



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С 344.1
Ф-534

А.И. Филиппов

1766

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ КАМЕР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ ОИЯИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических
н а у к

Р.М.Суляев

Дубна 1964

СЗУУ.1
ФР-534

А.И. Филиппов

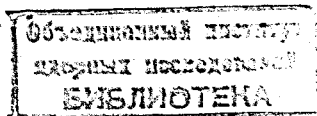
1766

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ КАМЕР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ ОИЯИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических
н а у к

Р.М.Суляев



Дубна 1964

В в е д е н и е

Среди приборов, используемых для регистрации актов взаимодействия при проведении исследований на ускорителях, довольно широкое распространение получили диффузионные камеры. Они, в известной мере благодаря простоте конструкции и легкости в эксплуатации, оказались более эффективными, чем камера Вильсона. В первую очередь это относится к диффузионным камерам высокого давления (20 - 30 атм), предназначенным для работы с легкими газами, такими, как водород и гелий. Правда, в последние годы диффузионные камеры вытесняются из практики физического эксперимента с частицами высоких энергий пузырьковыми камерами. Однако для решения ряда задач диффузионные камеры применяются и будут применяться в дальнейшем, так как они могут оказаться единственным или наиболее эффективным прибором, позволяющим выполнить намеченный эксперимент. Так, например, диффузионная камера дает возможность производить регистрацию заряженных частиц очень низких энергий, что затруднительно сделать с помощью других приборов.

В первых трех главах диссертации содержится описание конструкций использованных камер, а также обсуждаются некоторые вопросы, связанные с их работой. Рассмотрены проблемы, возникающие в связи с применением гелия-3 для наполнения камеры, и пути их решения. Описана технология и аппаратура для очистки He^3 от примеси трития до высокой степени чистоты ($\text{H}^3/\text{He}^3 < 10^{-15}$). Приведены наиболее важные характеристики вспомогательной аппаратуры.

В следующих главах описаны конструкции приборов, созданных для обработки стереофотографий. Изложены соображения, которые были приняты за основу при их разработке. Обсуждаются некоторые вопросы, связанные с обработкой экспериментальных данных.

В заключение приведены краткие сведения о наиболее интересных результатах экспериментов, выполненных с помощью описанной аппаратуры на синхротронном ОИЯИ.

Диффузионные камеры высокого давления

Для проведения серии экспериментов по изучению взаимодействия мезонов и протонов с ядрами легких элементов (водород, гелий) были созданы три диффузионных камеры. Все они рассчитаны на работу при давлении газа 20 - 25 атм. При выборе размера камер было принято компромиссное решение, вытекающее из желания иметь, с одной стороны, достаточно большую камеру, чтобы обеспечить набор необходимой статистики за короткое время, и, с другой стороны, - сравнительно легкую и экономичную установку.

Диффузионная камера ДК-1 представляет собой сварную конструкцию из нержавеющей стали с двумя парами окон для фотографирования и освещения. Конструкция выполнена таким образом, что герметичность окон достигается за счет самоуплотнения под действием давления газа изнутри камеры. Рабочий диаметр камеры 270 мм. Дно камеры непосредственно охлаждалось смесью сухого льда с этиловым спиртом до температуры -65°C . Температурное распределение в объеме камеры задавалось плексигласовым цилиндром толщиной 8 мм, помещенным внутри камеры между дном и желобом с метиловым спиртом, служившим источником пара.

Конструкция камеры ДК-2 в существенной мере определялась тем, что она предназначалась для использования в поле магнита-соленоида МС-4. Камера выполнена таким образом, что она могла свободно помещаться в отверстие магнита без разборки последнего. Рабочий размер камеры 300 мм. Охлаждение ее производилось путем прокачки предварительно охлажденного в теплообменнике (смесью сухого льда со спиртом) хладоносителя по змеевику, припаянному ко дну камеры. В качестве осветительных окон употреблялись полуцилиндрические стекла из плексигласа размером $300 \times 50 \text{ мм}^2$ толщиной 25 мм. Установленные на прокладках из вакуумной резины, они уплотнялись главным образом за счет внутреннего давления. Такая конструкция уплотнения осветительных окон позволяла наиболее эффективно использовать рабочий объем магнита и прекрасно себя зарекомендовала в работе. Температурное распределение так же, как и в ДК-1, задавалось с помощью плексигласового цилиндра.

