

С 344.1

Л-553

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 3651

Г. Либман

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ОПТИКИ ЖИДКОВОДОРОДНЫХ
ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

(специальность 040—экспериментальная физика)

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

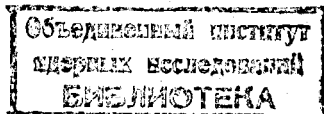
Дубна 1967

Г. Либман

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ОПТИКИ ЖИДКОВОДОРОДНЫХ
ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

(специальность 040-экспериментальная физика)

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук



Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук

Г.И.Селиванов,

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук

М.И.Соловьев,

кандидат технических наук

В.М.Горбунков.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Гатчинский филиал Ленинградского физико-технического института им. А.Ф.Иоффе

Автореферат разослан

1968 г.

Защита диссертации состоится

1968 г. на заседании

Ученого Совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Адрес: г.Дубна, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

О.А.Займидорога

Пузырьковые камеры заняли прочное место в ряду экспериментальных средств, используемых для ядерных исследований. Весьма удачное сочетание в одном приборе мишени и детектора излучения при высокой плотности рабочего вещества, исключительной наглядности изображения событий и малом мертвом времени делает пузырьковую камеру весьма эффективным прибором. Ценность такого прибора значительно возрастает при условии использования в качестве рабочей среды жидкого водорода, дейтерия или гелия.

За последние годы пузырьковые камеры достигли высокого уровня технического совершенства. При этом большое число научно-методических исследований последнего времени было специально посвящено изучению свойств и характеристик самих камер. Результаты этих исследований позволили разработать целый ряд пузырьковых камер с рабочей областью, достигающей величины 2 м. Однако создание камер еще большего размера, сопутствующее сооружению новых гигантских ускорителей заряженных частиц, а также все возрастающие требования к точности экспериментальной информации, получаемой с камер, вновь выдвигают на передний план проблему поиска новых конструктивных решений.

В этой связи особый интерес приобретает тщательный анализ условий, при которых действие всех вспомогательных систем пузырьковых камер приводило бы к минимальным искажениям картины исследуемых событий. При этом камеру можно рассматривать как сложный оптический прибор, от правильного функционирования, надлежащего выбора параметров и качественного исполнения которого в значительной степени зависит точность последующего пространственно-го восстановления событий, происходящих в рабочем объеме камеры.

В реферируемой диссертации проводится анализ отмеченных выше факторов на примере 25-сантиметровой жидководородной пузырьковой камеры, созданной с участием автора в период с 1958 по 1961 гг., и рассматриваемой как переходный этап к пятиметровой камере, разработка которой ведется в настоящее время. Большое внимание также уделено вопросам разработки оптических систем для жидководородных пузырьковых камер различного размера и исследованию характеристик этих систем.

Диссертация состоит из четырех глав. Глава первая посвящена рассмотрению свойств различных оптических систем, нашедших применение на пузырьковых камерах. В ней также дается краткий обзор различных способов определения разрешающей способности фотографических систем пузырьковых камер.

Во второй главе диссертации приводятся соображения и результаты расчетов, проведенных автором в связи с созданием оптической системы для 25-сантиметровой жидководородной пузырьковой камеры Лаборатории ядерных проблем. В конце главы подробно описывается оптическая головка стереофотоаппарата для 25-сантиметровой камеры, а также излагается методика юстировки ее, обеспечивающая необходимую точность получаемых результатов.

Глава третья охватывает комплекс вопросов, связанных с разработкой оптической системы для пятиметровой жидководородной пузырьковой камеры. В ней содержится анализ путей к созданию оптической системы для многокубовой камеры и приводятся соображения о целесообразном конструктивном исполнении оптической системы камеры, способной обеспечить приемлемое качество экспериментальной информации.

В четвертой главе анализируются причины возможных искажений следов частиц в камере и оцениваются погрешности, вносимые различными факторами. В ней также проводится анализ погрешностей измерений кинематических параметров частиц, которые возникают при обработке снимков с помощью стереопроектора.

Диссертация основывается на материалах экспериментальных, научно-методических и расчетных работ, выполненных автором в период с 1960 по 1967 гг. совместно с группой сотрудников Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ^{1-4/}. Результаты физических исследований, проведенных с участием автора на синхротроне Лаборатории ядерных проблем с использованием методики, описанной в диссертации, опубликованы в работах^{5-11/}.

