



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-111

P13-98-111

МАГНИТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ГИБС

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1998

С.А.Авраменко, В.Д.Аксиненко, М.Х.Аникина, Б.П.Банник,
Ю.А.Беликов, Н.С.Глаголева, А.И.Голохвастов, А.А.Кузнецов, Б.А.Кулаков,
Ю.Лукстиныш, Е.А.Матюшевский, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин,
О.В.Охрименко, В.Б.Радоманов, И.С.Саитов, С.А.Седых, В.А.Степаненко,
О.Ю.Тятюшкина, С.А.Хорозов

Г.Г.Таран

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, 117924, Москва

В.П.Кондратьев, Л.В.Краснов, И.В.Степанов

Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского государственного университета, 198904, Санкт-Петербург

Н.Н.Нургожин, Е.К.Хусаинов

Физико-технический институт, МН-АН Республика Казахстан, 480082, г.Алма-Ата

К.Гаевски, Я.Мирковски, З.Павловски, А.Пиатковски

Институт радиоэлектроники Варшавского политехнического института, Польша

М.Стемпински

Кафедра экспериментальных методов ядерной физики Лодзинского университета, Польша

К.Йовчев

Институт ядерных исследований и ядерной энергетики, София, Болгария

Гибридный магнитный спектрометр ГИБС предназначен для исследований в пучках частиц ускорительного комплекса синхрофазотрон—нуклотрон Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. Основным регистрирующим прибором установки является двухметровая стримерная камера. Возможность регистрировать вторичные заряженные частицы в полном телесном угле (4π-геометрия) и отбирать изучаемые события с высоким временным разрешением делает установку ГИБС пригодной для исследований широкого спектра ядерных взаимодействий, в том числе с большой множественностью вторичных частиц и/или очень редких. Именно исследованиям редких процессов были посвящены все проведенные до настоящего времени сеансы облучения установки в пучках релятивистских ядер. Это — центральные столкновения ядер [1], образование легких гиперядер в периферических столкновениях [2] и перезарядка легких ядер [3], происходящие с вероятностью порядка 10^{-4} , 10^{-6} и 10^{-4} соответственно относительно всех неупругих процессов.

Ниже дается краткое описание спектрометра, приводятся его характеристики и основные методические результаты, касающиеся качества получаемого экспериментального материала. Более подробно отдельные узлы спектрометра описаны в соответствующих работах, ссылки на которые содержатся в тексте данной статьи.

Спектрометр

Спектрометр ГИБС был смонтирован в измерительном павильоне с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность его работы как в пучках релятивистских ядер, так и в пучках вторичных частиц и ядер синхрофазотрона и нуклотрона. К настоящему времени спектрометр был использован для регистрации взаимодействий пучков ядер (от водорода до серы) с различными мишенями.

Общий вид спектрометра представлен на рис.1. Выведенный из ускорителя «ПУЧОК» ядер пропускаться через стримерную «КАМЕРУ», расположенную в электромагните «ICP-41», с установленной внутри или вне ее «МИШЕНЬЮ» и далее поглощался в «ЛОВУШКЕ». Сигналы, выделенные с помощью сцинтилляционных счетчиков (и другими возможными детекторами) системы «ТРИГГЕРА», электроника которой размещалась в экспериментальном домике «ЭД1», поступали на аппаратуру «ЗАПУСК ГЕНЕРАТОРА». Сформированный генератором импульсных напряжений (ГИН) с двойной формирующей линией (ДФЛ) высоковольтный импульс по «ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ»

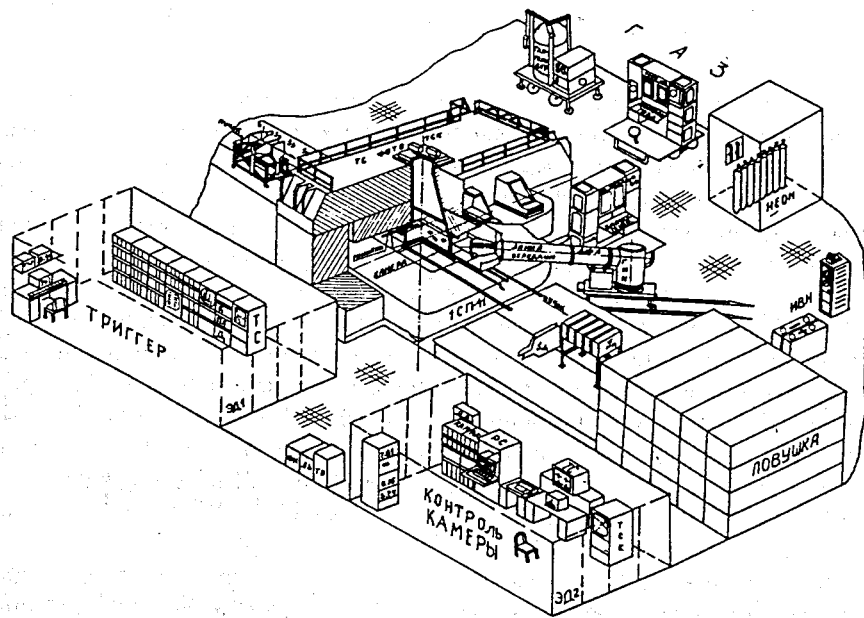


Рис.1. Экспериментальная установка ГИБС

через согласующее устройство «ПЕРЕХОД» поступал на электроды «КАМЕРЫ». При этом стримерные следы, образующиеся по траекториям заряженных частиц, регистрировались с помощью «ФОТОСИСТЕМЫ». ИВН — источники высокого постоянного напряжения для заряда конденсаторов ГИН.