Для изучения захвата отрицательных мюонов и пионов в гелии-3 необходимо было иметь диффузионную камеру, которая позволяла бы эффективно использовать ограниченное количество этого дорогого и редкого газа и сохранить его от потерь в процессе длительных экспериментов. Такая камера была создана путем реконструкции ДК-2, казавшейся в основном ее внутренними элементами. Идея изменений заключалась в том, что внутрь несущей силовую нагрузку оболочки ДК-2 была помещена легкая герметичная камера, рассчитанная на небольшой перепад давления ($\approx 1 \text{ атм}$). В этой камере

температурное распределение задавалось с помощью стеклянного цилиндра, изготовленного из бескальевого стекла. Цилиндр прижимался ко дну камеры цилиндрическими пружинами, что обеспечивало надежность уплотнений при низкой температуре и способствовало более равномерному распределению нагрузки по цилиндру. Внешняя оболочка камеры ДК-2 заполнялась водородом под давлением несколько большим, чем давление в камере ($\approx 0,25 \text{ атм}$), за счет чего создавалось дополнительное самоуплотнение камеры. В качестве источника пара служили фитили, опущенные в углубления на дне камеры; по фитилям метиловый спирт поднимался под действием капиллярных сил вверх и затем, испаряясь, диффундировал в объем камеры. Камера такой конструкции может находиться в периодической или непрерывной эксплуатации неограниченно долгое время, так как она не нуждается в пополнении спиртом источника пара и конструктивные элементы ее не разрушаются со временем под действием среды, а также отсутствуют потери газа из-за утечек. При работе с He^3 длительность некоторых непрерывных экспозиций доходила до месяца. Чувствительный объем составлял $\approx 45\%$ от всего объема камеры.

Во всех камерах необходимые температурные распределения задавались и поддерживались с помощью электрических нагревателей. Для контроля за температурой дна камеры, источника пара и т.д. использовались термодары (медь-константан). Величина очищающего электрического поля обычно составляла 1000 в. В качестве рабочей жидкости применялся метиловый спирт. При температуре дна камеры $-(65 \div 70)^{\circ}\text{C}$, источника пара $+(10 \div 15)^{\circ}\text{C}$ градиент температуры в чувствительной области составлял $7 \div 8^{\circ}\text{C}/\text{см}$; высота слоя обычно была $6 \div 7 \text{ см}$.

В диссертации сообщается об исследованиях по изучению основных характеристик камеры. Результаты измерений находятся в согласии с теоретическими оценками минимального градиента температур, необходимого для создания чувствительной области. Подтверждается возможность моделирования в камере, наполненной воздухом при атмосферном давлении, температурных условий, имеющих место при высоком давлении легких газов. Показано, что в результате развития поверхности испарения жидкости время восстановления камеры после мощного кратковременного импульса облучения заметно сокращается. Обсуждается вопрос о влиянии незаряженных центров конденсации на работу камеры. Обращается внимание на тот факт, что источниками незаряженных центров могут быть некоторые вещества, вносимые в камеру с газом, рабочей жидкостью или используемые в качестве конструкционных материалов.

Использование гелия-3 для наполнения диффузионной камеры

Имевшийся в нашем распоряжении He^3 содержал $\approx 0,1\%$ примеси трития, в то время как для нормальной работы диффузионной камеры эта примесь не должна превышать 10^{-15} . Очистка газа от примеси трития проводилась методом конденсации с последующим испарением He^3 при температуре $\approx 1,2^\circ\text{K}$. Цикл очистки повторялся четыре раза, причем перед началом ожижения, начиная со второго цикла, в очищаемый газ добавлялось небольшое количество водорода ($\approx 0,005\%$). Принимались меры предосторожности для того, чтобы исключить возможность загрязнения очищенного газа тритием. Описана технология очистки и метод контроля чистоты газа. Содержание трития в газе после проведения очистки было 10^{-15} . Решена также задача о выделении He^3 из смеси его с водородом.

В диссертации приведено описание установки для наполнения камеры гелием-3 до давления 20 атм и его эвакуации. Особое внимание обращалось на создание условий, исключающих потери газа. При каждой экспозиции потери газа не превышали 0,1%. Для нагнетения газа в камеру использовался специально сконструированный герметичный компрессор КГЛ производительностью 210 л/час. Проведена герметизация обычного форвакуумного насоса, что позволило использовать его для перекачки He^3 .

