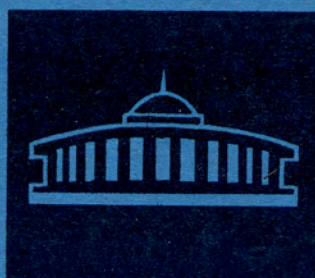


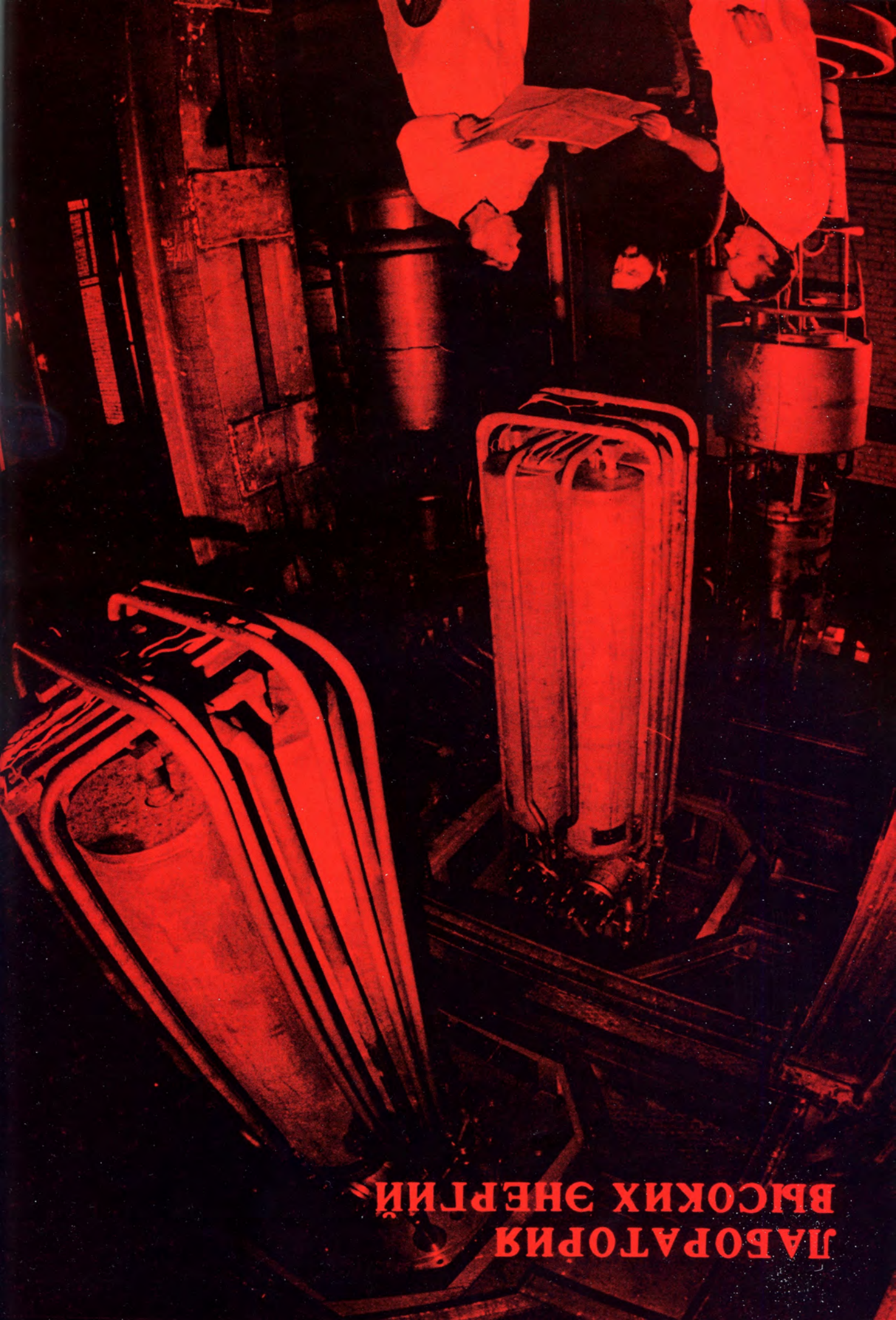
ДУБНА·1980

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

1980·DUBNA



ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Ученые Лаборатории высоких энергий провели изучение множественных процессов образования обычных и странных частиц, поиск новых очарованных частиц и электромагнитных явлений при высоких энергиях. Большой объем исследований проведен в области релятивистской ядерной физики в широком диапазоне энергий налетающих ядер (от водорода до кислорода) и большом наборе ядер-мишеней. С помощью физических установок набрана информация на пучках синхрофазотрона ОИЯИ, серпуховского ускорителя, на 400-ГэВ ускорителе в ЦЕРНе. Проведены

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

Достигнуты успехи в создании системы каналов частиц в новом экспериментальном павильоне, в совершенствовании синхрофазотрона, в разработках проектов УКТИ и УНК, в исследовании сверхпроводящих магнитов с железом по проекту нуклотрона.

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 пропановой камеры, облученной π^- -мезонами с импульсом 40 ГэВ/с на серпуховском ускорителе, проанализирован материал по исследованию образования мезонных резонансов при высоких энергиях. На основе анализа 15 000 π^-p -, 5 000 π^-n - и 11 000 π^-C -взаимодействий определены сечения образования ρ^0 -, ω^0 - и f^0 -резонансов:

π^-p , мб	π^-n , мб	π^-C , мб
ρ^0 8,1 \pm 0,7	6,5 \pm 1,0	70,5 \pm 7,5
ω^0 7,3 \pm 0,8	6,1 \pm 1,2	75,0 \pm 9,0
f^0 1,3 \pm 0,5	0,9 \pm 0,5	7,5 \pm 7,5

Найдено также, что сечение образования резонансов растет с увеличением множественности в событиях. Оценки показывают, что для π^-p - и π^-n -взаимодействий 50% всех π -мезонов, а для π^-C - около 30% π -мезонов образуются от распадов ρ -, ω - и f -мезонов. Основной вклад в сечение рождения ρ^0 -мезона дает центральная область взаимодействия.

На основе анализа 8642 π^-C -взаимодействий с помощью модифицированного фурье-алгоритма выявлено образование изобар с распадом на π^+p - и π^-p -системы. Сечение их образования оказалось равным:

$$\sigma(\Delta_{1232}^0) = 31 \pm 2 \text{ мб},$$

$$\sigma(\Delta_{1232}^{++}) = 11 \pm 1 \text{ мб},$$

$$\sigma(\Delta_{1650}^{++}) = 5 \pm 1 \text{ мб}.$$

Образованным изобарам в реакциях не передается большой импульс, и пионы от их распада не входят в состав лидирующих частиц. Сравнение с π^-p -взаимодействиями при той же энергии показало, что рождение изобар с массой меньше 2 ГэВ и распадом на $p\pi$ -систему в π^-C -взаимодействиях происходит с большой вероятностью.