В экспериментальном домике «ЭД2» была расположена электронная аппаратура «КОНТРОЛЯ» режимов работы «КАМЕРЫ» со стойками «КАМАК» и микро-ЭВМ, а также аппаратура телевизионной системы контроля «ТСК», передающая камера которой находилась рядом с «ФОТО». Ввод сети питающего напряжения в «ЭД2» осуществлен через «ФИЛЬТР». Система «ГАЗ» включала в себя уравновешенный «ГАЗГОЛЬДЕР», аппаратуру «КОНТРОЛЬ ГАЗА» и специальное помещение для баллонов с «НЕОНОМ». Для удобства эксплуатации и модернизации аппаратуры она смонтирована на подвижных тележках.

Основным детектором спектрометра является стримерная камера с чувствительным объемом $188 \times 77 \times 58 \text{ см}^3$. Она выполнена из небольшого набора стандартизованных элементов, допускающих различные варианты сборки как по числу элементов (электродов, отсеков), так и по способу их крепления

(клей, упругие уплотнения, герметик). В качестве электродов внутри объема камеры использована почерненная сетка из нержавеющей стали с ячейкой размером $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$ и диаметром проволоки 50 мкм, которая вклеена между металлическими рамами (высоковольтный электрод) и металлической рамой и стенкой — секцией камеры (земляной электрод). При этом обеспечивается эквидистантность электродов, исключаются электрическая корона и световые блики на проволоках, а прозрачность электродов при фотографировании треков остается достаточно высокой — около 80%.

Пучок ускоренных частиц пропусклся через входное и выходное окна на высоте 70 мм над средним (высоковольтным) электродом камеры. Окна закрыты оргстеклом, толщиной 1 мм. Выходное окно было смещено в сторону от линии передачи высоковольтного импульса, т.е. в сторону отклонения магнитом первичного пучка частиц, его центр находился на расстоянии 70 мм от продольной оси камеры. Центр входного окна был смещен на 25 мм от продольной оси в противоположную сторону. Окно для введения сменных, в том числе металлических, мишеней было расположено сбоку на расстоянии 570 мм от передней стенки. Более подробно конструкция камеры и ее размещение в магните приведены в работе [4].

Среднее значение величины индукции магнитного поля в экспериментах составляло $\sim 0,8 \div 0,9 \text{ Тл}$.

Газовый объем стримерной камеры — 950 л. Наполнение камеры рабочим газом (неон с примесью воздуха) и поддержание постоянства его состава обеспечивались с помощью методики, описанной в работе [5]. Для оперативного контроля и измерения примеси воздуха были разработаны специальные малогабаритные газоразрядные датчики [6], установленные непосредственно в стенках корпуса камеры.

Измерение и контроль времени памяти стримерной камеры осуществлялись с помощью вспомогательной бесфильмовой искровой камеры, продуваемой выходящим из стримерной камеры рабочим газом. Этот метод, описанный в работе [7], позволяет достаточно быстро (за $20 \div 30 \text{ мин}$) осуществлять измерение времени памяти ($3 \div 5 \text{ мкс}$) стримерной камеры по характеристикам эффективности вспомогательной искровой камеры без затрат времени ускорителя.

Описание каждого узла и результаты испытаний системы высоковольтного импульсного питания камеры приведены в работе [8]. С целью обеспечения бесперебойного функционирования стримерной камеры в экспериментальных исследованиях на ускорителе созданы две модификации генератора, описанные в работах [9,10]. Эксплуатация генераторов показала, что они обеспечивают надежное (не менее 10^5 срабатываний) питание камеры высоковольтными импульсами с параметрами: амплитуда — 500 кВ, нестабильность амплитуды — $\sim 1\%$, длительность на полувысоте — 12 нс, задержка выходно-

го импульса относительно запускающего — ≤ 500 нс, нестабильность задержки — $\sim 2,5\%$, средняя частота выходных импульсов в экспериментах на ускорителе — $0,1$ Гц.

Генератор, ось которого отклонена по горизонтали от оси камеры на 45° , подключен к последней с помощью специального узла стыковки. Этот узел является также согласующим устройством между коаксиальной линией передачи и электродной системой камеры. При этом зона отклоненного магнитом пучка заряженных частиц и неотклоняемых, летящих вперед, нейтральных частиц позади камеры осталась свободной для размещения других детектирующих устройств спектрометра.

Треки в стримерной камере регистрировались трехобъективным стереофотоаппаратом (стереобаза — 300 мм), закрепленным на вершине конуса, установленного в шахте ярма магнита. Съемка производилась с помощью объективов ОКС5-50-1 и ОКС5-56-1 на высокочувствительную неперфорированную 50 -миллиметровую аэрофотопленку ТИП-24 и ТИП-42. Размеры изображения чувствительного объема камеры на кадре — $18,5 \times 48$ мм². Импульсный запуск стереофотоаппарата и подсветки реперных крестов осуществлялись с помощью аппаратуры, описанной в работе [11].

Комплекс триггерной аппаратуры стримерной камеры установки ГИБС разрабатывался таким образом, чтобы обеспечить эффективное выделение и регистрацию разных исследуемых редких процессов, имеющих место при взаимодействиях релятивистских ядер. Для каждого эксперимента создавалась специальная система триггера.

Общим для всех использованных в экспериментах системах триггера было применение в качестве детекторов сцинтилляционных счетчиков со сцинтилляторами на основе полистирола, фотоумножители которых защищены от магнитного поля и мощных электрических помех, возникающих при подаче на стримерную камеру импульсов высокого напряжения. Свет от тех сцинтилляторов, которые были расположены в области сильных магнитного (до $0,9$ Тл) и электрического (до 15 кВ/см) полей передавался на фотоумножители по световодам длиной 270 см.

Во всех физических экспериментах, проведенных до сих пор на установке ГИБС, алгоритм выделения исследуемых взаимодействий основывался на измерении зарядов налетающего ядра до взаимодействия и релятивистского ядра-остатка после взаимодействия в мишени, а также регистрации релятивистских фрагментов-спектаторов развалившегося ядра-снаряда. Ядро-снаряд и фрагменты-спектаторы (включая нуклоны-спектаторы) от первичного релятивистского ядра летят вперед в узком конусе, и это обстоятельство позволяло достигать высокой геометрической эффективности триггера.