Несмотря на то, что пузырьковые камеры уже достигли высокой степени совершенства, тем не менее по-прежнему остается открытым вопрос о целесообразном выборе оптической системы для них. Все возрастающие масштабы вновь сооружаемых установок приводят к резкому увеличению технических трудностей, связанных с созданием оптических систем по методике, принятой для малых камер. Поиск новых способов выполнения оптических систем для крупных камер в настоящее время еще не закончен. Однако первые успешные опыты по использованию в качестве рефлектора нового светоотражающего материала — скотчлайта, создали уверенность в возможности успешного решения поставленной задачи.

Поэтому системе освещения по методу темного поля, использованной почти на всех камерах малых и средних размеров и выбранной также для 25-сантиметровой камеры Лаборатории ядерных проблем, в настоящее время весьма эффективно противопоставляется светлопольная система освещения, основанная на применении скотчлайта. Простота применения скотчлайта, отсутствие больших иллюминаторов и возможность достижения равномерной освещенности на пленке делают эту систему освещения почти единственно мыслимой для камер больших размеров.

Разрешающая способность фотографической системы зависит от аберраций объектива и камерных иллюминаторов, от величины относительного отверстия объектива, от выбранного масштаба фотографирования, а также от свойств используемой пленки. Для ее определения существует несколько путей, каждому из которых присущи свои преимущества и недостатки. В условиях фотографирования рабочих объемов пузырьковых камер целесообразно в качестве критерия разрешающей способности использовать обратную величину радиуса дифракционного кружка, а в случае большой глубины рабочего объема, типичной для многометровых камер, лучшим критерием является радиус $r_{0,8}$ того кружка рассеяния, внутри которого сосредоточивается половина всей световой энергии, участвующей в изображении данной точки.

II

При проектировании оптических устройств 25-сантиметровой камеры /1/ основное внимание было обращено на достижение высокого качества стереофотографий, которое обеспечило бы возможность проведения количественных измерений с достаточно высокой точностью.

Выбор оптической системы для камеры обосновывается подробным анализом основных причин, вызывающих искажения изображений следов частиц на стереоснимках, а также путем анализа тех условий, при которых возможно получение изображений с хорошим контрастом по всему полю снимка без существенной потери точности последующего пространственного восстановления событий. Фон рассеянного света в значительной мере подавлен надлежащим выбором геометрии оптической системы, а также рядом дополнительных мер, таких как: просветление стекол, обеспечение строго направленного хода лучей с помощью комбинации конденсорных линз и применение светопоглощающей ловушки.

При обработке снимков большое значение имеет одинаковое почернение пленки в местах изображений различных пузырьков. Хотя однородность почернения можно было бы улучшить путем применения в осветительной системе конденсорной линзы наименьшей сферической аберрации, расчёты показывают, что при данной геометрии камеры уже более простое и более конструктивное решение, предусматривающее использование плосковыпуклой линзы, дает вполне удовлетворительные результаты.

Большими помехами при обработке снимков могут являться блики, возникающие в результате двукратного отражения света от камерных иллюминаторов. Их можно подавить только путем тщательного двухслойного просветления всех отражающих поверхностей в сочетании с применением селективного светофильтра, требующего, однако, значительного увеличения интенсивности источника света. Путем анализа причин возникновения и определения положения этих бликов для 25-сантиметровой камеры удалось выбрать такую геометрию оптической системы, которая не допускает попадания мешающих бликов в зрачки объектива.

Эффективное использование всех возможностей, заложенных в камере, для получения большого количества экспериментальных физических данных необходимого качества накладывает ряд специфических требований на стереофотоаппарат, используемый для фотографирования рабочего объема камеры. В значительной мере эти требования были удовлетворены в конструкции стереофотоаппарата, разработанного для 25-сантиметровой камеры /12/.

Фотоаппарат снабжен специальной оптической головкой, которая обеспечивает возможность дальнейшей обработки снимков либо на стереореопроекторе, либо с помощью измерительных полуавтоматов /2/.

Большое внимание было обращено на достижение высокой точности юстировки, которая производится на оптической скамье ОСК-2. Метод юстировки /3/ разработан с таким расчётом, чтобы избежать необходимости перефокусировки наблюдательных приборов и по возможности исключить всякого рода механические перемещения, которые вследствие имеющихся неточностей изготовления отдельных узлов использованной оптической скамьи могли бы заметно ухудшить результаты юстировки. Единственным подвижным элементом является вращающаяся рама специально сконструированного юстировочного приспособления.

Точность изготовления оптической головки и выбранный метод юстировки гарантируют, что ошибки в измерении координат отдельных пузырьков в камере не превышают 0,05 мм в XY-плоскости и 1 мм по глубине.