Изучены азимутальные корреляции пар $\pi^+\pi^-$ -мезонов для центральной и фрагментационной областей в зависимости от числа внутриядерных столкновений. Для пар $\pi^+\pi^-$ -мезонов с большими поперечными импульсами замечено увеличение азимутальных корреляций наряду с корреляциями по продольным и поперечным импульсам.

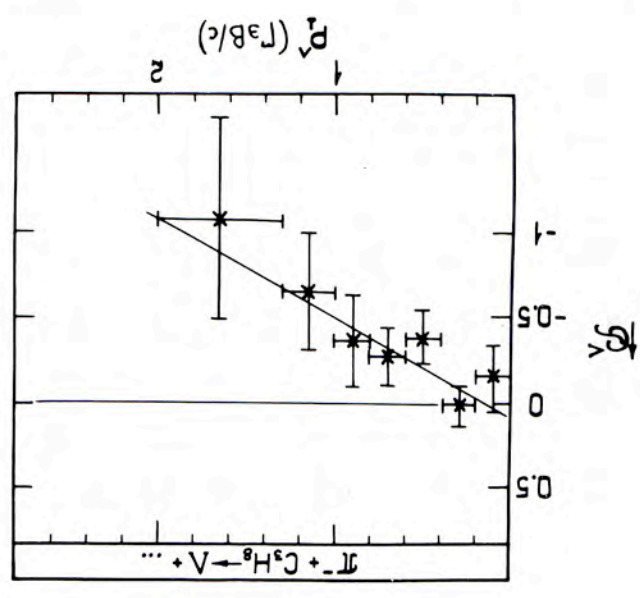
Размеры области излучения пионов в пион-углеродных взаимодействиях ока-

Резо-	М, МэВ		Г, МэВ		СТ. ОТКЛ.		Сечения, Мкб		I	Модель
	М, МэВ	Г, МэВ	СТ. ОТКЛ.	Сечения, Мкб	М	Г, МэВ	СТ. ОТКЛ.	Сечения, Мкб		
λp	2256 \pm 0,4	16 \pm 1	7,4 \pm 1,3	85 \pm 20	2241	2353	1/2	2	2	s_{13}^{p2}
	2358 \pm 1	77 \pm 7	5,8 \pm 1,2	22 \pm 7	2353	2353	1/2	2		
$\lambda p \pi^+$	2495 \pm 9	205 \pm 6	13,0 \pm 2	70 \pm 26	2500	3/2	0,1,2	3/2	2	s_{14}^{p1}
	1705 \pm 1	18 \pm 0,5	5,3 \pm 1,6	19 \pm 6	1710	3/2	3/2			
$\lambda \pi^+ \pi^+$	2072 \pm 4	173 \pm 12	10,3 \pm 1,5	88 \pm 27	2120	2	1/2	3/2	2	s_{13}^{p1}
	2604 \pm 5	86 \pm 21	5,2 \pm 1,4	32 \pm 9	2615	3/2	3/2			

Таблица 1

2. При облучении двухметрового жидкого водородной камерой "Людмила" пучком антинейтронов с импульсом 12 ГэВ/с на серпуховском ускорителе выделены пр-события (импульс π^- 6,0 ГэВ/с). Определена средняя множественность заряженных частиц для них, равная $\langle n \rangle = 3,32 \pm 0,13$, и отношение средней множественности к дисперсии $\langle n \rangle / D = 1,86 \pm 0,16$. Полученные результаты близки к аналогичным данным для пр-, \bar{p} - и \bar{p} -взаимодействий при близкой энергии. На основе анализа 42000 событий \bar{p} -взаимодействий при импульсе 22,4 ГэВ/с исследованы характеристики образования отдельных частиц. Выяснено, что гипотеза масштабной инвариантности выполняется для продольных импульсов γ -квантов, π^0 -мезонов, K^0 -мезонов и нарушается для Λ -гиперонов. Изменение поведения ассоциативной множественности в реакции $\bar{p} + X$ при $M(X) \geq 4,4$ ГэВ связано с процессом образования кластеров. На основе CP-симметрии проведено статистическое разделение спектров протонов и π^+ -мезонов, и изучены структуры-ные функции и инвариантные сечения зависимости их образования от продольной скорости и поперечного импульса. Кон-фигурации импульсов частиц в событиях соответствуют картине многоструйной структуры адронных взаимодействий. Многие данные проанализированы в рамках кварк-партоной модели, и в целом имеется удовлетворительное согласие с предсказаниями с полученными экспериментальными данными. При изучении эффекта интерференции тождественных π^- мезонов при числе заряженных частиц

Рис. 1. Зависимость поляризации Λ -гиперона от поперечного импульса в реакции $\pi^- + C_2H_6 \rightarrow \Lambda + \dots$ при 40 ГэВ/с.



Это различие объясняется вкладом многонуклонных взаимодействий пиона в ядре. Заметной оказалась поляризация Λ -гиперонов, образованных во взаимодействиях с пионами и ядрами углерода. Обнаружен линейный рост поляризации относительно нормали к плоскости рождения от поперечной компоненты импульса Λ -гиперона (рис. 1).

$r(\pi^-) = 3,4 \pm 0,5$ ф.м.

той же энергии пучковой частицы:

зались больше, чем в пион-нуклонных при

больше шести обнаружена сильная зависимость этого эффекта от скорости π -мезонных пар.

3. Уточнены полученные ранее данные по дибарионным страным системам частиц на снимках с пропановой камеры,

облученной пучком нейтронов со средним импульсом 7,0 ГэВ/с на синхрофазотроне. Полученные результаты по массам резонансов хорошо согласуются с предсказаниями модели кварковых "мешков".

Результаты приведены в табл. 1.