Фоновые условия и разрешение сцинтилляционных счетчиков в режиме определения заряда таковы, что каждую функцию (измерение заряда гиперяд-

ра, измерение заряда распавшегося ядра и т.д.) выполняло несколько детекторов. Пороги регистрирующей электроники подбирались так, чтобы оптимизировать эффективность регистрации и уровень фоновых запусков камеры. Амплитуды с детекторов записывались на диск ЭВМ (АТ 386), что позволяло в последующем анализе уточнять правомерность триггера (например, применяя ранговую статистику). Также фиксировались и другие данные о работе системы триггера, например, амплитуды калибровочных сигналов.

С помощью группы счетчиков S_A (рис.2) измерялись заряд и направление заряженных частиц в зоне пучка до мишени и выделялись пучковые частицы, имеющие заданные параметры ядра-снаряда. При переходе от одного эксперимента к другому эта группа счетчиков существенным образом не изменялась. Типичный состав группы S_A (на примере гиперядерного эксперимента [12]) — первый счетчик со сцинтиллятором $200 \times 200 \times 5$ мм³ и второй (у входного окна камеры) — со сцинтиллятором $50 \times 30 \times 10$ мм³ и длинным световодом. В некоторых экспериментах добавлялись вето-счетчики для уменьшения вероятности ложных запусков стримерной камеры от взаимодействия в мишени частиц из «галло»-пучка.

В эксперименте по исследованию центральных соударений $^{24}\text{Mg}-\text{Mg}$ при импульсе $4,5$ ГэВ/с на нуклон [13] заряженные продукты взаимодействия релятивистских ядер магния с ядрами магниевой мишени регистрировались группой счетчиков S_C (рис.2 а), а нейтральные — группой S_N . Счетчики обеих групп перекрывали телесные углы (конусы с углом $2,4^\circ$) вылета частиц-спектаторов от фрагментации ядра-снаряда, отсутствие сигнала от которых означало, что произошло взаимодействие всех нуклонов ядра-снаряда, с ядром мишени, что, в свою очередь, вследствие равенства размеров соударяющихся ядер, означало малость прицельного параметра соударения. Группа счетчиков S_N была выполнена в виде «сэндвича» из пяти слоев, каждый из которых имел 10 см железа и 2 см пластика.

Такой триггер позволил с высокой эффективностью зарегистрировать события процесса, идущего с вероятностью $\sim 4 \cdot 10^{-4}$ от неупругого взаимодействия ядер.

При проведении экспериментов по исследованию образования и распада релятивистских гиперядер [2] счетчики группы S_C (рис.2б) полностью перекрывали телесный угол вылета ядра-остатка от пионного распада гиперядер внутри чувствительного объема стримерной камеры, и с их помощью измерялся его заряд. Счетчики группы S_B были предназначены для измерения заряда гиперядра, вылетевшего из мишени, расположенной вне камеры непосредственно перед ее входным окном.

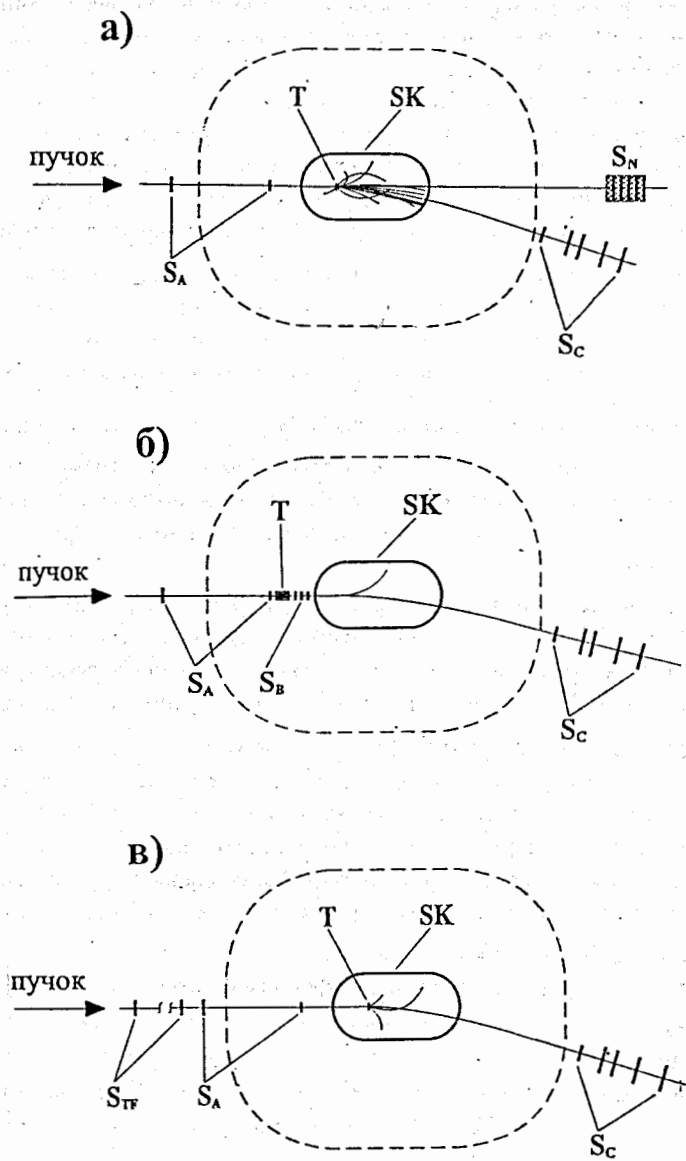


Рис.2. Схема расположения детекторов триггерной системы в экспериментах. Пунктиром обозначен внешний контур обмоток магнита ИСП-41. T — мишень, SK — стримерная камера

Для запуска стримерной камеры и фотографической регистрации события требовалось, чтобы группой счетчиков S_B была зарегистрирована частица с зарядом, равным заряду исследуемого гиперядра, а группой S_C — с зарядом на единицу большим, соответствующим ядру-остатку, образуемому в результате мезонного распада гиперядра, в пространственном интервале между этими группами счетчиков, в основном в чувствительном объеме стримерной камеры.

