

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 344.1 и
Н-62

10/11
P13 - 7171

3307/2-73

В.И. Никаноров

МАГНИТНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ
НА ИСКРОВЫХ И СТРИМЕРНЫХ КАМЕРАХ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P13 - 7171

В.И.Никаноров

МАГНИТНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ
НА ИСКРОВЫХ И СТРИМЕРНЫХ КАМЕРАХ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В последние годы в практике физического эксперимента с частицами высоких энергий нашли широкое применение магнитные спектрометры - установки, представляющие собой комплекс из искровых или стримерных камер в сочетании с магнитом. В сравнении с установками других типов /например, с пузырьковыми камерами в магнитном поле/ магнитные спектрометры обладают целым рядом преимуществ. Так, с помощью соответствующей системы управления спектрометром /триггера/ можно регистрировать события определенного типа, в том числе очень редкие события. Малое время памяти камер позволяет использовать спектрометры на пучках ускорителей значительной интенсивности. Это же свойство обеспечивает слабую чувствительность к большим фоновым загрузкам. Селективный принцип управления спектрометром дает возможность проводить исследования с ним на несепарированных пучках вторичных частиц.

В настоящее время в мировой литературе отсутствует достаточно полный обзор работ о магнитных спектрометрах; этот пробел и призван восполнить настоящий обзор, в котором основное внимание сконцентрировано на спектрометрах, у которых регистрирующие камеры размещены внутри магнита, так как установки такого типа обладают большой апертурой, что позволяет эффективно исследовать сложные взаимодействия и процессы распада.

В первом разделе обзора освещены вопросы специфического влияния магнитного поля на точность измерений параметров треков в спектрометре, а также на время памяти регистрирующих камер и на эффективность ре-

гистрации следов частиц. Во втором разделе даны физико-технические характеристики как действующих, так и вводимых в действие спектрометров, по которым имеются опубликованные данные. В конце обзора обсуждаются физические исследования, выполненные с помощью спектрометров.

Влияние магнитного поля на точность измерений и на характеристики регистрирующих камер

Первые работы по изучению свойств искровых камер, помещенных в магнитное поле, относятся к 1961 году /1,2/. В /1/ были исследованы пространственные характеристики и эффективность работы двухмиллиметровых искровых промежутков в магнитном поле. В описанных в /2/ опытах, выполненных на искровых камерах с зазором ~ 6 мм, было обнаружено значительное смещение треков в результате действия скрещенных электрического и магнитного полей / $E \times B$ - эффект/. Дальнейшее изучение свойств узкозазорных искровых камер в магнитном поле было осуществлено в /3-5/.

Развитие методики физического эксперимента привело к исследованиям свойств широкозазорных искровых /6-8/, а затем стримерных камер /9/, расположенных в магнитном поле. С помощью этих приборов была продемонстрирована возможность определения координат и импульсов заряженных частиц с хорошей точностью.

Для искровых и стримерных камер в магнитном поле имеют место специфические эффекты влияния поля на точность измерений координат и импульсов регистрируемых частиц. Рассмотрим подробно вопрос о точности измерения импульса. Данная проблема обсуждалась в ряде работ /10,11,12/.

Известно, что соотношение

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta R}{R} \quad /1/$$

выражает относительную ошибку (ΔP) измерения импульса (P) через ошибку (ΔR) определения радиуса кривизны

(R) траектории заряженной частицы в магнитном поле. Отметим, что формула /1/ не учитывает погрешности измерений магнитного поля и дрейф поля во времени. Этот вопрос освещен в литературе недостаточно, поэтому остановимся на нем более детально. Для этого воспользуемся соотношением, связывающим импульс с напряженностью магнитного поля и радиусом кривизны траектории частицы

$$P = \frac{e}{c} H R. \quad /2/$$

Из этой формулы следует выражение для абсолютной ошибки измерения импульса:

$$\Delta P = \sqrt{\left(\frac{e}{c}\right)^2 [H^2 (\Delta R)^2 + R^2 (\Delta H)^2]}. \quad /3/$$