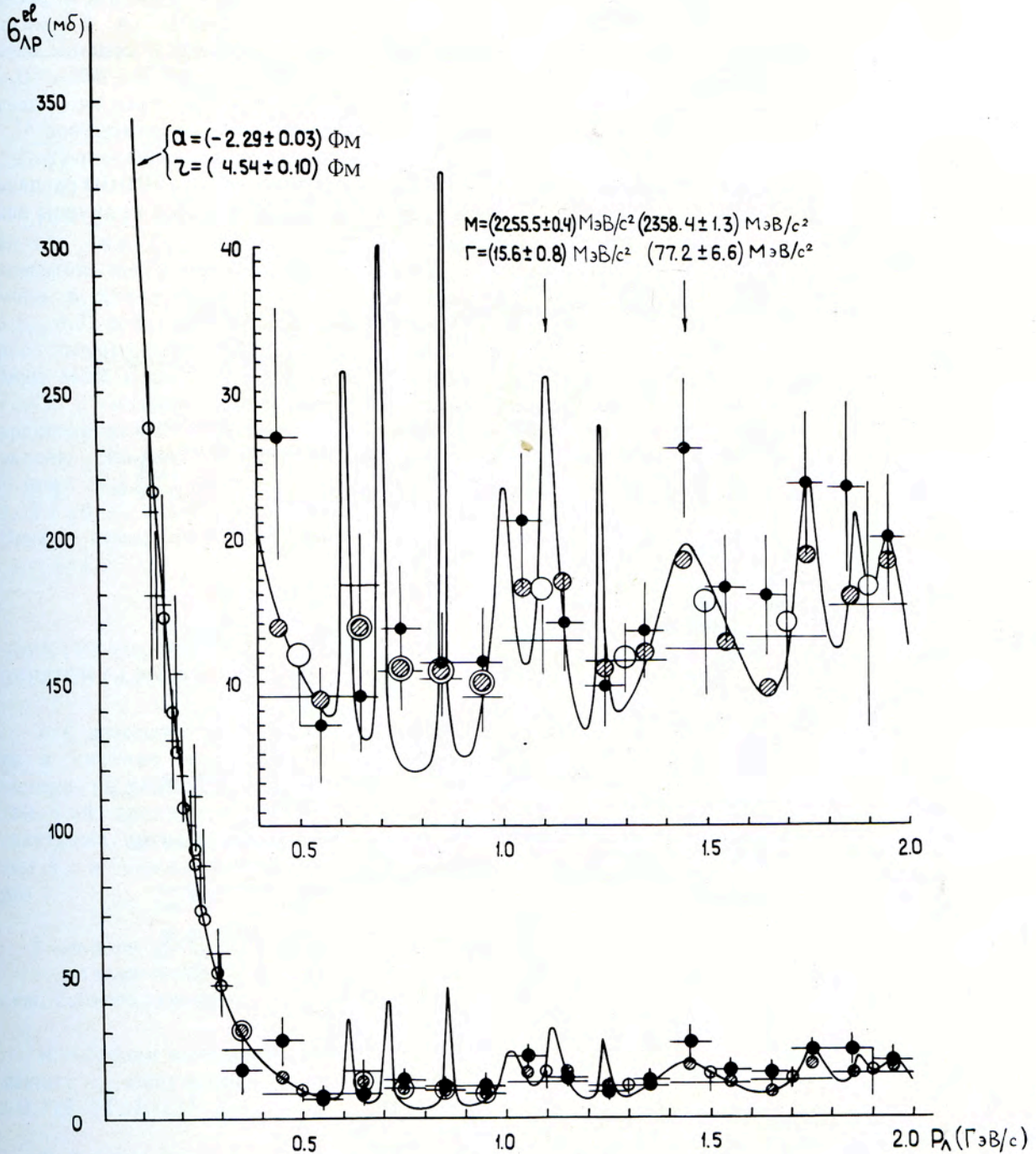


Рис. 2. Энергетическая зависимость сечения упругого рассеяния Λp .

+ - эксперимент А (Кадик и др., Сечи-Зори и др., Александр и др.).
 ◆ - эксперимент В (Гауптман и др.).
 --- $\sigma_{\Lambda p}^{el}(P_{\Lambda})$ сечение рассеяния Λp , вычисленное с помощью подобранных параметров.

○ - $\langle \sigma_{\Lambda p}^{el}(P_{\Lambda}) \rangle_A$ сечение рассеяния Λp , усредненное по импульсным интервалам P_{Λ} в эксперименте А.
 ⊗ - $\langle \sigma_{\Lambda p}^{el}(P_{\Lambda}) \rangle_B$ сечение рассеяния Λp , усредненное по импульсным интервалам P_{Λ} в эксперименте В.

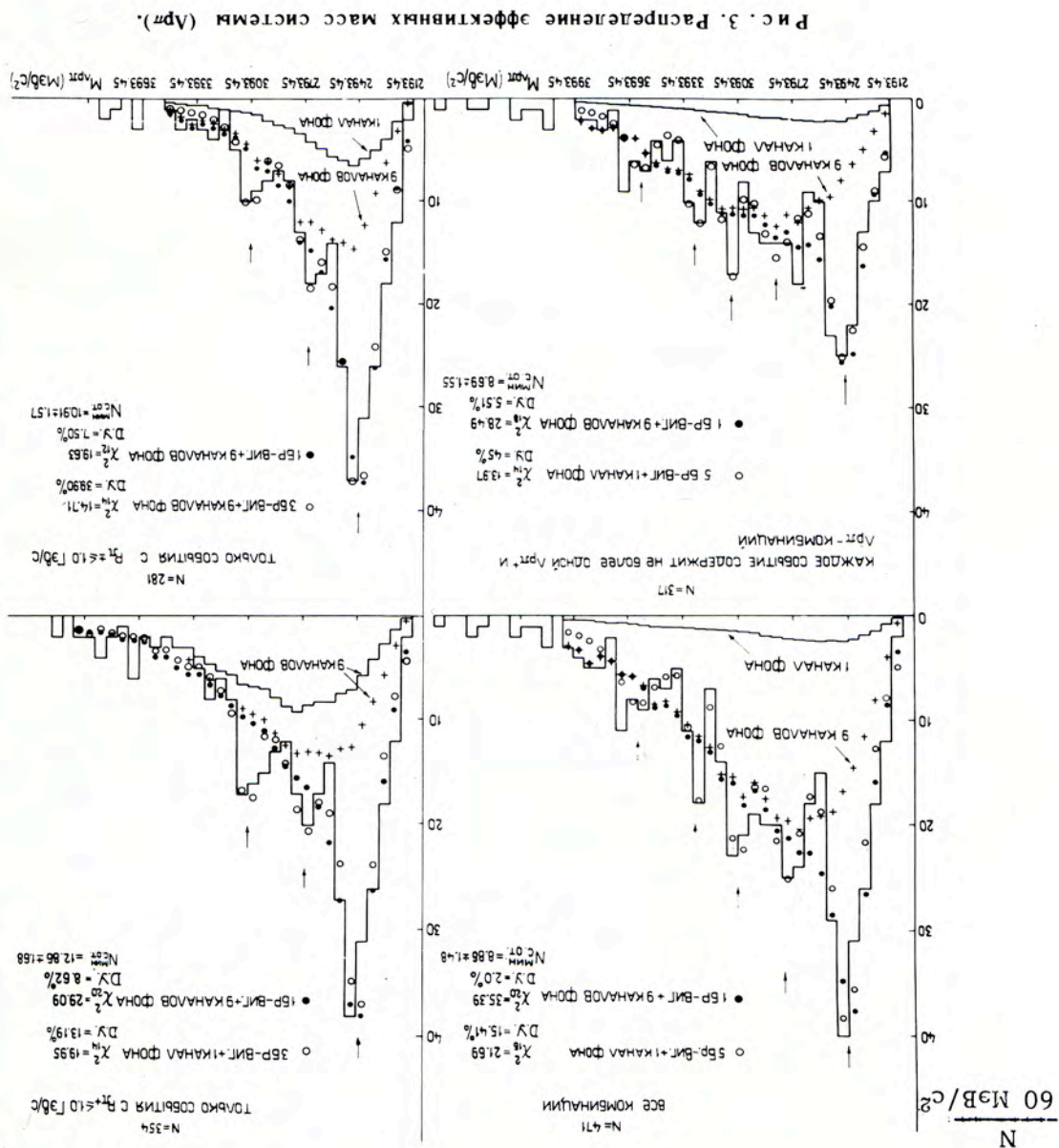


Рис. 3. Распределение эффективных масс системы (Ар).