Созданная установка, а также ее отдельные узлы с успехом могут быть применены при проведении других работ с чистыми, редкими или ядовитыми газами.

Вспомогательная аппаратура

Камеры ДК-2 и ДК-2М помещались при проведении некоторых экспериментов в магнитное поле магнита-соленоида МС-4. Этот магнит разработан в 1958 году по нашему заданию с учетом опыта эксплуатации построенных ранее магнитов МС-1 и МС-2, он предназначался для работы как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Магнит снабжен для удобства эксплуатации юстировочными устройствами. Исследовались рабочие характеристики магнита. При напряженности магнитного поля ≈ 12000 эрстед неоднородность поля по всему рабочему объему не превышала $\pm 4\%$.

Диффузионная камера не может работать в условиях большой ионной нагрузки. Поэтому при экспозициях камер синхроциклотрон работал в импульсном режиме ускорения. Интервалы времени между излучениями частиц ускорителем определялись временем восстановления чувствительности камеры и составляли от 6 до 20 сек в зависимости от ионной нагрузки и фоновых условий. Синхронное управление работой ускорителя и исполнительных устройств камеры по заданному циклу осуществлялось специальной электронной аппаратурой.

Освещение рабочего объема камер производилось под углом 90° к направлению фотографирования. Использовались осветители с импульсными лампами ИФП-500, снабженные конденсором из двух цилиндрических линз. Рассмотрены источники нежелательных засветок в камере и меры по их устранению.

Фотографирование следов частиц в камерах производилось стереофотоаппаратами с базой 120 мм на 35-миллиметровую пленку "Панхром-10". Приведены условия фотографирования для всех камер.

Приборы для обработки стереофотографий

Обычно обработка экспериментальных данных, полученных с помощью диффузионной камеры, сводится к следующим операциям: 1) просмотру стереофотографий для нахождения интересующих экспериментатора случаев взаимодействия; 2) измерению кинематических характеристик взаимодействующих частиц (кривизна следов, пространственные углы между ними, пробег частиц и т.д.); 3) математической обработке результатов измерений и внесению необходимых поправок.

Просмотр фотографий обычно производился через стереолупу. Такой метод просмотра позволяет наблюдать пространственное расположение следов и легко исключать случайные наложения следов разных частиц.

Для проведения части координатных измерений следов использовались серийный стереокомпаратор и микроскоп УИМ-21. Эти приборы применялись на ранней стадии работы, а также при проведении некоторых методических исследований.

Метод репроектирования позволяет добиться большой скорости обработки стереофотографий, а также существенно сократить аналитические расчеты результатов измерений. Кроме того, он дает возможность автоматически компенсировать большую часть оптических искажений, возникающих при фотографировании. Для обработки стереофотографий был разработан репроектор, обладающий большей универсальностью по сравнению с известными. Универсальность прибора достигнута благодаря многим степеням свободы перемещения экрана $\varnothing 360$ мм в пространстве и независимому движению проектирующей головки относительно экрана в пределах от 300 до 1000 мм. Помещение экрана на взаимно-перпендикулярные подвижные каретки позволяет проводить также координатные измерения следов с точностью $\pm 0,1$ мм. В диссертации приведены технические характеристики репроектора; обсуждаются возможности выполнения непосредственных измерений некоторых кинематических характеристик взаимодействия, а также сообщается о результатах исследования погрешностей, возникающих при измерениях. Опыт эксплуатации репроектора и изучение погрешностей измерений

показали, что он может с успехом применяться для быстрой обработки случаев взаимодействия с хорошей точностью. В большей части проведенных нашей группой экспериментов измерения выполнены на таком репроекторе.

