

С 344.1
И-201

К 117

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13 - 2995

В.Г. Иванов

СИСТЕМА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ
В УСЛОВИЯХ ПРОХОЖДЕНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ
МНОГИЕ СРЕДЫ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
член-корреспондент АН СССР,
профессор

В.П. Джелепов

Дубна 1966 г

13 - 2995

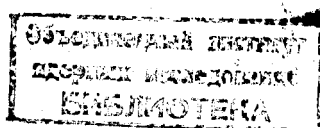
В.Г. Иванов

**СИСТЕМА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ
В УСЛОВИЯХ ПРОХОЖДЕНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ
МНОГИЕ СРЕДЫ**

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
член-корреспондент АН СССР,
профессор

В.П. Джелепов



Пузырьковые камеры широко используются в настоящее время для проведения исследований по изучению взаимодействий частиц высоких энергий с веществом. Развитие методики пузырьковых камер в течение последних 10 лет привело к тому, что объемы существующих установок составляют сотни литров, а проектируемых — десятки кубометров. Напомним, что объем первой пузырьковой камеры составлял всего лишь несколько кубических сантиметров. Крупные пузырьковые камеры являются сложными установками, при создании которых приходится решать ряд сложных методических и конструктивно-технологических задач. Среди них особое место занимают проблемы создания системы фотографирования и методики обработки фотографий, обеспечивающих хорошую точность восстановления пространственной картины регистрируемых в камере событий. Только комплексное решение всех вопросов, связанных с созданием пузырьковой камеры, системы фотографирования и методики обработки, позволяет эффективно использовать установку для проведения физических исследований.

Для обеспечения программы научных исследований на синхрофазотроне ОИЯИ было предусмотрено создание нескольких крупных установок и в том числе метровой пузырьковой камеры с тяжелыми жидкостями (пропан, фреон и т.п.).

Чувствительный объем метровой пузырьковой камеры ^{1/1} (100x50x40 см) располагается внутри защитного кожуха, заполненного дистиллированной водой. Вследствие разгрузки стенок сосуда с рабочей жидкостью все окна, через которые производится освещение и фотографирование, достаточно удалены от рабочего объема и поэтому невелики. Такая конструктивная схема относительно проста для изготовления и эксплуатации установки, но существенно усложняет создание системы фотографирования. Действительно, фотографирование треков в этом случае производится через воздух, стекла, воду и рабочую жидкость (рис. 1) и путь световых лучей в воздухе во много раз меньше их пути в средах с показателем преломления больше единицы. Если для съемок в таких условиях использовать обычные серийные фотообъективы, то нельзя получить

высококачественные и неискаженные изображения снимаемых объектов. В связи с этим обстоятельством возникает вопрос об изготовлении специальных фотокамер (фотообъективов), рассчитанных для съемок в данных условиях и исследований их характеристик.

Когда начались работы по созданию метровой пузырьковой камеры (1958 г.), в литературе почти не имелось данных по вопросам конструирования систем фотографирования в столь сложных условиях съемки. В связи с этим в ходе создания системы фотографирования метровой камеры потребовалось разработать методику оценки искажений изображений, возникающих при съемке через многие среды^{/2/}; методику определения характеристик фотокамер^{/3/}, используемых при восстановлении пространственной картины фотографируемых событий; провести исследование влияния погрешностей в этих характеристиках на точность определения пространственных координат и получить критерии отбора фотокамер, предназначенных для стереосъемок в пузырьковых камерах^{/4/}.

В диссертации обобщен опыт исследований, посвященных разработке, созданию и определению характеристик системы фотографирования^{/5/} метровой пузырьковой камеры и подробно рассмотрен круг вопросов, решавшихся в ходе ее создания.

Диссертация состоит из шести глав. В первой главе рассмотрена методика обработки стереофотографий, получаемых в пузырьковых камерах, и основные требования, предъявляемые к системе фотографирования; во второй – конструкция метровой пузырьковой камеры. Третья, четвертая и пятая главы посвящены описанию системы фотографирования и исследованию ее характеристик, включая точность восстановления пространственной картины регистрируемых событий. В шестой главе рассмотрены результаты кинематического анализа случаев образования Λ^0 и K^0 – частиц в π^-p – взаимодействиях при 5 Гэв.