Из формул /2/ и /3/ имеем

$$\frac{\Delta P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2}. \quad /4/$$

Оценим вклад $\frac{\Delta H}{H}$ в /4/ в сравнении с эффектом многократного кулоновского рассеяния. Расчеты многократного кулоновского рассеяния, выполненные для пятиметрового искрового спектрометра ОИЯИ /13/, показывают, что для пионов и протонов в интервале импульсов /5 - 40/ ГэВ/с ($\Delta P/P$)_k заключено в интервале /2-3/ $\cdot 10^{-3}$. Экспериментальные результаты, приведенные в /12/ для широкозазорных искровых камер в магнитном поле, дают величину порядка $4 \cdot 10^{-3}$ /импульс частиц - 1 ГэВ/с/.

Поскольку точность измерений магнитного поля вместе с эффектами его нестабильности во времени составляет $\Delta H/H \approx 1 \cdot 10^{-3}$, то из сравнения с ошибкой ($\Delta P/P$)_k от многократного кулоновского рассеяния следует, что учет члена $\Delta H/H$ в формуле /4/ необходим.

При обработке трековой информации с магнитных искровых спектрометров должен быть учтен также дрейф первичных электронов в следах частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях - $E \times B$ - эффект; E - напряженность очищающего поля и поля высоковольтно-

го импульса; B - индукция магнитного поля. /В магнитных спектрометрах на стримерных камерах этот эффект практически отсутствует, так как в этих установках E и B обычно параллельны/.

Исследования $E \times B$ - эффекта /15/ показали следующий результат. Для искровой камеры, наполненной гелием, при очищающем поле 315 В/см, задержке импульса 0,26 мксек, давлении газа 760 тор, величине магнитного поля 13 кГс, амплитуде электрического импульса 13 кВ величина смещения искр за счет $E \times B$ - эффекта составила 1,3 - 2,5 мм. Расчеты смещения искр вследствие $E \times B$ - эффекта по приближенной формуле, приведенной в работе /14/, дают для этих условий величину смещения 0,7 мм, то есть отличаются от экспериментальных данных более, чем в два раза.

Авторы исследований /16/ показали, что при расчете смещения трека в результате $E \times B$ - эффекта необходимо пользоваться формулой /17/:

$$\bar{x} = \frac{E}{B} \frac{t}{1 + \nu^2 / \omega^2}, \quad /5/$$

ν , сек - средняя частота взаимодействия электрона с атомами газа, ω - частота Лармора, t - время дрейфа электронов/.

Из следующей таблицы видно, что экспериментальные и теоретические результаты хорошо согласуются между собой.

Таблица 1

Наполнитель камеры, условия опыта /16/	t , мксек	Экспериментальное значение смещения $2 \bar{x}$, мм	Вычисленное по формуле (5) значение смещения $2 \bar{x}$, мм
90% Ne + 10% He	0,24	3,8-8,35	4,9
$p = 760$ тор	0,35	6,35-8,1	7,1
$E = 315$ В/см	0,45	7,6-9,6	8,2
$B = 13$ кГс	0,55	8,9-11,4	10,2

Смещение трека в скрещенных электрическом и магнитном полях изучалось также в /18/. Условия эксперимента были следующими: зазор между электродами искровой камеры составлял 8 мм, величина магнитного поля - 15,7 кГс, камера была наполнена неон-гелиевой смесью. Результаты этих исследований приведены на рис. 1, где величина смещения дана в зависимости от времени задержки импульса t_3 и величины очищающего поля. Из рисунка следует, что результаты эксперимента хорошо описываются кривыми, вычисленными по формуле /5/.