Надежно установлены резонансы в системах Ар (2256 МэВ), Ар (2358 МэВ), Ар^π (2495 МэВ), Ар^π (1705 МэВ), Ар^π (2072 МэВ), Ар^π (2604 МэВ), причем для последней системы предполагается пятикварковое состояние. Экспериментальные значения распределений масс систем (Ар) были пересчитаны (по гипотезе) в распределение упрямого распада А-гиперонов, образованных на протонах ядра углерода. Полученное расчетным путем сечение Ар-рассеяния хорошо совпало с результатами прямых измерений упрямого Ар-рассеяния, проведённых в ряде научных центров (рис. 2). Спектр масс системы приведен на рис. 3.

4. В пучке нейтронов со средней энергией 40 ГэВ на серпуховском ускорителе с помощью установки ВИС-2 получено указание на рождение двух узких резонансов. Исследования проводились по программе поиска очарованных частиц. Масса барионного резонанса равна 1950 МэВ, ширина не превышает 15 МэВ (это величина на аппаратурного разрешения), распадается на Σ^+ (1385) и К⁺-мезон. В дифракционном процессе сечение образования резонанса равно $\sigma \times BR = 0,6 \pm 0,5$ мкб. Получено указание на существование другого узкого резонанса Λ_c^+ с массой 2260 МэВ и распадом на $K_S^0 \pi^+$. Путём анализа около 15000 распадов $K_S^0 \pi^+$ определены величины век-

торных формфакторов f_+ и f_- , отношение которых $\xi(t) = f_-(t) / f_+(t)$ пропорционально первому порядку параметра нарушения SU(3)-симметрии. Величина нарушения определяется разностью масс странного и обычного кварков. Из линейного разложения $\xi(t) = \xi(0) + \Lambda t / m_\pi^2$ найдена экспериментально величина $\xi(0)$ и из нее - отношение масс кварков:

$$\frac{2m_s}{m_u + m_d} = 1,23 \pm 0,22;$$

$$\frac{m_u + m_d}{m_d + m_s} = 0,09.$$

5. В результате анализа 17000 событий $p \rightarrow p \pi^+ \pi^+ p \pi^- \pi^-$, полученных с помощью метровой жидководородной камеры в пучке нейтронов с импульсами 3,83, 4,35 и 5,10 ГэВ/с на синхрофазотроне, обнаружен максимум с массой 1420 МэВ и шириной 40 МэВ в системах $(p \pi^+ \pi^+)$ и $(n \pi^- \pi^-)$. Сечение образования предполагаемого резонанса с изотопическим спином $I = 5/2$ равно 7+4 мб (при 3,83 ГэВ/с), 11+3 мкб (при 4,35 ГэВ/с) и 21+3 мкб (при 5,10 ГэВ/с). Оценка спина резонанса показала, что $J > 1/2$.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

1. С помощью спектрометра, имеющего в составе прецизионные дрейфовые камеры, на ускорителе ФНАЛ при энергии 250 ГэВ проведено прямое измерение электромагнитных радиусов отрицательных K- и π -мезонов. Получены величины для

$$\text{K-мезона } \langle r_K^2 \rangle = 0,28 \pm 0,05 \text{ Фм}^2,$$

$$\pi\text{-мезона } \langle r_\pi^2 \rangle = 0,43 \pm 0,03 \text{ Фм}^2$$

(см. соответственно рис. 4 и 5).

Измерения выполнены в области переданных импульсов $|t| = 0,037 \pm 0,119 \text{ (ГэВ/с)}^2$.

2. В совместном эксперименте ОИЯИ-ЦЕРН на 400-ГэВ ускорителе (ЦЕРН) по изучению глубоконеупругого рассеяния мюонов на углеродной мишени набрана большая статистика при энергии мюонов 120, 200, 240 и 280 ГэВ. Анализ событий показал:

а) неупругие структурные функции нуклона $F_2(x, Q^2)$ в пределах достигнутой статистической (1-5%) и систематической (10%) точностей имеют одинаковую зависимость от величины переданного импульса в области $Q^2 = 25-250 \text{ (ГэВ/с)}^2$ и $x = 0,2-0,7$ при указанных энергиях;

б) Q^2 -зависимость структурных функций и их моментов в отличие от другого

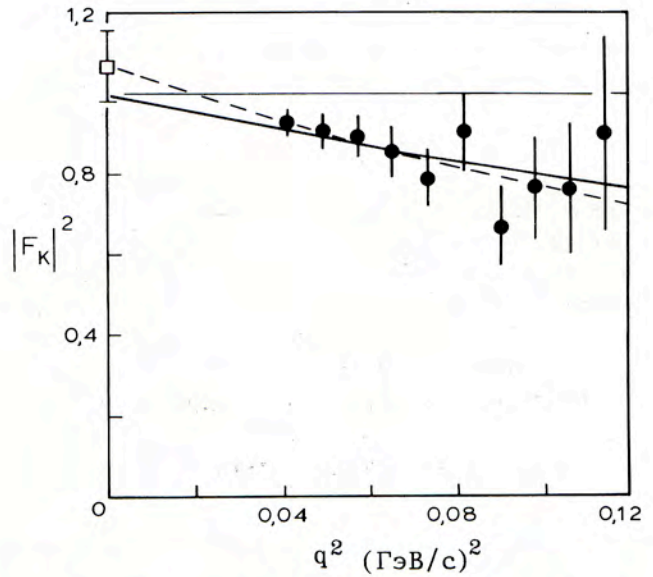


Рис. 4. t-зависимость формфактора K-мезона при энергии 250 ГэВ.