I

При создании пузырьковой камеры необходимо учитывать целый ряд факторов, связанных с методикой реконструкции событий, возможностями серийной измерительной аппаратуры, вычислительных машин и т.п. Основные требования к конструкции пузырьковой камеры и к системе фотографирования, вытекающие из разработанной в ОИЯИ методики восстановления пространственной картины событий в трековых камерах^{/11/}, заключаются в следующем:

1. Оптические оси фотообъективов должны быть перпендикулярны поверхностям раздела сред, через которые производится съемка.
2. На предметных стеклах фотокамеры или в рабочем объеме пузырьковой камеры необходимо нанести специальные реперные точки. Эти точки фотографируются вместе

с треками и определяют положение главных точек снимков и координатных систем x_0y и x'_0y' (рис. 1).

3. Для фотокамер необходимо определить зависимость угла между проектирующим лучом и оптической осью объектива от радиус-вектора изображения $\beta = f(r)$ и продольную сферическую aberrацию зрачка входа главного луча^{/12/}.

Кроме того, съемочные камеры должны обеспечивать получение высококачественных и неискаженных изображений снимаемых объектов.

II

Метровая пузырьковая камера предназначена для проведения исследований на синхрофазотроне ОИЯИ. Размеры рабочего объема: 105 x 50 x 40 см. Камера размещается в электромагните ИК-3-4. Напряженность магнитного поля в центре чувствительной области около 17000 эрстед, максимальная неоднородность поля в рабочем объеме около 8% (по вертикали). В настоящее время камера заполняется пропаном. В качестве рабочих жидкостей могут также использоваться фреон, этан, пропан-фреоновые смеси и другие жидкости, обладающие подходящими термодинамическими параметрами. Рабочий цикл камеры определяется в настоящее время частотой работы ускорителя и равен 9 сек.

Общая схема установки показана на рис. 2. Установка состоит из рабочей камеры, защитного кожуха, механизма изменения давления, системы фотографирования и освещения, пульта управления и сигнализации, системы подогрева и термостатирования, электромагнита, газовых и жидкостных коммуникаций и ряда вспомогательных устройств.

Фотографирование треков производится через воздух, стекла, воду и рабочую жидкость. Суммарная толщина сред с показателем преломления больше единицы около 100 см, толщина слоя воздуха 3-4 см.

III

Третья глава диссертации посвящена рассмотрению вопросов, решавшихся в ходе создания системы фотографирования метровой камеры, описанию этой системы и технологии ее изготовления.

Создание системы фотографирования пузырьковой камеры в условиях прохождения световых лучей через многие среды является весьма сложной задачей. Это связано с тем, что при фотографировании треков через указанные выше среды серийными фотообъективами нельзя получить высококачественные и неискаженные изображения. Так,

например, проведенные на основе предложенной в диссертации методики оценки искажений изображений, возникающих при фотографировании треков через указанные выше среды, показали^{/2/}, что: радиусы ложной кривизны изображений прямых линий составляют 0,5–1,5 метра, поперечный параллакс меняется от нуля до нескольких миллиметров и т.п.

В связи с этими обстоятельствами были разработаны технические условия на специальные фотокамеры, предназначенные для фотографирования треков в указанных выше условиях. Такие фотокамеры (фотообъективы "Гидро-Руссар 4")^{/13/} были разработаны и изготовлены в Ленинградского институте точной механики и оптики (ЛИТМО) под руководством профессора М.М. Русянова. На рис. 3 показана принципиальная схема фотокамеры, на рис. 4 приведены графики остаточных aberrаций. Эти фотокамеры позволяют получать высококачественные и практически неискаженные изображения объектов, находящихся в рабочем объеме метровой пузырьковой камеры.