Для обработки стереофотографий координатным методом был разработан полуавтоматический стереокомпаратор. Принцип действия компаратора заключается в том, что измерительная марка проектируется через ту же оптическую систему, которая использовалась при фотографировании, на пленку с изображением следов и рассматривается через стереолупу. При этом автоматически компенсируются оптические искажения следов. Экран с помещенной на нем маркой может перемещаться в пространстве вдоль осей x и y в пределах ± 180 мм, а вдоль оси z - в пределах ± 75 мм. Координаты какой-либо точки следа определяются по положению марки в пространстве объекта после совмещения ее изображения на пленке с точкой следа. Прибор позволяет измерять одновременно три координаты (x , y и z), автоматически записывать их на перфоленту и наблюдать в процессе обработки пространственную картину расположения следов. Перемещение экрана с измерительной маркой производится электромоторами, отсчет координат - реверсивными электронными счетчиками. Среднеквадратичная ошибка при снятии x - и y -координат составляет $\pm 0,1$ мм и z - координаты $\pm 0,3$ мм. Обсуждается вопрос об автоматической компенсации преломляющего действия среды в случае использования такого прибора для обработки фотографий с пузырьковых камер. Отмечается значительное сокращение времени математической обработки информации, полученной с помощью такого прибора, по сравнению с тем временем, которое требуется, чтобы обработать информацию, полученную при использовании автоматических и полуавтоматических приборов.

Некоторые вопросы, связанные с обработкой экспериментальных данных

Идентификация вторичных частиц при анализе случаев взаимодействия сильно упрощается в том случае, если известна их удельная ионизация. Для измерения ионизации применялся метод относительного фотометрирования, суть которого заключалась в сравнении фотограмм следов частиц известной и искомой ионизации. Проходящие через камеру частицы брались в качестве эталонных. Фотометрирование проводилось в сравнительно небольшой области, где условия образования следов и их освещение можно было считать идентичными. Точность измерения ионизации таким методом для частиц с ионизацией, близкой к минимальной, составляла $\pm 15\%$.

Обсуждается вопрос о влиянии усадки пленки на точность измерений, а также рассматриваются способы учета погрешностей, возникающих по этой причине.

Небольшая плотность газа в диффузионной камере позволяет регистрировать

в ней частицы, энергия которых невелика. В этом случае особое значение приобретает возможность прецизионного измерения пробегов частиц. Однако определение пробега связано с рядом трудностей, обусловленных прежде всего тем, что истинный конец следа не совпадает с видимым концом, плотность в камере изменяется по высоте чувствительного слоя и, наконец, тем, что существует необходимость учета систематических ошибок. Преодоление этих трудностей позволило получить точное соотношение пробег-энергия для трития в гелии в области энергий $0,19 \pm 2$ Мэв, что было использовано для оценки массы нейтральной частицы, вылетающей при захвате отрицательного мюона He^3 .

Рассматривается вопрос об определении эффективности регистрации событий с учетом специфических особенностей диффузионной камеры. Приводится схема расчета, выполненного методом случайных испытаний.

З а к л ю ч е н и е

Описанный комплекс аппаратуры создавался и использовался для проведения экспериментов на синхротроне ОИЯИ в период с 1953 по 1963 год. За это время были выполнены исследования по изучению взаимодействия отрицательных пионов с ядрами водорода и гелия, а также положительных пионов ($E=300$ Мэв) и протонов ($E=630$ Мэв) с гелием. Возможность регистрации в диффузионной камере медленных частиц позволила провести детальное изучение упругого рассеяния пионов в области малых углов рассеяния. В результате этого оказалось возможным наблюдать интерференцию кулоновского и ядерного взаимодействий, что позволило сделать определенные выводы о знаке и величине действительной части оптического потенциала. Изучение медленных продуктов реакций в процессах неупругого взаимодействия пионов и протонов с гелием дало возможность по-новому подойти к рассмотрению вопроса об импульсном распределении нуклонов в ядре путем изучения остаточных ядер ("наблюдателей").

В диффузионной камере ДК-2М, наполненной He^3 и помещенной в магнитное поле, впервые наблюдались и были количественно исследованы процессы захвата отрицательных мюонов и пионов в гелии-3. Была идентифицирована реакция $\mu^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \gamma$ и определена ее вероятность с 10%-ной точностью. Кроме этого, были определены полная вероятность захвата μ^- -мезонов в He^3 и суммарная вероятность реакций с развалом ядра H^3 в конечном состоянии. Полученные данные хорошо согласуются со значениями вероятностей, рассчитанными на основе теории универсального слабого взаимодействия. Использование возможности измерения малых пробегов ядер трития позволило выделить реакцию перезарядки мезона на сложном ядре и определить отношение вероятностей реакций $\pi^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \pi^0$ и $\pi^- + \text{He}^3 \rightarrow \text{H}^3 + \gamma$ (отношение Пановского).