Этот триггер подавлял фоновые события на четыре порядка и позволил регистрировать исследуемые события, происходящие с вероятностью порядка 10^{-6} от неупругих взаимодействий. Подробное его описание дано в [12,14].

В экспериментах по исследованию перезарядки ^3H в ^3He и ^7Li в ^7Be [3] использовалась более простая по сравнению с гиперядерным схема триггера (рис.2в). Поскольку мишень помещалась внутри камеры и исследовался одноступенчатый процесс, использовались только счетчики групп S_A и S_C . Для запуска стримерной камеры требовалось увеличение заданного заряда исследуемого ядра на единицу при пролете между этими двумя группами счетчиков, т.е. в подавляющем числе случаев в мишени.

Данный триггер позволил с высокой эффективностью зарегистрировать события перезарядки релятивистских ядер без изменения их атомного веса, происходящей с вероятностью порядка 10^{-4} от неупругих взаимодействий.

В случае необходимости использовалась времяпролетная система [15], измеряющая время пролета частиц между счетчиками группы S_{TF} (рис.2в) с точностью 0,1 нс. Она была разработана и применена для измерения импульса тритонов в пучке, имеющем среднее значение импульса 6 ГэВ/с, с точностью 0,2% на пролетной базе 77 м.

Контроль положения пучка на мишени осуществлялся несколькими сцинтилляционными годоскопами с отображением на дисплее ЭВМ профиля и положения пучка в заданных точках.

Система контроля стримерной камеры спектрометра [16,17], обеспечивала контроль основных параметров рабочих режимов камеры: амплитуды и задержки высоковольтного импульса на электродах камеры и выходе генератора, давления и температуры в камере, кожухе и окружающей среде, напряжений высоковольтных источников питания генератора, давления в разрядниках генератора и в передающей импульс линии, величины магнитного поля. Система накапливала данные об условиях проведения сеанса и фотографирования следов ядерных взаимодействий в камере — число первичных частиц (в цикле и общее), время работы ускорителя, число запусков и срабатываний камеры (генератора), фоторегистратора, номера фотопленок и снимков, а также другую текущую информацию.

Непрерывный прием, накопление, анализ информации и фиксирование аварийных ситуаций обеспечивались с помощью микро-ЭВМ и промышленной аппаратуры КАМАК. Для наладки и тестовых проверок системы использовалось специально разработанное устройство, способное имитировать сигналы всех каналов в требуемой временной последовательности, причем оператор с помощью коммутатора мог осуществить переключение как всех каналов одновременно, так и любого из них. Информация о всех сигналах выводилась помимо цветного монитора на печатающее устройство в виде общего рапорта автоматически два раза в смену или по желанию оператора. Программа позволяла иметь информацию об эффективности работы всех систем в отдельности и спектрометра в целом.

Высокий уровень электромагнитных помех от работающей стримерной камеры потребовал защиты системы от сбоев в работе. Для этого ЭВМ размещалась в экранированном экспериментальном домике, были применены трансформаторные развязки и фильтры питающей сети.

Для оперативного визуального наблюдения за работой стримерной камеры во время эксперимента использовалась телевизионная система контроля (ТСК), описанная в работах [18,19]. Эта система позволяла регистрировать, запоминать и далее отображать на экране ТВ-монитора весь чувствительный объем стримерной камеры, что давало возможность выбирать условия экспозиции и получать сведения о режиме работы стримерной камеры и системы триггера. Преобразование световой информации в электрический сигнал (развертка изображения) осуществлялось в телевизионном стандарте.

Параметры стримерных следов в камере и точностные характеристики спектрометра

Как отмечалось выше, для фотографирования треков в стримерной камере были использованы аэрофотоэмульсии — ТИП-24 (чувствительность $S_{0,85} = 4500$ ед.ГОСТ, измеренная разрешающая способность $R = 40 \text{ мм}^{-1}$) и ТИП-42 (чувствительность $S_{0,85} = 1400$ ед.ГОСТ, $R = 75 \text{ мм}^{-1}$). Дело в том, что если для регистрации следов релятивистских однозарядных частиц наиболее подходящей оказалась самая чувствительная фотоэмульсия ТИП-24, несмотря на ее сравнительно невысокую фотографическую широту, то для регистрации следов частиц с сильно различающейся ионизирующей способностью необходима пленка с большой фотографической широтой и хорошими противоореальными свойствами. Когда в камере происходят взаимодействия релятивистских ядер, в том числе и многозарядных, с ядрами мишени, наряду с этими ядрами возникают релятивистские однозарядные частицы с минимальной ионизирующей способностью; с одной стороны, и сравнительно мед-