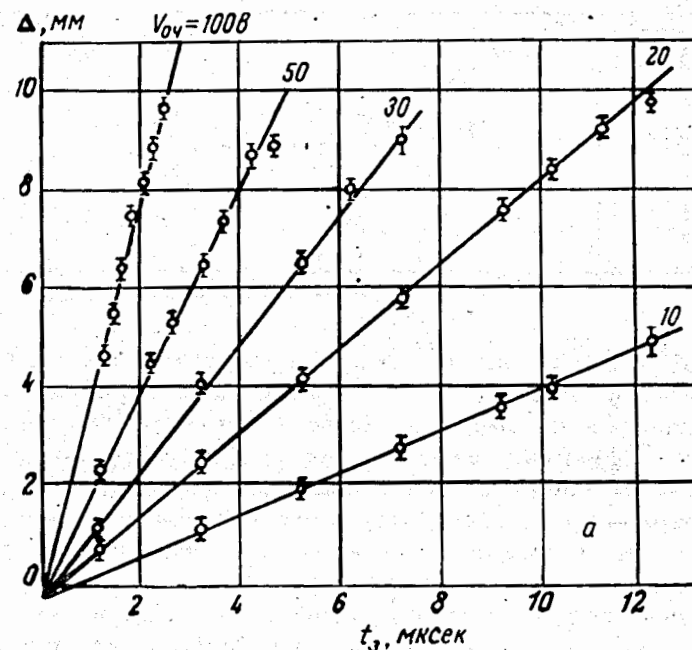


Рис. 1. Смещение искрового разряда от траектории частицы в зависимости от времени задержки высоковольтного импульса при различных очищающих полях.

Здесь уместно отметить двоякую роль магнитного поля в связи с его влиянием на точность измерений импульсов и координат частиц. Если описанный выше $E \times B$ - эффект ухудшает точность измерений, то умень-

шение в магнитном поле коэффициента диффузии электронов первичной ионизации способствует улучшению точности измерений вследствие уменьшения толщины трека. Этот вопрос был исследован в /19/ в опытах со стримерными камерами. Данные этих исследований приведены в таблице 2, где σ - среднеквадратичные отклонения стриметров от траектории частицы для различных величин магнитного поля и времен задержки высоковольтного импульса.

Таблица 2

Магнитное поле В, кГс	0,35		3,2		6		10	
Время задержки	1,2	2,6	1,2	1,2	1,2	1,7	2,6	
σ , мм	0,37	0,55	0,28	0,25	0,2	0,22	0,27	

Из таблицы видно, что при возрастании величины магнитного поля от 0,35 до 10 кГс толщина трека уменьшается примерно в два раза. Авторы /19/ полагают, что этот эффект будет иметь место и для искровых камер.

Другим следствием уменьшения коэффициента диффузии первичных электронов в магнитном поле является увеличение времени памяти камер. Это явление было отмечено в /3/ и количественно изучено в /18/. Соответствующие результаты отражены на рис. 2, из которого видно, что при возрастании магнитного поля от нуля до 15 кГс время памяти искровой камеры увеличивается примерно в 3 раза.

Вопрос о влиянии магнитного поля на эффективность регистрации камер был изучен в /20/. Исследования были осуществлены с искровой камерой с межэлектродными зазорами 5 мм, наполненной неоном при давлении 800 тор. Из результатов, представленных на рис. 3, следует, что магнитное поле в значительной степени увеличивает

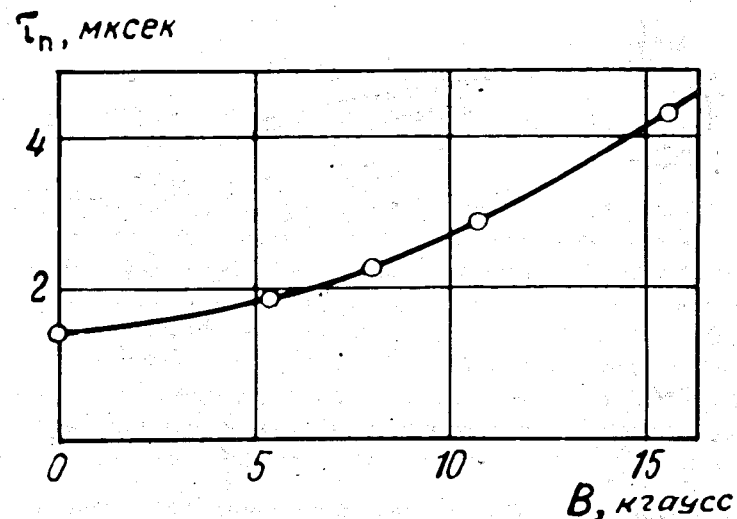


Рис. 2. Зависимость времени памяти искрового промежутка от величины магнитного поля. /Величина очищающего поля 62,5 в/см/.