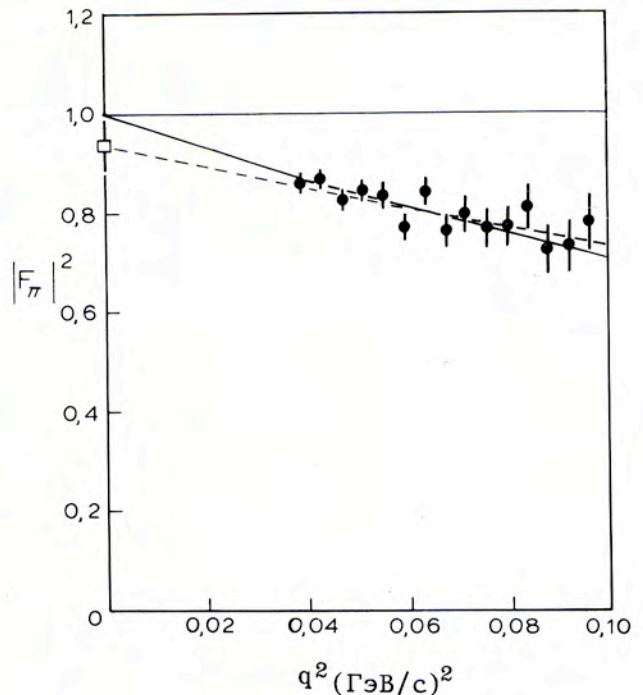


Рис. 5. t-зависимость формфактора π -мезона при энергии 250 ГэВ.

эксперимента (СЛАК, США) практически отсутствует (рис. 6).

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

1. С помощью установки ДИСК на синхрофазотроне в пучке протонов с импульсом $8,9 \text{ ГэВ/с}$ на ядре свинца изучено образование кумулятивных пионов и каонов. Измерения, проведенные в интервале углов $90^\circ - 168^\circ$ и интервале кинетических энергий кумулятивных частиц от 200 до 1000 МэВ, показали (рис. 7), что полученные величины сечений генерации пионных образований каонов и пионов равны (рис. 8). Совокупность экспериментальных данных свидетельствует о качественном соответствии угловых и энергетических распределений образованных кумулятивных частиц. Такой характер экспериментальных данных является подтверждением гипотезы

На основе анализа материала, полученного при обработке $8640 \pi^+ \text{C}$ -взаимодействия при импульсе 40 ГэВ/с , определена граница кумулятивной области. При массах, больших или равных $0,6$ нуклонной массы, характеристики образованных пионов (средние импульсы, средние скорости, средние углы, средние множественности) перестают зависеть от массы мишени. Это постоянство проявляется в кумулятивную область, где масса мишени больше массы нуклона. Характеристики протонов и "лидирующих" пионов не зависят от границы $0,6 m_p$.

Выяснено, что изучение кумулятивных-ного эффекта является главным источником информации по распределению кварков

В результате обработки данных найдена величина сечения свободного кварк-кваркового неупругого взаимодействия $3,5 \text{ мб}$.

На основе анализа материала, полученного при обработке $8640 \pi^+ \text{C}$ -взаимодействия при импульсе 40 ГэВ/с , определена граница кумулятивной области. При массах, больших или равных $0,6$ нуклонной массы, характеристики образованных пионов (средние импульсы, средние скорости, средние углы, средние множественности) перестают зависеть от массы мишени. Это постоянство проявляется в кумулятивную область, где масса мишени больше массы нуклона. Характеристики протонов и "лидирующих" пионов не зависят от границы $0,6 m_p$.

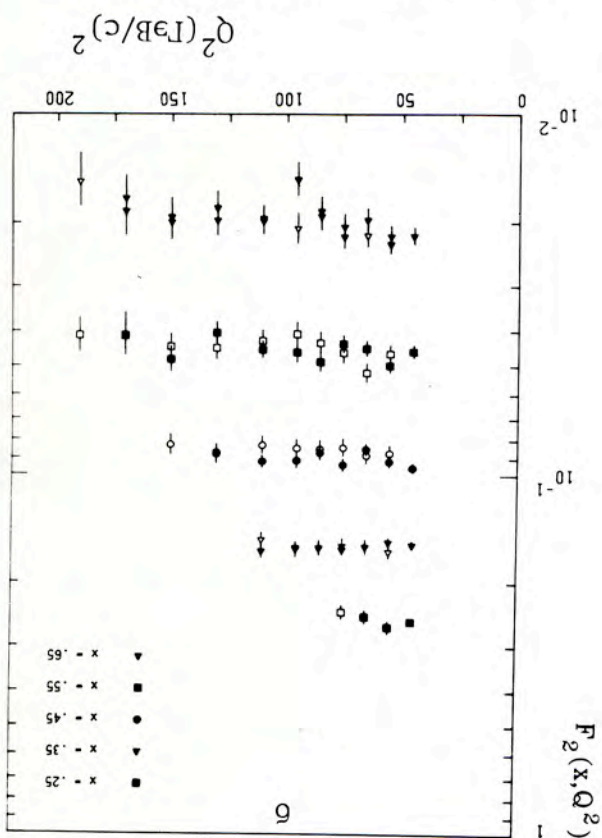
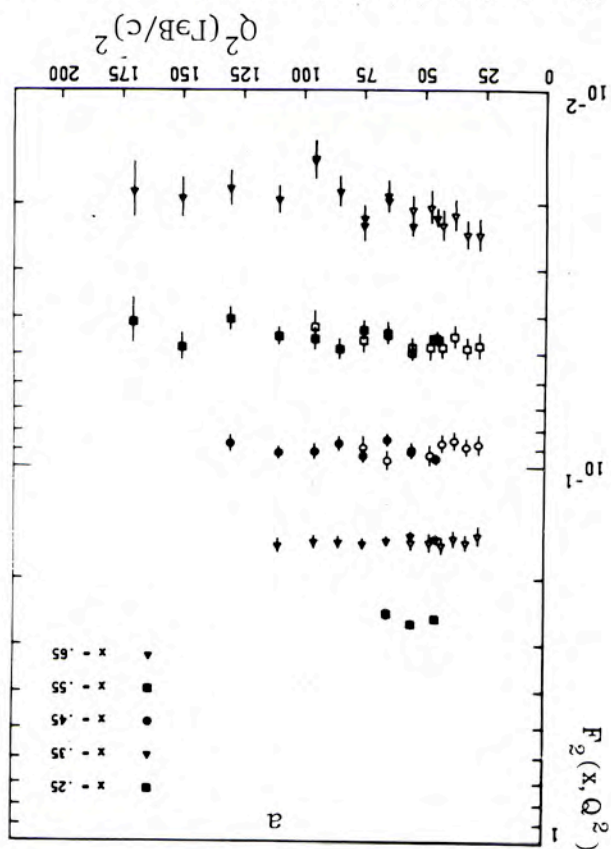


Рис. 6. Поведение ступенчатой функции F_2 в зависимости от величины переданного импульса Q^2 : а - для энергий 120 и 200 ГэВ; б - для энергий 200 и 240 ГэВ.