III

Опыт, накопленный при работе с камерами малого размера, а также развитие технических возможностей позволили вплотную подойти к проблеме создания больших жидководородных пузырьков камер. В последние годы особенно назрела необходимость сооружения таких камер в связи с разработкой и строительством новых гигантских ускорителей заряженных частиц. Возможности применения существующих камер (с размером рабочей области до 2 м) для экспериментальных исследований в наиболее интересных в настоящее время областях физики элементарных частиц весьма ограничены. Во-первых, в жидководородных камерах малых размеров крайне неэффективно регистрируются нейтральные частицы. Поэтому с помощью таких камер нельзя изучать взаимодействия, в которых образуется более одной нейтральной частицы. Во-вторых, из-за малого рабочего объема эти камеры оказываются недостаточно эффективными при использовании их в области физики слабых взаимодействий.

Указанные принципиальные трудности могут быть успешно преодолены путем создания камеры с размером, приблизительно равным 5 м. При соответствующем выборе геометрии такая камера допускает размещение в пределах рабочей области пластин для конверсии γ -квантов, что имеет огромное значение при исследовании многих типов взаимодействий.

Однако конструирование больших пузырьковых камер требует принципиально нового подхода к решению некоторых технических задач. В частности, проблема фотографирования большого рабочего объема, долгое время остававшаяся нерешенной, приобрела совсем иной вид после первых успешных опытов по применению в пузырьковых камерах нового светоотражающего материала (скотчлайт), который в сочетании с широкоугольной оптикой позволяет осуществить весьма простую с конструктивной точки зрения светопольную систему освещения.

Оптика пятиметровой водородной пузырьковой камеры, эскизная проработка вариантов которой проведена с участием автора в течение 1965-1966 гг.^{14/}; основывается на критическом анализе всех известных зарубежных проектов. Для успешного осуществления светопольной системы освещения с использованием скотчлайта чрезвычайно важно было провести серию исследований, которые позволили определить коэффициент отражения света от автоколлимационных материалов различных видов, разрешающую способность фотографической системы, наиболее выгодные параметры системы освещения и фотографирования, а также наиболее целесообразную геометрию рабочего объема камеры и допустимый минимальный размер пузырьков, приемлемых для фотографирования при светопольной системе освещения и выбранной геометрии камеры.

Проведенные исследования и эскизные проработки позволили остановиться на варианте исполнения, характеризующемся следующими главными параметрами: фокусное расстояние объективов - 40 мм; полный угол поля зрения - 90° ; расстояние наводки объективов - 3 м. При съемке рабочего объема на пленку типа Микрат-300 с помощью объектива типа "Флектогон", обладающего высоким постоянством разрешающей способности по всему полю, представляется возможным добиться разрешения, лежащего в пределах 1,5-3 линий на мм почти во всей видимой области рабочего объема камеры. Оценка необходимого размера пузырьков привела к выводу, что приемлемое качество изображения треков может быть достигнуто при диаметре пузырьков, составляющем не менее 1 мм.

IV

Фотографическая точность изображения следов частиц на пленке и возможность последующего достоверного восстановления пространственной картины событий, развивающихся в рабочем объеме камеры, зависят от знания и правильного учета целого ряда принципиальных и конструктивных особенностей пузырьковой

камеры, от метода обработки снимков, а также от величины многократного рассеяния частиц в рабочей жидкости камеры.

Главные особенности пузырьковых камер, влияющие на результаты пространственного восстановления событий, следующие:

- 1) дисторсия, вызванная объективами, иллиминаторами камеры и рабочей средой, заполняющей камеру;
- 2) неточность изготовления и установки камерных иллиминаторов и смотровых окон;
- 3) наличие температурных градиентов в рабочей жидкости;
- 4) искажения, вносимые внутренними напряжениями в камерных иллиминаторах;
- 5) специфика рассеяния света пузырьками;
- 6) перемещение пузырьков в результате всплывания и вследствие динамических процессов, протекающих в рабочем объеме камеры;
- 7) нарушения, возникающие из-за недостаточной плоскостности подожжения эмульсионного слоя во время фотографирования;
- 8) изменения масштаба фотографирования и эффективной стереобазы, обусловленные процессом усадки пленки в результате ее старения;
- 9) топография магнитного поля и ее нарушения при понижении температуры рабочего объема камеры.

Анализ снимков, полученных на 25-сантиметровой камере, показал, что для π -мезонов с кинетической энергией 340 Мэв ложная кривизна треков, вызванная особенностями камеры, не превышает кривизны, обусловленной многократным кулоновским рассеянием частиц.