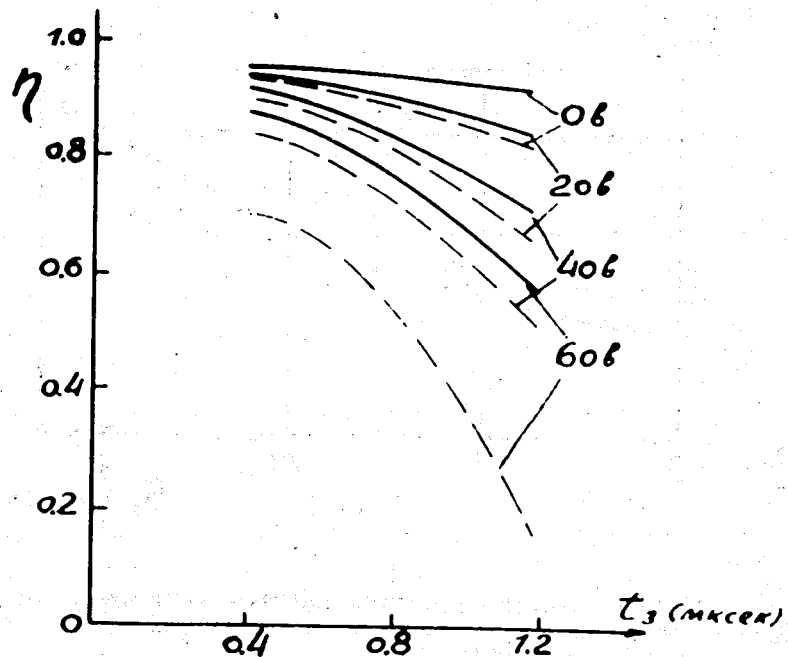


Рис. 3. Эффективность искровой камеры в зависимости от времени задержки для различных очищающих напряжений. Сплошные линии соответствуют магнитному полю 8 кгаусс, пунктирные - получены в отсутствие магнитного поля.

эффективность регистрации частиц. Как и для времени памяти, основная причина увеличения эффективности регистрации частиц заключается в действии магнитного поля на коэффициент диффузии электронов. Аналогичного влияния магнитного поля можно ожидать на время памяти и эффективность стримерной камеры, однако в настоящее время экспериментальные данные по этому вопросу отсутствуют.

Физико-технические характеристики магнитных спектрометров

В настоящее время в ряде лабораторий различных стран имеется целый ряд действующих магнитных спектрометров. В приводимой ниже таблице даны основные их характеристики. Там же даны сведения и о спектрометрах, вводимых в действие. В верхней части таблицы приведены основные характеристики магнитных спектрометров с искровыми камерами, в нижней - со стримерными /данные в таблице расположены в хронологическом порядке в соответствии с первой публикацией/.

Помимо спектрометров, приведенных в таблице, отметим также разрабатываемый в ОИЯИ магнитный спектрометр на стримерной камере с жидководородной мишенью^{/41/}. Эта установка перспективна тем, что внедрение частиц по массам будет осуществляться посредством измерения первичной ионизации, производимой частицами в газе стримерной камеры. На пионном пучке-синхроциклотрона ОИЯИ успешно используется стримерный спектрометр^{/42/}, с помощью которого осуществляется широкая программа исследований по изучению взаимодействия пионов с гелием. Эта установка состоит из двух стримерных камер, одна из которых расположена в магнитном поле и служит для определения импульса первичных пионов; вторая камера, наполненная гелием до высокого давления /5-6 атм/, используется для регистрации актов рассеяния пионов на гелии.