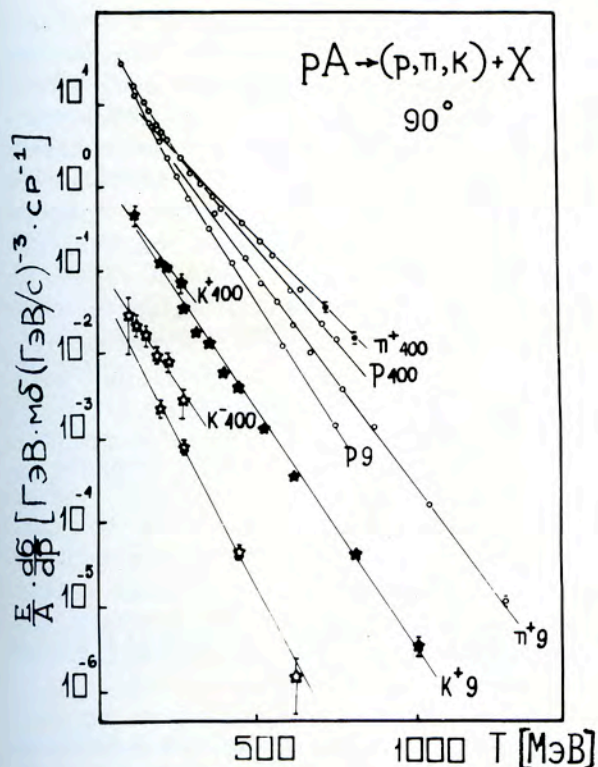


Рис. 7. Зависимость выхода кумулятивных каонов, пионов и протонов от их кинетической энергии.

в ядрах. Поведение сечения образования кумулятивных частиц π , K , p , D , T описывается экспоненциальной функцией с одним универсальным параметром, равным 0,16, т.е. показано подобие процессов адронизации кварков в адроны и легкие фрагменты. Установлено, что при передачах импульса больше 1 (ГэВ/с)² ядро не сводится к "нуклонному газу", а должно рассматриваться как независимый объект адронной физики. При кинетической энергии релятивистских ядер больше 3,5 ГэВ/нукл. наступает асимптотический режим (т.е. предельная фрагментация ядер), при котором исчезает зависимость сечений от энергии столкновения частиц.

2. На трековых приборах (двухметровая пропановая камера, стримерная установка СКМ-200 и др.) получен большой объем информации, который помог установить наиболее характерные черты релятивистских ядерных столкновений. Сечения неупругого взаимодействия легких ядер D , He , C с ядрами C и Ta в пределах ошибок не зависят от первичного импульса в интервале 2-5 ГэВ/с/нуклон. Множественность пионов в pC - и pTa -взаимодействиях заметно увеличивается по сравнению с pp -взаимодействиями при

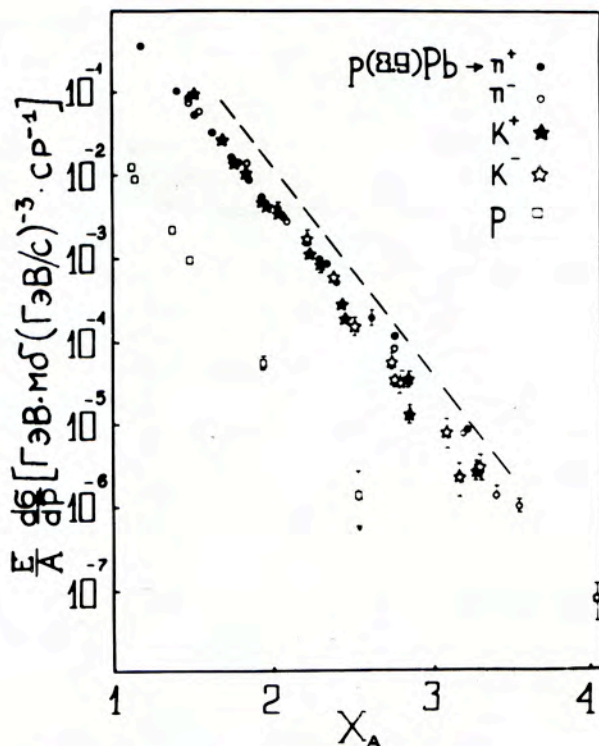


Рис. 8. Зависимость образования кумулятивных каонов и пионов от кумулятивного числа X_A .

импульсах первичных протонов больше 4 ГэВ/с. На основе модели независимого взаимодействия нуклонов ядра-снаряда с ядром-мишенью удалось объяснить дисперсию по множественности пионов с увеличением атомного веса налетающих ядер. Исследования неупругих соударений протонов с ядрами углерода и тантала при импульсах от 2,3 до 9,9 ГэВ/с позволили обнаружить пороговый характер неупругих многонуклонных взаимодействий начиная с импульса 2,3 ГэВ/с. Множественность пионов примерно в 1,5-2 раза выше, чем в однонуклонных взаимодействиях. Оказалось, что характер многонуклонных взаимодействий слабо зависит от вида налетающей частицы (пион, протон). Проверка показала, что модель многократного рассеяния адронов на ядрах описывает только часть многонуклонных взаимодействий. Анализ данных по средней множественности вторичных пионов в многонуклонных взаимодействиях при энергии меньше 40 ГэВ в рамках аддитивной кварковой модели показал, что в ядре-мишени необходим учет перерассеяния кварков и каскадных процессов. По оценкам, вклад этих процессов достигает 60-70%. Исследовалась двухчастичная корреляция между вторичными протонами из

2. Длительные реакции с поляризованными частицами открывают новые возможности для проверки квантовой хромодинамики. Для проведения на синхрофазотроне таких исследований закончена разработка узлов и систем криогенного источника поляризованных атомов дейтерия и криогенного ионизатора со сверхпроводящим соленоидом на 7 Т. Осуществлен физический запуск установок, проведены комплексные испытания. На выходе из ионизатора получены поляризованные пучок дейтронов свыше 100 мкА, что превышает интенсивность работающих установок такого типа.

РИСК.

1. Для превращения стримерной камеры в универсальный прибор внутри рабочего объема камеры вводятся жидководородная мишень (возможно и другое вещество для наполнения мишени). Сильные магнитные (больше 1 Т) и электрические (до 35 кВ/см) поля превращают большие требования к мишени. Мишень, удовлетворяющая этим требованиям, создана для физической установки "Резонанс". Питание мишени жидким водородом осуществлялось путем конденсации газообразного водорода в конденсаторе, охлаждаемом жидким гелием. Такой способ выгоден тем, что позволяет работать с минимальным количеством водорода в системе. Опыт, полученный при создании жидководородной мишени, использован при создании аналогичной мишени для стримерной камеры установки.