В области импульсов частиц, получаемых на синхротроне Лаборатории ядерных проблем, вполне оправданным оказывается проведение измерений событий с помощью стереорепроектора. Достаточно большая кривизна треков в этом случае позволяет проводить непосредственные измерения кривизны треков и определять необходимые для кинематических расчетов углы между ними, не прибегая к сложным и дорогостоящим вспомогательным средствам, обычно используемым при обработке камерных снимков.

Правомерность такого метода была подтверждена серией вычислений ошибок измерений, учитывающих, помимо влияния многократного кулоновского рассеяния частиц, также особенности применяемой аппаратуры. В результате были

получены среднеквадратичные ошибки в определении импульсов частиц, углов рассеяния, а также оптимальные для измерения углов длины треков, характеризующие метод обработки снимков с помощью стереорепроектора.

Основные результаты диссертации можно сформулировать следующим образом:

1. Проведено сравнение различных оптических систем пузырьковых камер. Для 25-сантиметровой жидководородной пузырьковой камеры выбрана темнопольная система освещения на просвет с конденсорной линзой, а для пятиметровой камеры светлопольное освещение с применением скотчлайта.

2. Рассчитаны параметры оптической системы 25-сантиметровой камеры. Подробно рассмотрены вопросы повышения качества снимков путем соответствующего выбора параметров оптической системы.

3. Создан быстрodeйствующий стереофотоаппарат. Подробно описана специально сконструированная для него оптическая головка, обеспечивающая необходимую точность измерения координат на пленке.

4. Для юстировки оптической головки стереофотоаппарата разработан метод, позволяющий избежать влияния на результат юстировки погрешностей, обусловленных неточностью изготовления отдельных узлов оптической системы. Достигнутая о точность изготовления оптической головки, а также выбранный метод юстировки ее позволяют производить измерения координат на пленке с точностью, лучшей, чем 5 мк.

5. С помощью разработанной аппаратуры на 25-сантиметровой камере было получено около 500 000 стереофотографий, качество которых вполне соответствовало расчетным данным.

6. Определены наиболее выгодные с оптической точки зрения размеры и форма пятиметровой жидководородной пузырьковой камеры.

7. Исследованы светотехнические свойства некоторых видов скотчлайта. Показано, что из всех исследованных видов только скотчлайт FE-582 и SPR-704 является пригодным для наших целей.

8. Рассчитаны величины параметров оптической системы пятиметровой камеры. Получены формулы, позволяющие оценить однородность освещенности пленки в зависимости от формы дна и боковых стенок камеры. Особое внимание было обращено на оценку диаметра пузырьков, который мог бы обеспечить получение контрастных снимков, пригодных для автоматической обработки. Показано, что для пятиметровой камеры диаметр пузырьков должен быть не менее 1 мм.

9. Рассмотрена возможность конструктивного исполнения фотографической системы пятиметровой камеры.

10. Для нахождения точности, с которой определяются координаты отдельных точек в рабочем объеме камеры, детально рассмотрены причины возможных искажений изображений треков частиц. Приведены формулы, позволяющие определить соответствующие поправки, а также допуски на изготовление отдельных узлов оптических систем пузырьковых камер.

11. Определены ошибки кинематических параметров частиц для случая обработки пленки на стереорепроекторе.

Л и т е р а т у р а

1. Т.Д.Блохинцева, А.Т.Василенко, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ПТЭ, №5, 51 (1982).
Stereotaxis 4, 17 (1964).
2. Е.М.Андреев, Г.Либман, Г.И.Селиванов. ПТЭ, №2, 206 (1987).
3. Е.М.Андреев, Г.Либман, Г.И.Селиванов. ПТЭ №2, 207 (1987).
4. Г.М.Александров и др. Препринт ОИЯИ 13-3322: Дубна 1987.
5. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЖЭТФ, 42, 912 (1982).
6. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЖЭТФ, 44, 116 (1983).
7. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЖЭТФ, 44, 498 (1983).
8. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, А.В.Кравцов, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЯФ, 1, 103 (1985).
9. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Л.Л.Неменов, Г.Либман, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЯФ, 3, 511 (1986).
10. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЯФ, 3, 687 (1986).
11. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, А.В.Кравцов, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЯФ, 3, 779 (1986).
12. Г.Либман, В.А.Савельев, Г.И.Селиванов. Авт.свид. № 158197. Бюлл.изобрет. и товарных знаков № 20, 73 (1983).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1987 года.