Имеется также ряд сообщений о проектах создания спектрометров^{/67-72/} на искровых и стримерных ка-

МАГНИТНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ

Подлкация	Назначение спектрометра	Характеристики камер	Параметры импульса, подаваемого на камеру	Метод	Точность измерения
СССР, ИТФ /21, 22/	Изучение реакций П ⁺ -Х ⁻ -р при больших пересечениях	Искровая камера с межэлектродным промежутком 8 см. Рабочий камер Амплитуда 8 кв. Задержка 350 мсек.	В = 16,7 кгauss Компость 1 Магст. Вас 140 в. Рабочий объем 50x100x300 см ³ .	Метод	$\Delta P/P = 0,3\%$ при P=3,3 Гэв/с
США, Аргонская национальная лаборатория /23/	Исследование образования К ⁺ -мезонов пионами и изучение их распада.	Искровая камера с межэлектродным промежутком 1,1 и 1,4-2,4 см.	В = 18 кгauss Вас 70 вольт Рабочий объем 120x150x90 см ³ .		
ЦЕРН /24/	Изучение реакции образования нейтральных частиц при взаимодействии П ⁺ , К ⁺ , P ⁺ с протонами.	Искровая камера объемом 60x67x160 см ³ . Межэлектродный зазор 0,8 см. Наполнение: неон-гелиевая смесь.	В = 10,5 кгauss. Ток 4000 А. Компость 2 Магст. Рабочий объем 170x80x80 см ³ .		$\Delta P/P = 1,5\%$ при P = 12 Гэв/с
США, Аргонская национальная лаборатория П Р-1 /25/	Изучение реакции образования нейтральных пионов на взаимодействии П ⁺ с протонами.	Искровая камера размером 50x40x2; межэлектродный промежуток 1 см.	В = 10 кгauss.		$\Delta P/P = 2(\text{Гэв/с}) / 50$
СССР, ИТФ /26, 53/	Изучение реакций П ⁺ -Х ⁻ -р с протоном с целью проверки теории взаимодействия.	12 блоков искровой камеры размером 150x80x12 см ³ . В блоке 8 искровых промежутков различной ширины.	В=16-18 кгauss. Ток 5700 А. Компость 2,7 Магст. Вас 931 вольт.		$\Delta P/P = 0,5\%$ при P=30 Гэв/с
ОИЯИ, ИС /27, 28, 29/	Эксперименты по исследованию рождения пионов на взаимодействии пучка.	50 искровых модулей размером 140x120x2 см ³ . Наполнение: неон.	Вас 930 вольт Рабочий объем: 500x150x130 см ³ .		$\Delta P/P = 1,5\%$ при P=60 Гэв/с
СССР, ИТФ /30/	Исследование двойных распадов пионов на адроны.	Искровая камера размером 150x60x40 см ³ ; Амплитуда 10 кв. Задержка 0,8 см. Наполнение: неон-гелиевая смесь.	Время нарастания 20 мсек. Диаметр-ность 300 вольт.		$\Delta P/P = 0,7\%$ при P=3,7 Гэв/с.
ОИЯИ /31/	Исследование реакций распадов и взаимодействий частиц.	Цилиндрическая искровая камера диаметром 39 см, высотой 30 см. Величина межэлектродного промежутка 0,5 см. Рабочий газ - неон.	Время нарастания 30 мсек. Амплитуда 10 кв. Задержка 300 мсек.		$\Delta P/P = 0,2-0,3\%$ при P=0,5-20 Гэв
ФРГ, DESY /32, 33/	Эксперименты по фоторождению адронов.	Стримерная камера объемом 100x60x32 см ³ . Наполнение: неон-гелиевая смесь.	Время нарастания 22 мсек. Амплитуда 500 кв.		$\Delta P/P = 1,5\%$ при P=2 Гэв/с.
США, РРА /64/	Исследование распадов нейтральных частиц.	Стримерная камера состоящая из двух модулей объемом 66x33x11 см ³ . Наполнение: 90% Ne и 10% He.	Диаметр полков 91 см. Зазор между полками 47 см.		
США, SLAC /65, 66/	Исследование фоторождения пионов и резонансов.	Стримерная камера объемом 220x150x60 см ³ . Наполнение: неон-гелиевая смесь.	В = 9 - 12 кгauss. Диаметр полков 200 см. Зазор между полками 100 см.		
ОИЯИ /74, 35/	Исследование распадов пионов К ⁰ - мезонов.	Стримерная камера размером 100x60x16 см ³ .	В = 9 кгauss		