Расчет и изготовление широкоугольных фотокамер, исправленных на aberrации, вносимые большой толщиной вещества, и обеспечивающих точное восстановление пространственной картины фотографируемых событий, является весьма сложной задачей. При этом заранее трудно оценить реальные характеристики будущих фотокамер. В связи с этим после консультаций со специалистами-оптиками было решено фотографировать рабочий объем пузырьковой камеры шестью однотипными объективами с тем, чтобы в дальнейшем определить оптимальное число фотокамер, обеспечивающих нужную точность реконструкции событий.

Стерефотоаппарат^{/5/} (рис. 5) состоит из массивной металлической плиты, на которой установлено шесть фотокамер "Гидро-Руссар 4", и двух лентопротяжных механизмов с подъемниками. Схема расположения фотокамер показана на рис. 6. Средняя стереопара $V_1^{(2)}$ захватывает почти весь рабочий объем, крайние ($V_1^{(1)}$ и $V_1^{(3)}$) — немного больше половины. Снимки с продольных стереопар $V_2^{(1)}$ используются для обмера следов, образующих с базами $V_1^{(1)}$ небольшие углы ($\leq 20-30^\circ$). Фотографирование производится на две параллельные перфорированные фотопленки шириной 80 мм. Размеры снимков 137x70 мм для средней стереопары и 90x70 мм — для крайних. Монтаж стереофотоаппарата перед началом работы (установка и юстировка плиты с объективами, установка лентопротяжных механизмов и подъемников) занимает 30–40 мин., перезарядка пленки — 2–3 мин. Схематическое устройство лентопротяжного механизма показано на рис. 7.

IV

Для точного восстановления пространственной картины регистрируемых в пузырьковой камере событий необходимо определить толщины и показатели преломления сред, через которые производится съемка, а также характеристики фотокамер с небольшими погрешностями. Для решения этой задачи была разработана методика определения параметров оптической системы камеры по реперным точкам^{/6/}, которая позволяет неточно определить одних параметров скомпенсировать соответствующими изменениями других; проведено исследование влияния характеристик фотокамер на точность вычисления пространственных координат^{/4/}; определены характеристики фотокамер^{/3/}, используемые в программе реконструкции событий^{/8,10/} и найдено оптимальное расположение фотокамер в стереофотоаппарате. Решение этих вопросов позволило достичь требуемой точности определения Z-ой координаты ($\Delta Z < 1$ мм) несмотря на то, что ошибки измерения толщины отдельных сред (воды) достигали нескольких миллиметров. Величины ошибок в Z-ых координатах, обусловленные погрешностями характеристик фотокамер, не превышают 0,2 мм для $\beta \geq 10^\circ$.

Подробное рассмотрение затронутых в данном разделе вопросов проведено в четвертой главе диссертации и приложения II.

V

Точность восстановления пространственной картины регистрируемых событий является одной из основных характеристик пузырьковой камеры. Величины ошибок, возникающих в процессе реконструкции пространственной картины событий, определяются точностью измерений, погрешностями, с которыми определены толщины и показатели преломления сред, через которые производится съемка, и характеристиками фотокамер, а также многократным рассеянием заряженных частиц в рабочей жидкости. Определение ошибок в значениях пространственных координат, углов разлета частиц, импульсах и эффективных массах проводилось на тест-объектах и следах частиц с известными импульсами и массами. В ходе этих исследований также были выявлены и устранены систематические ошибки в значениях пространственных координат и других физических величин и проверена методика восстановления пространственной картины событий, включая определение импульсов, эффективных и недостающих масс и т.п.

Основные результаты этих исследований^{/7/} заключаются в следующем:

1. Погрешности в пространственных координатах, обусловленные методом поиска соответствующих точек, который используется в программе реконструкции, малы и не превышают 0,2 мм для X, Y и Z-ых координат.

2. Среднеквадратичные ошибки определения пространственных координат во всем рабочем объеме составляют 0,3–0,4 мм для X, Y и 0,7–1,0 мм для Z, при точностях измерений этих величин $\pm 0,1$ мм и $\pm 0,4$ мм, соответственно.