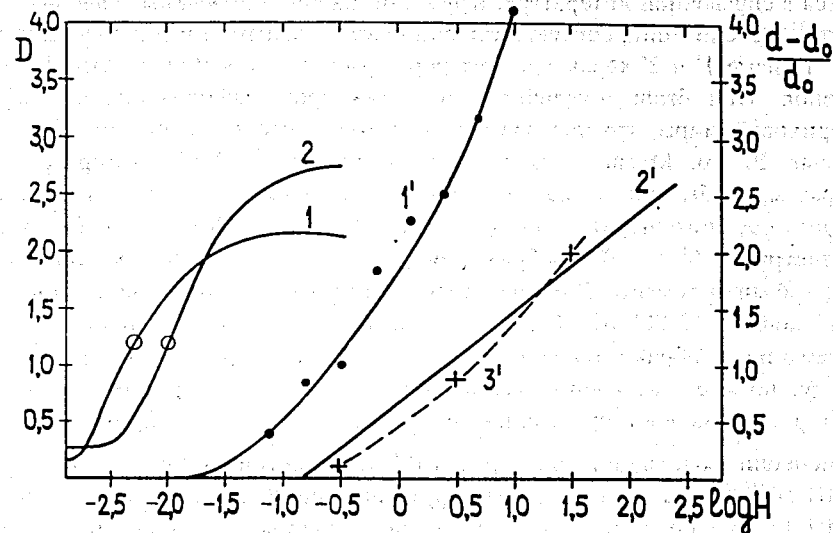


Рис.3. Характеристические кривые (1, 2) и перегрузочная способность (1', 2') аэрофотоэмульсий типов 24 (1, 1') и 42 (2, 2'). Кривая 3' — перегрузочная способность фотоэмульсии «Кодак S0-122» по данным работы [20]. H — величина экспозиции, D — почернение фотослоя, d, d_0 — размеры изображения миры

ленные сильноионизирующие осколки ядер, летящие под любым углом к направлению электрического поля, вплоть до совпадения с его направлением, с другой стороны. Такой осколок создает искровой след в стримерной камере с яркостью, на несколько порядков превышающей яркость средних стримеров на следе релятивистской частицы, и вызывает сильное размытие изображения на снимке вплоть до общей засветки данного участка, так как фотографическая широта пленки заведомо не хватает. Поэтому качество снимков помимо чувствительности, разрешающей способности и широты фотоэмульсии зависит от характеристик, связанных с большой перегрузкой по свету чувствительного фотослоя.

На рис.3 приведены сенситометрические характеристики, полученные в фотолаборатории ОИЯИ для двух типов аэрофотоэмульсий, использованных при фотографировании камеры ГИБС.

Кривые 1 и 2 характеризуют светочувствительность и фотографическую широту этих пленок. Подобные характеристические кривые обычно приво-

дятся в справочной литературе. Кружками на рис.3 отмечены значения почернений и экспозиций, соответствующие максимальным разрешениям фотослоя.

Кривые 1' и 2' характеризуют перегрузочную способность этих же фотопленок. Они были получены с помощью фотографирования стандартной штриховой миры, группы элементов которой расположены по спирали на базе 20 мм. Масштаб фотографирования миры (1:32) выбирался таким образом, чтобы при нормальном почернении фотослоя ширина изображения самого крупного штриха (или интервала между ними) была близка к среднему диаметру (~40 мкм) изображения стримеров на фотослое при фотографировании камеры. В процессе фотографирования миры экспозиция менялась почти в 10 000 раз. С ростом экспозиции происходит слияние штрихов, затем мира изображается сплошным кружком диаметром d , размеры которого растут по мере увеличения экспозиции. Кривые 1', 2' отражают относительный рост размеров изображения миры с исходным базисом d_0 . Видно, что при изменении экспозиции диаметр кружка изображения миры для фотопленки ТИП-24 резко растет (слабая перегрузочная способность по экспозиции). Для ТИП-42 рост более плавный и подобен характеристике фотопленки «Кодак SO-122» (получены по данным работы [20]).

Следует отметить, что при непрерывной работе стримерной камеры в длительном сеансе на ускорителе имеют место колебания давления и температуры рабочего газа внутри объема камеры, обусловленные изменениями атмосферного давления и температуры окружающей среды. Кроме того, камера, размещенная в зазоре электромагнита, подвергается дополнительным колебаниям температуры, связанным с работой самого электромагнита (включение, выключение, изменение величины тока). Таким образом, происходят медленные изменения условий образования стримерных следов в камере. Поэтому для поддержания требуемого качества снимков нельзя ограничиться стабилизацией параметров высоковольтного импульса и состава газового наполнения. Возникает необходимость в постоянной коррекции режима работы камеры. Такая коррекция режима работы камеры в спектрометре ГИБС осуществлялась с помощью соответствующего регулирования амплитуды высоковольтного импульса при его фиксированной длительности и стабилизированном составе газового наполнения.

В самом деле, как показано в работе [21], в стримерной камере поверхностная плотность излучения электронной лавины — σ и, соответственно, стримерного следа в целом пропорциональны произведению αEN , где α — первый коэффициент ионизации Таунсенда, E — напряженность электрического поля в камере, N — число электронов в лавине. Считая, что $\alpha/p = f(E/p)$, точнее, $\alpha/n = f(E/n)$, где p — давление, n — плотность газа, зависящая от его температуры T , и аппроксимируя функцию зависимости α/n степенной, можно ограничиться первым членом разложения

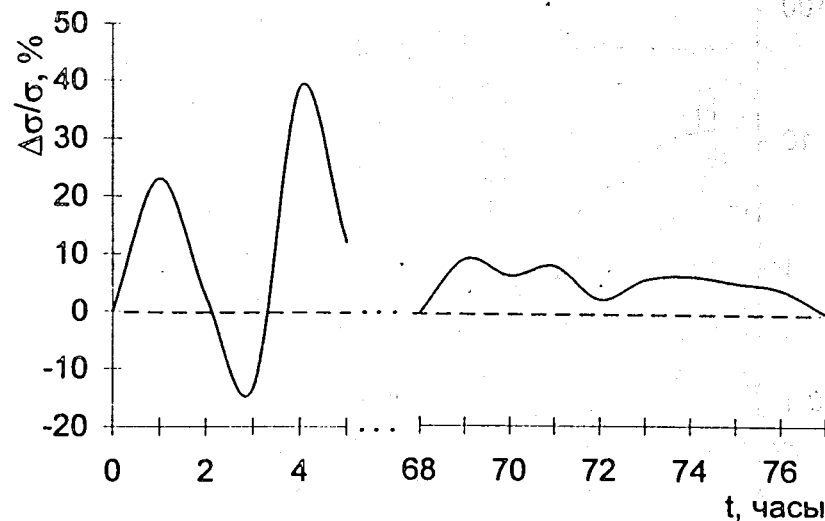


Рис.4. Изменения относительной величины $\Delta\sigma/\sigma$ от времени при вводе камеры в рабочий режим