ОИЯИ /36,37/ ИТФФ /38/	Поиск новых нейтральных долгоживущих частиц, изучение распадов K^0 - мезонов.	Стримерная камера объемом $200 \times 90 \times 80$ см ³ .	Длительность 10 мсек. Амплитуда 800 - 900 кв.	$\Delta P/P = 1-1,5\%$ при $P = 4$ ГэВ/с
СССР, ИТФФ /39/	Исследование различных каналов распада K^0 - мезонов.	Стримерная камера объемом $60 \times 60 \times 12$ см ³ . Наполнение: неон.	Время нарастания $B = 10$ мкгаусс. Амплитуда 280 кв.	
СССР, ИТФФ /39/	Исследование $\pi^+ p$ и $\bar{p} p$ - взаимодействий.	Стримерная камера объемом $330 \times 90 \times 80$ см ³ .	$B = 17-20$ мкгаусс.	$\Delta P/P = 0,15\%$ при $P = 60$ ГэВ/с
ФРГ, DESY /40/	Исследование бета-распада полнривовых Λ - гиперонов и мулонных резонансов.	Стримерная камера объемом $104 \times 40 \times 46$ см ³ . Наполнение: неон-гелиевый смесь.	Время нарастания $B = 18$ мкгаусс. Длительность 10 мсек. Амплитуда 380 кв. Задержка 1,2 мсек.	$\Delta P/P = 4\%$ при $P = 7,2$ ГэВ/с
США, NAL /73/	Эксперимент по изучению дифракционной ассоциация пионов на гелии.	Стримерная камера объемом $100 \times 30 \times 30$ см ³ . Наполнение: гелии.	Амплитуда $300-450$ кв. $B = 12$ мкгаусс. (B макс. = 21 мкгаусс). Рабочий объем $120 \times 80 \times 50$ см ³ .	$\Delta P/P \leq 30\%$ при $P = 10$ ГэВ/с
США, NAL /77/	Исследования с пионами, K^- - мезонами и антипротоны.	Стримерная камера объемом $150 \times 100 \times 60$ см ³ . Наполнение: $90\% N_2 + 10\% He$	Время нарастания $B = 14,5$ мкгаусс. Длительность 7-13 мсек.	

мерах для исследований на ускорителе 200 ГэВ в Батавии /США/. В частности, отметим предложение по сооружению гигантского стримерного спектрометра /67/ с объемом камеры $4 \times 1,5 \times 12$ м³, а также проект создания 15-метрового искрового спектрометра /68/.

Физические исследования на магнитных спектрометрах

В последние годы магнитные спектрометры широко используются в физических экспериментах для исследования процессов взаимодействия и распадов частиц. Большое количество выполненных исследований посвящено $\pi^- p$ - взаимодействию при высоких энергиях /43-55/. Так, в работе /43/ исследовался распад η - мезонов, образованных в реакции $\pi^- p \rightarrow \eta p$. Целью эксперимента была проверка справедливости С-инвариантности в процессах, не включающих слабые взаимодействия, путем наблюдения зарядовой асимметрии 3π - распада η - мезонов. Анализ экспериментальных результатов показал, что в распаде $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ С-инвариантность не нарушается.

В работах /56,57/ сообщаются результаты по неупругим взаимодействиям отрицательных пионов с ядрами. В частности, исследование /57/ посвящено когерентному рождению пионов пионами на различных ядрах /Be, C, Al, Si, Ti, Cu, Ag, Ta, Pb/. Полученные угловые распределения и полные сечения процессов $\pi^- A \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ A$ и $\pi^- A \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^- \pi^+ A$ хорошо описываются оптической моделью.