3. Для создания детектора с высоким порогом разрешения разрешением для нейтральной радиотрафины разработана и создана дрейфовая камера низкого давления со встроенным спинтиллицидным счетчиком. Пространственное разрешение - лучше 100 мкм по обеим координатам. Энергетическое разрешение для альфа-частиц с энергией 5 МэВ - около 16% при подбранном напряжении на аноде.

Для получения дифракционной картины от монокристаллов белка и нуклеиновых кислот с большими периодами решетки и т.д. нужна одновременная регистрация дифракционной картины во многих точках. Для этих целей создана и используется установка APD-1, в состав которой входят двухкоординатная пропорциональная камера размером $350 \times 350 \times 10 \text{ мм}^3$, электронная аппаратура на линии с ЭВМ и устройство представления данных на телевизионном мониторе. Достигнута эффективность 70% для регистрации рентгеновских лучей с энергией до 10 кэВ, общее число разрешаемых элементов дифракционной картины 50000 и быстродействие $2,5 \times 10^5 \text{ сов./с}$. Установка APD-1 (рис. 9) обеспечивает возможность проведения дифракционных экспериментов на кристаллах белка с периодами решетки до 200-300 Å, а быстродействие позволяет ускорить проведение экспериментов в 100 раз по сравнению с обычным дифрактометром.

4.2 ГэВ/с/нуклон. Однако механизмы множественного образования пионов и летающих назад протонов несколько раз различаются. Исследовалось образование дейтронов в (He^+ p)-взаимодействиях при импульсе 2,15 ГэВ/с/нуклон. Кроме спектровых в этих взаимодействиях образуются и медленные дейтроны. Анализ показал, что вероятность существования ядра гелия в состоянии дейтрон+дейтрон мала. Для получения информации о внутрядерном движении отдельных нуклонов в ядрах изучалось импульсное распределение спектров в системе покоя ядра.

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА

40 ГэВ/с. Для медленных протонов ($< 200 \text{ МэВ/с}$) имеется отрицательная корреляция, а для энергичных протонов ($> 200 \text{ МэВ/с}$) - положительная. Для медленных протонов, образующихся при развале ядра и испарении с поверхности, свойственно влияние тождественности и кулоновского отталкивания, а для энергичных - преобладание ядерного притяжения. Замечена корреляция в процессах множественного образования частиц между пионами и протонами (вылетающими назад) в pA-взаимодействиях при импульсах падающего протона больше

4. В лаборатории получила существенное развитие методика использования микропроцессорных систем в физическом эксперименте. Они применяются в автономных системах для измерения и мониторинга интенсивности выведенного пучка из ускорителя, для измерения и контроля параметров сверхпроводящих магнитов и линз, автоматического контроля сложных модулей в стандарте КАМАК и сокращения времени их наладки. Разработаны блоки для образования многокрейтных систем при одновременном использовании нескольких источников управления (ЭВМ). Разработан драйвер ветви ДВК-822, который расширяет систему MISKA до 7 крейтов КАМАК и позволяет со скоростью 1,5 Мбайт/с передавать данные между блоками КАМАК и от блоков КАМАК в память центрального процессора. Для представления на экранах черно-белых или цветных телевизоров текстов, графиков, гистограмм и другой оперативной информации создана система DISP, включающая модули КАМАК и комплекс программ. Создан 16-разрядный микропроцессорный контроллер в секционном исполнении с микропрограммным

управлением для сбора данных и управления работой объектов. С помощью контроллера типа "Л" и драйвера последовательной ветви можно управлять работой 62 объектов. Создано запоминающее устройство динамического типа с произвольной выборкой емкостью 4Kx16 разрядов. Блок выполнен с учетом его использования в качестве буферной памяти или в качестве оперативного запоминающего устройства. Разработано аппаратное и программное обеспечение для комплексной отладки последовательной системы КАМАК на линии с ЕС-1010.

5. В области быстрой электроники разработаны блоки для обеспечения работы физических установок, зарядово-цифровые преобразователи для черенковского спектрометра БИС-2. Введена в действие система регистрации информации на основе гибридной интегральной схемы с пропорциональных камер на максимальное число проволочек 16384, разработана система блоков для съема и регистрации сигналов с дрейфовых камер. Для специалистов, использующих микропроцессорные контроллеры КАМАК, пред-

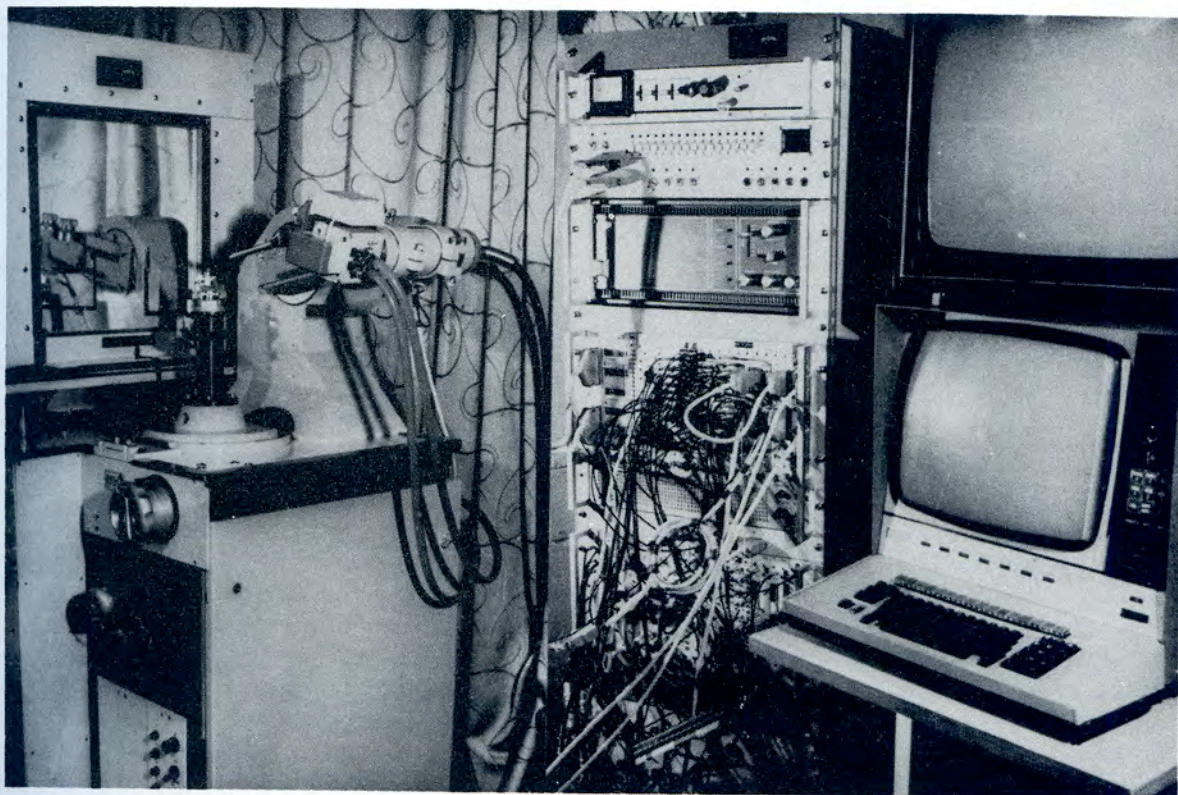


Рис.9. Общий вид быстродействующей установки АРД-1 для регистрации рентгеновской дифракционной картины от монокристаллов белка и нуклеиновых кислот.