$\alpha/n \sim (E/n)^m$. Тогда относительные изменения σ в зависимости от относительных изменений E , p и T равны

$$\Delta\sigma/\sigma = (\Delta E/E)(m+1)(1 + \ln N) - (\Delta P/P - \Delta T/T)[m(1 + \ln N) - 1].$$

Величина $\ln N$ практически постоянна и равна приблизительно 20 для стримерной камеры с неоном при развитии лавины от одиночных электронов. Показатель степени m зависит от чистоты рабочего газа и для неона с примесью воздуха может быть принят равным единице.

На рис.4 приведены рассчитанные по этой формуле зависимости $\Delta\sigma/\sigma$ от времени, определяемые текущими значениями E , p и T в одном из сеансов облучения камеры на синхрофазотроне. В начале сеанса когда, как обычно, режим камеры устанавливается и подстраивается, отмечаются значительные изменения величины σ (до 40% и более). Затем режим работы камеры постепенно стабилизируется с помощью коррекции амплитуды высоковольтного импульса, осуществляемой в зависимости от текущих данных, получаемых от системы контроля. Существенных отличий в качестве фотоснимков в среднем при этом не наблюдается.

Таким образом, постоянство величины σ может служить более общим критерием качества получаемых в длительном сеансе снимков, а под-

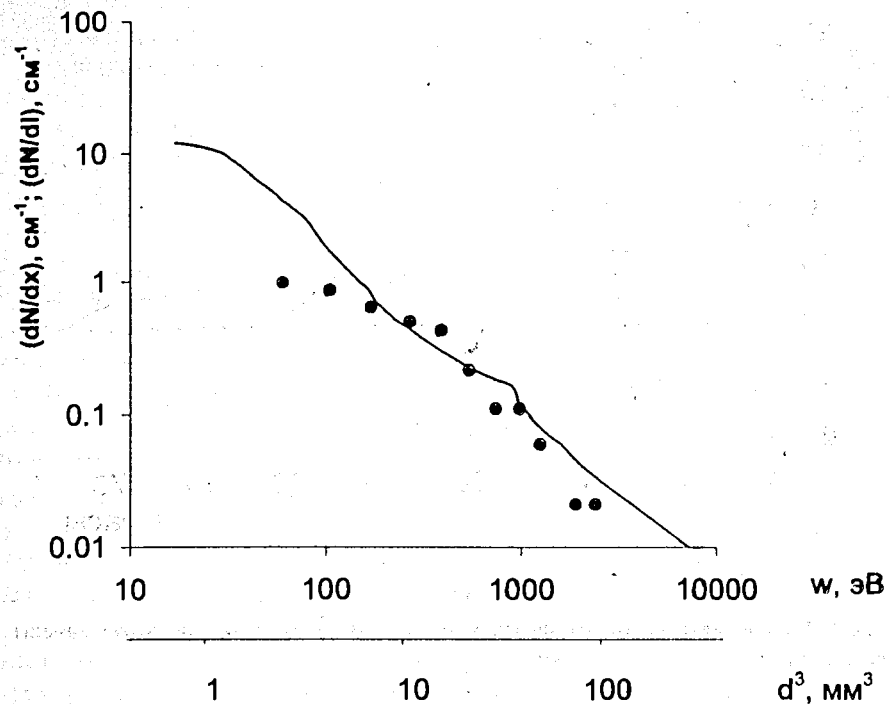


Рис.5. Ограниченное число столкновений dN/dx в неоне при нормальных условиях в минимуме ионизации [23] (сплошная кривая) и число стримеров dN/dl , куб диаметров которых больше данного (точки)

держивать это постоянство можно автоматической коррекцией амплитуды высоковольтного импульса, с помощью, например, измерений световой энергии треков [22]. Здесь необходимо, однако, учитывать, что световая энергия и, соответственно, степень почернения следов на фотослое будут зависеть не только от стабильности параметров высоковольтных импульсов, но и в значительной степени от флуктуаций потерь энергии частицы, регистрируемой в стримерной камере, как в детекторе с «тонким слоем» вещества.

Для самого стримерного следа в камере характерен большой разброс размеров стримеров и заметно меньшая, чем удельная первичная ионизация, их плотность на следе. На рис.5 представлена теоретическая [23] кривая ограниченного числа столкновений dN/dx в неоне при нормальных условиях в минимуме ионизации в зависимости от потерь энергии больше данной (условие $w > w_0$). На этом же рисунке в виде точек представлены измеренные