В /58,59/ приведены результаты исследований зарядово-обменной реакции $K^- p \rightarrow K^0 p$ при импульсах K^- - мезонов 5,7, 9,5 и 12 ГэВ/с. Обнаружено, что дифференциальные сечения этой реакции согласуются с предсказаниями теории полюсов Редже.

Исследования /60/ по изучению процесса распада $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ проведены на ручке K_L^0 - мезонов с импульсом 0,5 ГэВ/с. Эксперимент предпринят с целью получения информации о формфакторе K - мезона. Получен-

ная в опыте верхняя граница относительной вероятности распада $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ составляет 3×10^{-5} .

Эксперименты по изучению реакции $\bar{p} p \rightarrow \bar{\pi} \pi$ при 5,6,7,9 ГэВ/с описаны в^{/61/}. В области передач $0 < t < 0,8$ (ГэВ/с) дифференциальные сечения этого процесса хорошо описываются когерентной моделью Байерса и Янга.

В опытах, изложенных в цикле исследований^{/62,1/}, получены следующие верхние границы относительных вероятностей чрезвычайно редких распадов: $R(\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + e^+ + e^-) \leq 3,4 \times 10^{-8}$, $R(\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma) \leq 2,9 \times 10^{-8}$ и $R(\mu^+ \rightarrow e^+ + e^+ + e^-) \leq 6,2 \times 10^{-9}$. Первый результат приводит к выводу об отсутствии б-фермионного или аномального 4-лептонного взаимодействия, два следующие подтверждают закон сохранения лептонного заряда.

Процессы электророждения сильновзаимодействующих частиц на протонах исследованы в^{/63/} при энергии 7,2 ГэВ/с. Получены сведения об инклюзивных спектрах отрицательных пионов, а также о рождении резонансов Δ^{++} и ρ^0 в реакции $e p \rightarrow e p \pi^+ \pi^-$.

В работе^{/74/} исследовано фоторождение электрон-позитронных пар и триплетов /пара с электроном отдачи/ в поле ядра и атомных электронов неона. Сравнивая экспериментальные данные с формулами квантовой электродинамики, полученными в борновском приближении, авторы обнаружили, что в области больших передач импульса необходимо учитывать γe -взаимодействие и обменные эффекты.

Фоторождению резонансов сильновзаимодействующих частиц посвящены исследования^{/75,76/}. В этих экспериментах получены сведения о поперечных сечениях и угловых распределениях образования на протонах ρ^0 , ω -и ϕ -мезонов при энергии гамма-квантов 16 ГэВ.

Перечисленные эксперименты свидетельствуют о том, что магнитные спектрометры в настоящее время являются весьма эффективным инструментом для исследований в области физики высоких энергий. Класс задач, решаемых с помощью магнитных спектрометров частиц, непрерывно расширяется.

Автор благодарен А.А.Тяпкину, А.Ф.Писареву,

И.М.Василевскому, К.Г.Некрасову, С.М.Коренченко за полезные обсуждения.