Работа выполнена автором в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в период с 1953 по 1960 год совместно с М.С.Козодаевым, М.М.Кулюкиным, Р.М.Суляевым и Ю.А.Щербаковым, а в последние годы (1960-63 г.г.), кроме того, совместно с О.А.Займидорогой, Б.Понтекорво, И.В.Фаломкиным и В.М.Цупко-Ситниковым. В части работ принимали также участие Г.М.Александров, А.Т.Васяленко, В.И.Волошук, В.В.Кузнецов и В.П.Пешков.

В ы в о д ы

1. Создан комплекс диффузионных камер высокого давления и вспомогательной аппаратуры для проведения исследований на синхротроне ОИЯИ. В том числе камера для работы с He^3 .
2. Проведено изучение влияния различных факторов на работу камеры.
3. Разработана технология и впервые проведена очистка гелия-3 от примеси трития методом конденсации с последующим испарением при температуре $1,2^\circ K$ до высокой степени чистоты ($n^3/He^3 < 10^{-15}$).
4. Создана установка для наполнения камеры He^3 до давления 20 атм и его эвакуации. Как сама установка, так и ряд ее узлов (герметичный компрессор и т.д.), могут быть использованы для проведения работ с редкими, чистыми или ядовитыми газами.
5. Для быстрой и точной обработки стереофотографий разработан универсальный репроектор, получивший широкое распространение.
6. Создан полуавтоматический стереокомпаратор для обработки стереофотографий координатным методом с компенсацией искажений, вносимых оптической системой. Прибор позволяет производить автоматически запись измеренных координат на перфоленту.
7. Рассмотрены некоторые методические вопросы, касающиеся обработки экспериментальных материалов, и даны практические рекомендации по измерению ионизации и пробега, учету влияния усадки пленки на точность измерений, определению эффективности регистрации событий в камере.
8. Данный комплекс аппаратуры использовался для проведения исследований по изучению взаимодействия мезонов и протонов с ядрами водорода и гелия $^{1-8}$, а также захвата отрицательных мезонов ядрами $He^{3/7-13}$. Возможность регистрации и измерения пробегов вторичных частиц малой энергии в этих экспериментах обеспечила получение ряда ценных результатов.
9. Основное содержание диссертации опубликовано в работах $^{1,12,14-18}$.

Л и т е р а т у р а

1. М.Козодаев, Р.Суляев, А.Филиппов, Ю.Щербаков. ДАН СССР, **107**, 236 (1956).
2. М.С.Козодаев, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **31**, 701 (1956).
3. М.С.Козодаев, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **33**, 1047 (1957).
4. М.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **38**, 409 (1960).
5. М.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **38**, 708 (1960).
6. М.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **39**, 929 (1960).
7. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Б.Понтекорво, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **41**, 1804 (1960).
8. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Б.Понтекорво, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **43**, 355 (1962).
9. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Б.Понтекорво, Р.М.Суляев, И.В.Фаломкин, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **44**, 389 (1963).
10. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Б.Понтекорво, Р.М.Суляев, И.В.Фаломкин, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **44**, 1180 (1963).
11. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **44**, 1852 (1963).
12. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, И.В.Фаломкин, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **46**, 1240 (1960).
13. О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, Б.Понтекорво, Р.М.Суляев, И.В.Фаломкин, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ЖЭТФ, **45**, 1803 (1963).
14. М.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ПТЭ, № 6, 47 (1958).
15. Г.М.Александров, О.А.Займидорога, М.М.Кулюкин, В.П.Пешков, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, В.М.Цупко-Ситников, Ю.А.Щербаков. ПТЭ, № 1, 69 (1964).
16. А.Т.Васяленко, М.С.Козодаев, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ПТЭ, № 6, 34 (1957).
17. А.Т.Васяленко, М.С.Козодаев, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ПТЭ, № 4, 56 (1960); Материалы совещания по камерам, Дубна, вып. V, P-284, 29 (1959).
18. В.И.Волошук, В.В.Кузнецов, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Щербаков. ПТЭ, № 3, 34 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июля 1964 г.