лежен простой язык на основе команд 8-разрядных микропроцессоров Intel-8080. Язык REST обеспечивает диалоговый режим работы с большим быстродействием при малом объеме памяти, удобство отладки программ. В новую серию блоков регистрирующей аппаратуры входят блоки наносекундной логики с программным и централизованным ручным

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИНХРОФАЗТРОНА

Использование на синхрофазотроне исследователя многозарядных ионов "Крион" позволило получить ускоренные ядра вплоть до неона с кинетической энергией до 4 ГэВ/нуклон . Реализованы в одном цикле ускорения быстрый и медленный выходы ускоренных частиц. Получены уникальные вторичные пучки $^3\text{He}^{+2}$ и $^3\text{H}^{+1}$ с энергией до 4 ГэВ/нуклон . Улучшена система коррекции показателя неоднородности магнитного поля синхрофазотрона, длительность измерения тока коррекции увеличена от 100 до 400 мс. При ускорении ядер имеется возможность оперативного изменения тока коррекции. Разработана и используется новая схема для получения управляющих импульсов. Эксплуатируется автоматизированная система контроля и управления параметрами медленного вывода пучка из ускорителя на базе ЕС-1010 и ЕС-1010Б, обеспечивающая стабильность характеристик выводов пучка. Система работает в режиме диалога оператор-ЭВМ.

Создана аппаратура на линии с ЕС-1010 для измерения неоднородностей магнитного поля ускорителя с точностью 5×10^{-4} для величин магнитного поля от 0,023 до 1,2 Т. Модернизирована ускоряющая высокочастотная система. Расширен диапазон частоты (до десятикратного перекрытия). При переходе на вторую кратность ускорения повышена эффективность ускоряющего электрода. Для уменьшения модуляции плотности частиц в медленном выведенном пучке увеличена

управлением, преобразователи амплитуда-цифровой код датчиков измерения параметров электрофизических установок, модули биферной и гистограммирующей памяти различной емкости и быстроедействие, существенно повышающие эффективность систем считывания информации с экспериментальных установок.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК

азимутальная протяженность банчей ускоренного пучка в 1,5-2 раза без потери интенсивности. На синхрофазотроне в новом павильоне смонтированы первичный и несколько вторичных каналов частиц. Для оперативного контроля и управления токами магнитов и линз в этих каналах создана система на линии с ЕС-1010. Установка расчетных значений токов, контроль и поддержание заданного режима проводится с точностью 1А.

РАБОТЫ ПО ПРОЕКТАМ НУКЛОТРОНА, УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

1. Создана методическая и экспериментальная база для оперативного исследования характеристик магнитного поля мультипольных магнитов для ускорителей синхротронного типа и каналов трансформаторной относительной нелинейности поля в дипольных магнитах на радиусе, составляющем 0,9 полной апертуры, по 15 гармоникам не хуже 5×10^{-5} . Возможны измерения в теплых и сверхпроводящих магнитах.

При работе в импульсном режиме возникают энергетические потери, которые в основном определяются сопротивлением компонент проводника и наполнителя кабели. Анализ измерений зависимости электросопротивлений компонент от температуры ($4,2-20 \text{ К}$) и величины магнитного поля до 7 Т показал, что потери

уменьшаются при выборе припоя с наибольшим удельным сопротивлением в рабочей области (при $T \leq 6 \text{ К}$). Потери в различных типах сверхпроводящих кабелей детально изучены в зависимости от амплитуды, направления и скорости изменения магнитного поля, диаметра нитей и шага скручивания нитей. Исследования пучка изолированных проводов, двухслойной плоской скрутки и трубчатых образцов показали, что потери в непроводящих образцах близки к потерям в пучках изолированных проводов.

Созданы сверхпроводящие диполи, имеющие неоднородность поля менее 10^{-4} в пределах 70% апертуры без использования дополнительных корректирующих обмоток. Показано, что наибольшую неоднородность создает корпусная изоляция обмотки. Рассмотрена возможность компенсации неоднородности поля с помощью дополнительных прокладок между витками обмоток.

В условиях облучения мелкодисперсионного сверхпроводящего кабеля при 4,2 К в магнитном поле 5 Т протонами, дейтронами и ядрами гелия с энергией несколько ГэВ определена зависимость величины критического тока в кабеле от плотности потока облучаемых частиц.

Для защиты сверхпроводящих магнитов создано устройство, в котором поглотителем энергии при срыве сверхпроводящей фазы является дугогасительная решетка с шунтом. Время полного переключения тока составляет 10 мс, эффективность эвакуации запасенной энергии - 98%.

2. В рамках проекта УНК проведены работы по криогенному обеспечению УНК. Разработан и испытан стенд для визуаль-

ного изучения структуры двухфазных потоков гелия, создаваемых с помощью струйного аппарата. Проведены успешные длительные испытания сверхпроводящего импульсного магнита при токе, составляющем ~ 90% от величины критического значения тока, при температуре 4,3-4,7 К и массовом паросодержании в двухфазном потоке гелия в пределах 0,1-1. Испытания подтвердили возможность длительной устойчивой работы магнита при криостатировании двухфазным гелием.

3. Рассмотрены вопросы коррекции в варианте синхротрона тяжелых ионов (проект УКТИ) с триплетной магнитной структурой. Вычислена хроматичность и предложен вариант секступольных коррекций орбиты.

Рассмотрены вопросы организации АСУ синхротрона тяжелых ионов. Проведены расчеты потоков информации, выбрана структурная схема АСУ, сделана оценка ее надежности, предложен принцип распределенного управления.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИНХРОФАЗОТРОНА

Запланированное время работы ускорителя - 4000 часов.

Ускоритель работал:

а) на экспериментальные исследования по физике элементарных частиц и физике релятивистских ядер - 3317 часов со средней интенсивностью $4,2 \times 10^{11}$ ускоренных протонов, $1,5 \times 10^{11}$ дейтронов, $2,4 \times 10^{10}$ ядер гелия, $1,5 \times 10^6$ ядер углерода за один цикл ускорения;

б) на совершенствование систем ускорителя - 435 часов.