Литература

1. М.И.Дайон и др. ПТЭ, 2, 47 /1961/.
2. E.F.Beal et al. Nuovo Cimento, 20, 502 (1961).
3. G.R.Burleson et al. Nuclear Electronics, 1, 247, Vienna, 1962.
4. G.K.O'Neill et al. Nucl. Instr. and Meth., 20, 176 (1963).
5. G.R.Burleson et al. Nucl. Instr. and Meth., 20, 180 (1963).
6. А.И.Алиханян и др. ЖЭТФ, 44, 773 /1963/.
7. А.И.Алиханян. Вопросы физики элементарных частиц, т. 3, стр. 553, Ереван, 1963.
8. А.И.Алиханян et al. Phys.Lett., 4, 295 (1963).
9. Г.Е.Чиковани и др. ЖЭТФ, 46, 1228 /1964/.
10. М.И.Дайон и др. Искровая камера. Атомиздат, Москва, 1967.
11. К.Штраух. Вопросы физики элементарных частиц, т. 5, стр. 680, Ереван, 1966.
12. Т.Л.Асатиани. Вопросы физики элементарных частиц, т. 4, стр. 521, Ереван, 1964.
13. Р.Анджеяк и др. Сообщения ОИЯИ 13-3588, Дубна, 1967.
14. М.И.Дайон и др. ПТЭ, 1, 54 /1965/.
15. G.R.Burleson et al. Proceedings of the Symposium on Nucl. Instr. p. 104, Harwell, 1961.
16. С.М.Коренченко и др. ПТЭ, 5, 72 /1966/.
17. J.Townsend. Electrons in Gases, N.Y., 1947.
18. А.В.Арефьев и др. ПТЭ 6, 34 /1970/.
19. М.И.Дайон и др. ПТЭ, 5, 64 /1970/.
20. К.Г.Некрасов. Сообщения ОИЯИ, P13-5811, Дубна, 1971.
21. И.А.Радкевич и др. Труды 12 Международной конференции по физике высоких энергий, т. 2, стр. 323, Дубна, 1964.
22. О.Н.Балошин и др. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, т. 1, стр. 113, Дубна, 1971.
23. S.Bernstein et al. IEEE Transaction on Nuclear Science, v. NS-12, 4, 121 (1965).
24. P.Astbury et al. Nucl. Instr. and Meth., 46, 61 (1967).
25. T.F.Hoang et al. Rev.Sci.Instr., 38, 861 (1967).
26. Б.В.Болонкин и др. Международная конференция по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, 1970.
27. The Omega Project. CERN Internal Report NP68-II, 1968.

28. М.Б.Мартин. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. т. 1, стр. 125, Дубна, 1971.
29. A.Michelini. The Omega Project at CERN, Preprint CERN, 1970.
30. А.В.Арефьев и др. Препринт ИТЭФ, №837, 1970.
31. С.М.Коренченко и др. Сообщения ОИЯИ Р13-5170, Дубна, 1970.
32. V.Eckardt et al. International Symposium on Nuclear Electronics, Versailles, Sept. 10-13, 1968, III, 10-1.
33. A.Ladage et al. Материалы совещания по бесфильмовым искровым и стримерным камерам. Стр. 41, Дубна, 1969.
34. Г.Л.Варденга и др. Материалы совещания по бесфильмовым, искровым и стримерным камерам, стр. 36, Дубна, 1969.
35. Г.Л.Варденга и др. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. т. 1, стр. 362, Дубна, 1971.
36. М.Х.Аникина и др. Материалы совещания по бесфильмовым, искровым и стримерным камерам. стр. 11, Дубна, 1969.
37. В.Ф.Вишневский. Материалы совещания по бесфильмовым, искровым и стримерным камерам. Стр. 32, Дубна, 1969.
38. А.О.Вайсенберг и др. Материалы совещания по бесфильмовым искровым и стримерным камерам, стр. 57, Дубна, 1969.
39. М.С.Айнундинов и др. Препринт ИТЭФ, №765, 1970.
40. V.Eckardt et al. 16th International Conference on High Energy Physics, Batavia, 1972.
41. Ю.А.Будагов и др. Материалы совещания по бесфильмовым, искровым и стримерным камерам, стр. 38, Дубна, 1969.
42. I.V.Falomkin et al. Bolletino della Societa di Fisica, 79, 109 (1970).
43. A.M.Cnops et al. Phys.Lett., 22, 546 (1966).
44. W.Beusch et al. Phys.Lett., 25B, 357 (1967).
45. J.P.Dufey et al. Phys.Lett., 26B, 410 (1968).
46. T.F.Hoang et al. Phys.Lett., 21, 316 (1968).
47. W.Beusch et al. Phys.Lett., 28B, 211 (1968).
48. J.P.Duffey et al. Phys.Lett., 29B, 605 (1969).
49. T.F.Hoang et al. Phys.Rev., 184, 1363 (1969).
50. W.Beusch et al. Nucl.Phys., B19, 546 (1970).
51. О.Н.Балашин и др. ЯФ, 14, 131 /1971/.
52. V.V.Vladimirsky et al. 16th International Conference on High Energy Physics, Batavia, 1972.
53. O.N.Baloshin et al. 16th International Conference on High Energy Physics, Batavia, 1972.