3. Радиус ложной кривизны, обусловленный погрешностями оптической системы камеры, ≈ 300 м для треков длиной 100 см.

4. Не обнаружено каких-либо дополнительных искажений, заметно превышающих ошибки измерений, вносимых неоднородностями оптических сред, температурными градиентами и какими-либо другими причинами, а также "сшиванием" треков, измеренных на снимках различных стереопар.

5. Среднее значение импульса пучка (рис. 8), найденное по камерным измерениям ($PC = 5,01 \pm 0,01$ Гэв/с), после учета ионизационных потерь в стенках и рабочей среде ($\Delta p = -100$ Мэв/с) хорошо согласуется с результатами его определения методом токнесущей нити ($PC = 5,10 \pm 0,02$ Гэв/с)^{/15/}.

6. Средние значения масс (рис. 9) зарегистрированных в камере Λ -гиперонов и K_1^0 -мезонов равны 1115 ± 1 Мэв и 493 ± 2 Мэв и хорошо согласуются с табличными данными^{/14/}.

7. Наилучшая точность получается в том случае, когда измерения производятся на снимках крайних стереопар ($V_1^{(1)}$ и $V_1^{(2)}$ – рис. 8). В связи с этим в настоящее время снимки средней стереопары используются для просмотра и обмера только тех треков, которые параллельны основным базам.

Таким образом, система фотографирования метровой пузырьковой камеры позволяет проводить точное восстановление пространственной картины регистрируемых событий.

VI

Метровая пузырьковая камера, заполняемая пропаном, позволяет с хорошей эффективностью регистрировать случаи образования резонансов, распадающихся как на заряженные, так и на нейтральные частицы. Вероятность конверсии в камере γ -квантов с энергиями в несколько сот Мэв близка к 30%, эффективность регистрации распадов Λ -гиперонов и K_1^0 -мезонов на заряженные частицы – около 100%. В настоящее время камера экспонируется в пучке π^- -мезонов с импульсом около 5 Гэв/с. В этом пучке уже получено более 150 тыс. стереофотографий, с помощью которых проводится изучение процессов образования и радиационных распадов "странных" резонансов. Для исследования возможностей применения кинематического анализа^{/18/} для идентификации резонансов, образующихся в π^-p -взаимодействиях при 5 Гэв, с помощью данной

установки был проведен кинематический анализ 400 случаев образования V^0 -частиц (рис. 10). Основные результаты этого анализа заключаются в следующем.

1. Из распределений недостающих масс в случаях образования Λ -гиперонов и K^0 -мезонов следует, что в большом числе событий количество незарегистрированных в камере нейтральных частиц (включая π^0 -мезоны) ≥ 2 .

2. Программа идентификации каналов реакций (fit-программа) позволяет выделять случаи π^-p -взаимодействий при заданном значении импульса налетающей частицы и в некоторых случаях находить события, кинематика которых не противоречит гипотезе образования того или иного резонанса.

3. Массы заряженных частиц могут быть определены с помощью fit-программы только в ограниченном числе случаев. Так, например, в двухлучевых звездах с Λ -гипероном fit-программа позволяет отличить π^+ -мезон от K^+ -мезона примерно в 30% событий, а в двухлучевых звездах с K^0 -мезоном – только в 3–4%.

4. Методика пропановых камер позволяет использовать для поисков резонансов распределения недостающих масс.

Таким образом, кинематический анализ событий, образуемых в пропановых камерах частицами больших энергий (≥ 5 Гэв), в большом числе случаев может играть только вспомогательную роль. Для изучения схем распада резонансов, находимых при анализе спектров недостающих масс, требуется проведение ионизационных измерений, измерение энергий δ -электронов и взаимодействий вторичных частиц, если они имеются.

В приложениях к диссертации рассмотрен вывод формул, связывающих пространственные координаты точек в объеме камеры с координатами их изображений на стереоснимках и методика восстановления пространственной картины событий в метровой камере.

Основные результаты и выводы

1. Создана система фотографирования метровой пузырьковой камеры, которая позволяет получить высококачественные и практически неискаженные изображения треков в условиях прохождения световых лучей через многие среды.

