершенствование систем ускорителя - 466 часов.

ЛИТЕРАТУРА *

1. Baturynya V.V. et al. In: Proc. of Intern. Conf. on High Energy Physics, Lisboa, 1981.
2. Алеев А.Н. и др. ОИЯИ, P1-81-693, Дубна, 1981.
3. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P1-81-542, Дубна, 1981.
4. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-81-471, Дубна, 1981.
5. Беккер и др. ОИЯИ, P1-81-429, Дубна, 1981.
6. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-81-190, Дубна, 1981.
7. Fadeev N.G. et al. JINR, E1-81-585, Dubna, 1981.
8. Bollini D. et al. CERN/EP/81-158, Geneva, 1981.
9. Filatova N.A. et al. FERMILAB-Pub-81-34-EXP, Batavia, 1981; JINR, D1-81-592, Dubna, 1981.
10. Гиордэнеску Н., Ставинский В.С. ОИЯИ, P2-81-369, Дубна, 1981.
11. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИЯИ, P1-81-125, Дубна, 1981.
12. Архипов В.В. и др. ОИЯИ, 1-81-504, Дубна, 1981.
13. Аношин А.И. и др. ОИЯИ, P1-81-678, Дубна, 1981.
14. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-81-176, Дубна, 1981.
15. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P1-81-59, Дубна, 1981.
16. Аношин А.И. и др. ОИЯИ, P1-81-680, Дубна, 1981.
17. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-81-79, Дубна, 1981.
18. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P1-81-676, Дубна, 1981.
19. Богатин В.И. и др. ОИЯИ, 1-81-106, Дубна, 1981.
20. Ableev V.G. et al. Contributed paper A-70 in Proc. of Intern. Conf. on High Energy Physics and Nuclear Structure, Gif-sur-Yvette, 1981.
21. Tolstov K.D. Zeitschrift fur Physik, 1981, 301, p. 339.
22. Пожарский А.В., Устенко Е.П. ОИЯИ, 13-80-808, Дубна, 1980.
23. Дацков В.И. ПТЭ, 1981, №4, с. 253.
24. Бавижев М.Д. и др. ОИЯИ, P13-81-644, Дубна, 1981.
25. Смирнов В.А., Хоанг Као Зунг. ОИЯИ, 10-81-528, Дубна, 1981.
26. Гузик З., Форыцки А. ОИЯИ, 13-81-451, Дубна, 1981.
27. Садовников В.Н. ОИЯИ, 10-81-397, Дубна, 1981.
28. Реттельбуш Л., Ким И Ен. ОИЯИ, 10-81-213, Дубна, 1981.
29. Черных Е.В. ОИЯИ, 10-81-473, Дубна, 1981.
30. Као Дак Хьен, Крячко А.П. ОИЯИ, P13-81-260, Дубна, 1981.
31. Хоанг Као Зунг, Яншак Л. ОИЯИ, P13-81-101, Дубна, 1981.
32. Басиладзе С.Г., Буй Зоанг Чонг. ОИЯИ, 10-80-791, Дубна, 1980.
33. Ефимов Л.Г. ОИЯИ, 10-81-571, Дубна, 1981.
34. Гузик З., Форыцки А. ОИЯИ, 1-81-29, Дубна, 1981.
35. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 10-81-261, Дубна, 1981.
36. Anisimov Yu.S. et al. NIM, 1981, No. 179, p. 503.
37. Вадеев В.П. ОИЯИ, P9-81-660, Дубна, 1981.
38. Романов Ю.И. ОИЯИ, 10-81-295, Дубна, 1981.
39. Сиколенко В.Ф., Тищенко В.Л. ОИЯИ, 9-81-299, Дубна, 1981.
40. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 9-81-382, Дубна, 1981.
41. Глушенко В.Г. и др. ОИЯИ, 9-81-684, Дубна, 1981.
42. Даматов Я.М. и др. ОИЯИ, 10-81-257, Дубна, 1981.
43. Алфеев В.С. и др. ОИЯИ, P9-81-339, Дубна, 1981.
44. Борисовская З.В. и др. ОИЯИ, P9-81-63, Дубна, 1981.
45. Жидков Е.П. и др. ОИЯИ, P9-81-12, Дубна, 1981.
46. Агапов Н.Н. и др. ПТЭ, 1981, №2, с. 196.
47. Кабат Д. и др. ОИЯИ, 8-81-122, Дубна, 1981.
48. Дробин В.М. и др. ОИЯИ, P8-81-490, Дубна, 1981.
49. Бычков Ю.Ф. и др. ОИЯИ, P8-81-491, Дубна, 1981.

* Цитируются избранные работы.