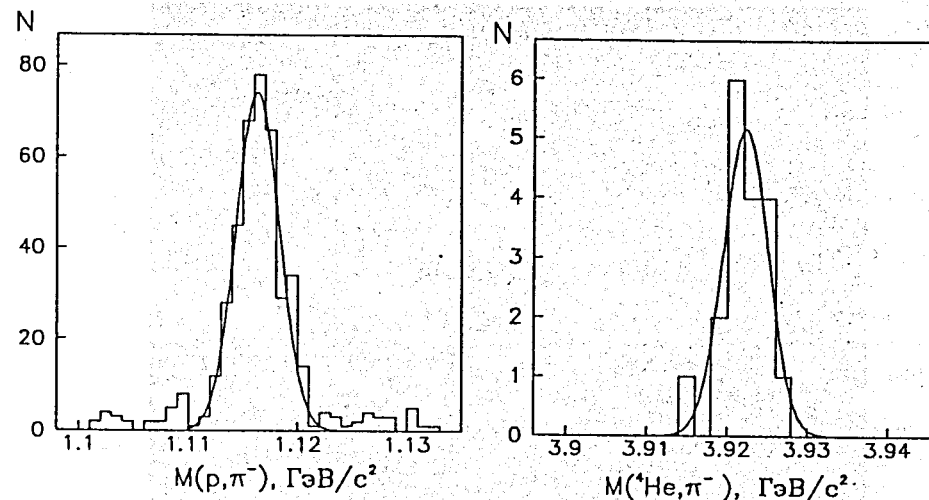


Рис.6. Распределение эффективных масс системы (ρ, π^-) , в событиях с распадом Λ -частицы в эксперименте [25]. Кривая — результат аппроксимации с нормальным распределением с параметрами: среднее значение — $1,116 \text{ ГэВ}/c^2$, $\chi^2/\text{число степеней свободы}$ — $34/16$, среднеквадратичное отклонение — $9 \text{ МэВ}/c^2$

Рис.7. Распределение эффективных масс системы $({}^4\text{He}, \pi^-)$ в событиях с пионным распадом гиперядра ${}^4_\Lambda\text{H}$ в эксперименте [26]. Кривая — результат аппроксимации нормальным распределением с параметрами: среднее значение — $3,922 \text{ ГэВ}/c^2$, среднеквадратичное отклонение — $3 \text{ МэВ}/c^2$, $\chi^2/\text{число степеней свободы}$ — $1,6/3$

[24] по следу релятивистской однозарядной частицы на снимке камеры спектрометра ГИБС значения числа стримеров dN/dl , куб диаметров которых больше данного (условие $d^3 > d_0^3$). Видно, что выше энергетического порога регистрации камеры ($\sim 150 \text{ эВ}$) эти кривые соответствуют друг другу. То есть поперечные размеры стримеров зависят от локальных энергетических потерь частицы, которые обуславливают образование кластеров-сгустков свободных электронов, дающих начало лавинно-стримерному процессу при подаче высокого напряжения. Энергетическому порогу регистрации 150 эВ будет соответствовать кластер с числом электронов (кратностью) ~ 4 , так как на образование одной электрон-ионной пары затрачивается в среднем энергия величиной $36,4 \text{ эВ}$.

Практически все стримерные камеры, используемые в экспериментальных установках, имеют эффективный порог регистрации по кратности кластера, значительно превышающий единицу, т.е. стримерный след в них образуется в

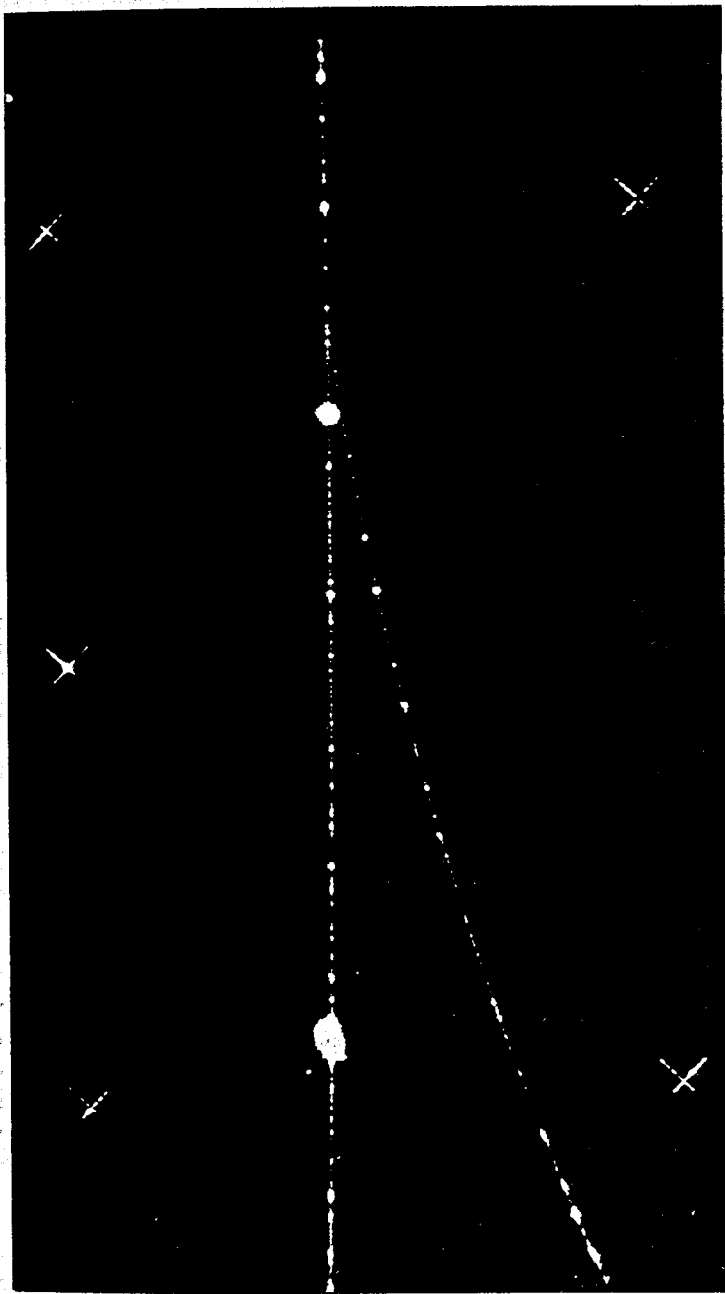


Рис.8. Характерная картина распада гиперядра водорода в стримерной камере

основном кластерами электронов, так как низкий порог приводит к дополнительной перегрузке регистрирующих устройств по свету стримеров от многоэлектронных кластеров и энергичных δ -электронов, не выходящих за ширину следа по пробегу. Наблюдаемая на следе плотность стримеров однозначно определяется эффективным энергетическим порогом регистрации. Существование эффективного порога регистрации по кратности должно учитываться при измерении коэффициента диффузии электронов по фотографиям стримеров.