2. Проведено исследование точности восстановления пространственной картины событий в метровой камере.

3. Из всей совокупности исследований вопросов точности определения пространственных координат, углов разлета частиц, импульсов, а также из рассмотрения

методики обработки и обсчета экспериментальных данных вытекает, что система фотографиярования и методика обработки стереофотографий обеспечивают достаточную точность определения величин, знание которых необходимо для решения большого круга физических задач, включая исследования процессов образования и распадов мезонных и барионных резонансов.

4. Создана программа восстановления пространственной картины событий в камере с многообъективной системой фотографиярования. Эта программа позволяет, наряду с вычислением пространственных координат, углов и импульсов заряженных частиц, также производить идентификацию Λ -гиперонов, K_1^0 -мезонов и γ -квантов.

5. Произведен анализ влияния различных элементов конструкции пузырьковой камеры на качество получаемого на фотопленке изображения и точность вычисления пространственных координат.

6. Разработана методика оценки искажений изображений, возникающих при фотографияровании через среды с показателями преломления больше единицы.

7. Проведено исследование характеристик фотограмметрических камер "Гидро-Руссар 4", необходимых для проведения точных фотограмметрических измерений. Разработанная методика является достаточно общей и может быть использована при подборе фотообъективов для стереосъемок.

8. Разработана методика определения параметров оптической системы пузырьковой камеры. Эта методика позволяет с точностью определения одних параметров компенсировать соответствующими изменениями других.

9. Проведен кинематический анализ случаев образования Λ -гиперонов и K^0 -мезонов.

10. На камере получено более 150 тыс. стереофотографий в пучке π^- -мезонов с импульсом около 5 Гэв/с, с помощью которых проводятся исследования различных типов радиационных распадов барионных и мезонных резонансов. Полученные на этом материале предварительные данные подтверждают образование $\Lambda\eta$ -резонанса в π^-p -взаимодействиях. Результаты этого исследования были представлены на Рочестерскую конференцию 1966 г.

Основные результаты исследований, описанных в диссертации, опубликованы в работах /1-10/.

Л и т е р а т у р а

1. А.В. Богомолов, Ю.А. Будагов, А.Т. Василенко, В.П. Джелепов, Н.И. Дьяков, В.Г. Иванов, В.С. Кладницкий, В.И. Лепилов, Ю.Ф. Ломакин, В.И. Москалев, В.Б. Флягин, Т.И. Шетет, П.В. Шляпников. ПТЭ, № 1, 81 (1964).
2. Е.М. Андреев, В.Г. Иванов. Препринт ОИЯИ 2053, Дубна 1965.
3. Е.М. Андреев, Л.С. Вертоградов, В.Г. Иванов. Препринт ОИЯИ 2051, Дубна 1965.
4. В.Г. Иванов. Препринт ОИЯИ Р-2468, Дубна 1965; ПТЭ, № 6, 66 (1966).
5. Ю.А. Будагов, В.А. Бычков, А.Г. Володько, В.П. Джелепов, В.Г. Иванов, Ю.Ф. Ломакин, И. Паточка, Н.С. Толстой, В.Б. Флягин, Н.И. Фролов, П.В. Шляпников. Препринт ОИЯИ 2518, Дубна 1965.
6. В.Г. Иванов. Препринт ОИЯИ 2646, Дубна 1966.
7. В.Г. Иванов, И. Паточка, Ю.Ф. Ломакин, А.Г. Володько, В.Б. Виноградов. Препринт ОИЯИ Б1-2477, Дубна 1965.
8. Н.А. Буздавина, З.М. Иващенко, В.Г. Иванов, И. Паточка, М.И. Попов. Препринт ОИЯИ 2095, Дубна 1965.
9. В.Б. Виноградов, В.Г. Иванов, Л. Януотова. Препринт ОИЯИ 2613, Дубна 1966.
10. Н.А. Буздавина, В.Г. Иванов. Препринт ОИЯИ 2755, Дубна 1966.
11. Е.Н. Кладницкая. Препринт ОИЯИ 796, Дубна 1961.
Н.Н. Говорун, И.В. Попова и др. Препринт ОИЯИ 2036, Дубна 1961.
12. Э.М. Лившиц. "Вопросы физики элементарных частиц", стр. 559. Изд-во АН Армянской ССР, Ереван, 1964.
13. М.М. Русинов. "Фотограмметрическая оптика". Геодезиздат, Москва, 1962.
14. A. N. Rosenfeld et al. UCRL - 80 - 30, 1965.
15. В.С. Кладницкий, В.Б. Флягин. ПТЭ, № 1, 24 (1965).
16. R. Bock. CERN, 61 - 29.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 октября 1966 г.