Точность измерения координат в стримерной камере установки ГИБС характеризуется среднеквадратичным разбросом в 0,3 мм измеренных координат точек относительно линии, аппроксимирующей траекторию заряженной частицы в пространстве камеры. Точность определения координат невидимой вершины взаимодействия в многолучевых событиях внутри твердой мишени вдоль пучка не хуже 1 мм.

Точности определения импульсов по фотографиям со стримерной камеры составляли $\sim 1\%$ для однозарядных частиц при ≤ 1 ГэВ/с (пионы) и $\sim 3,5\%$ при ~ 4 ГэВ/с (протоны), для двухзарядных частиц $\sim 6\%$ при ~ 17 ГэВ/с. В результате в эксперименте [25] в спектре эффективных масс системы $p\pi^-$ от распада Λ -частиц (рис.6), имеющих широкий спектр импульсов, среднеквадратичное отклонение составило $\sim 2,2$ МэВ/с², а в эксперименте [26] в спектре системы ${}^4\text{He}, \pi^-$ от распада гиперядра ${}^4_\Lambda\text{H}$ (рис.7) с импульсом ~ 17 ГэВ/с — $2,7$ МэВ/с². В обоих случаях средние значения спектров совпадают с табличными в пределах ошибок определения, что свидетельствует об отсутствии заметных систематических ошибок.

На рис.8 приведена фотография распада гиперядра водорода в стримерной камере.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Н.Н.Графову за активное участие в изготовлении, наладке и эксплуатации всех узлов спектрометра; В.А.Бутенко, В.А.Дроздову, обеспечившим работу телевизионной системы контроля в сеансе облучения ГИБС; Н.Б.Едовиной, проводившей серию измерений сенситометрических характеристик использованных аэрофотопленок, и Е.А.Матюшиной за помощь при оформлении данной статьи.

Литература

1. Аникина М.Х., Абдурахимов А.У., Авраменко С.А. и др. — Сообщение ОИЯИ, Дубна, 1989, №1[34]-89.
2. Avramenko S.A., Aksinenko V.D., Anikina M.Kh. — Nuclear Phys. 1992, v.A547, p. 95-100.
3. Avramenko S.A., Aksinenko V.D., Anikina M.Kh. — Nucl. Phys. 1996, v.A596, p.355.
4. Аксиненко В.Д., Варденга Г.Л., Глаголева Н.С. и др. — ПТЭ, 1993, №1, с.90.
5. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Мандрик О.Ю. и др. — ПТЭ, 1993, №5, с.43.

6. Аксиненко В.Д., Волков Ю.Н., Матюшин А.Т. и др. — ПТЭ, 1993, №2, с.204.
7. Аксиненко В.Д., Володин В.Д., Глаголева Н.С. и др. — ПТЭ, 1995, №5, с.58.
8. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А. и др. — Сообщение ОИЯИ, 13-87-773, Дубна, 1987.
9. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Дементьев Е.А. и др. — ПТЭ, 1987, №3, с.97.
10. Аксиненко В.Д., Дементьев Е.А., Каминский Н.И. и др. — ПТЭ, 1989, №2, с.120.
11. Абдурахимов А.У., Аникина М.Х., Балдин А.М. и др. — ПТЭ, 1978, №5, с.53.
12. Беликов Ю.А., Голохвастов А.И., Кондратьев В.П. и др. — Сообщение ОИЯИ P1-91-209, Дубна, 1991.
13. Авраменко С.А., Абдурахимов А.У., Аксиненко В.Д. и др. — ЯФ, 1992, т.55, вып.3, с.721.
14. Базылев С.Н., Беликов Ю.А., Голохвастов А.И. и др. — Сообщение ОИЯИ, P10-90-533, Дубна, 1990.
15. Авраменко С.А., Беликов Ю.А., Голохвастов А.И. и др. — Сообщение ОИЯИ, P1-96-281, Дубна, 1996.
16. Бжески П., Гаевски К., Глаголева Н.С. и др. — Сообщение ОИЯИ, 13-88-686, Дубна, 1988.
17. Бжески П., Гаевски К., Глаголева Н.С. и др. — Сообщение ОИЯИ, 13-88-687, Дубна, 1988.
18. Бутенко В.А. Выскочил С., Дроздов В.Д. и др. — Сообщение ОИЯИ, 13-85-810, Дубна, 1985.
19. Бечер Ю., Бутенко В.А., Завьялов В.Ф. и др. — Сообщения ОИЯИ, P13-12473, Дубна, 1979.
20. Villa F. — The Streamer Chamber. In: Proc. 1973 Int. Conf. on Instr. for High Energy Physics, Italy, Frascati, 1973, p. 122.
21. Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Нургожин Н.Н. — Сообщение ОИЯИ, P13-83-328, Дубна, 1983.
22. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т. и др. — А.С.№1660496 ОИПОТЗ, №9, 1994, с.184.
23. Будагов Ю.А., Мерзон Г.И., Ситар Б. и др. — Ионизационные измерения в физике высоких энергий, Энергоатомиздат, М. 1988, с.46.
24. Аксиненко В.Д., Волков Ю.Н., Глаголева Н.С. и др. — Сообщение ОИЯИ, P1-92-263, Дубна, 1992.
25. Авраменко С.А., Абдурахимов А.У., Аксиненко В.Д. и др. — Сообщение ОИЯИ, P1-91-235, Дубна, 1991.
26. Abdurakhimov A.U., Aksinenko V.D., Anikina M.H. et al. — Nuovo Gim. 1989, v.102A, p. 645-652.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 апреля 1998 года.