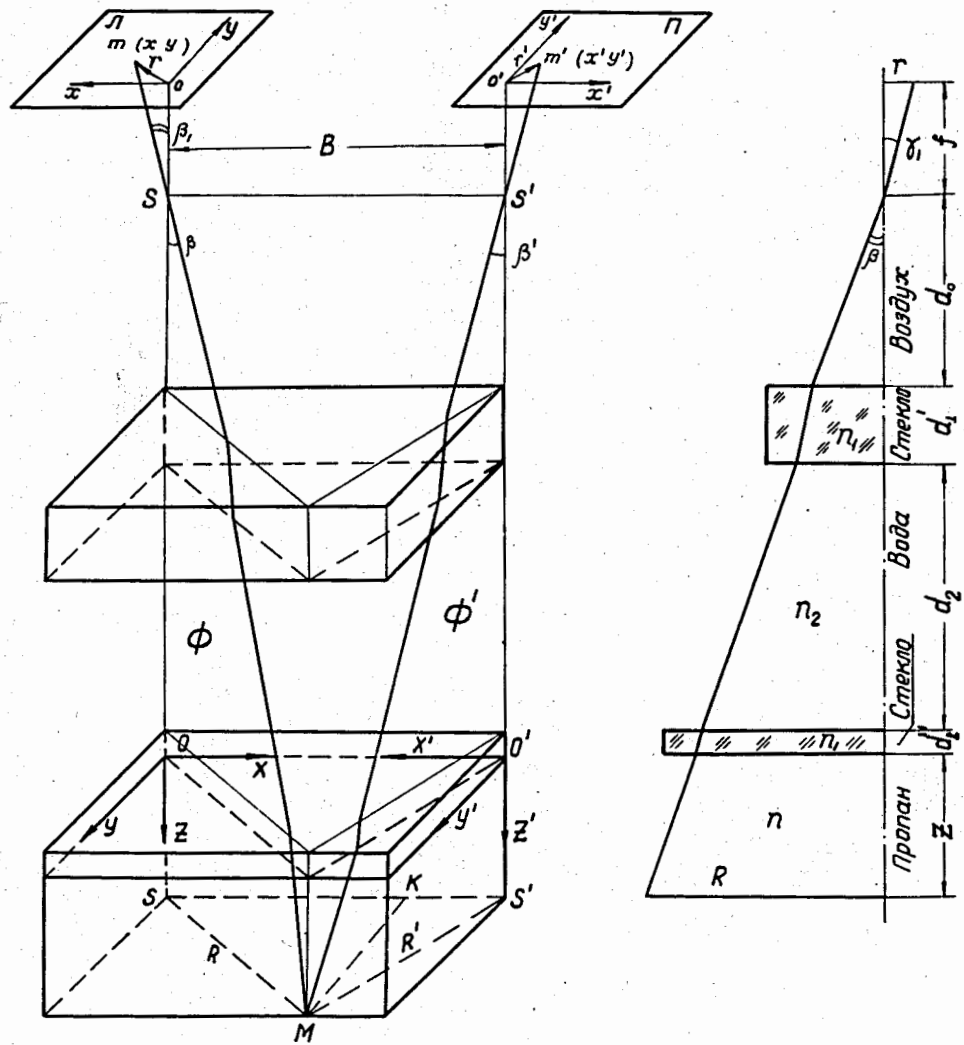
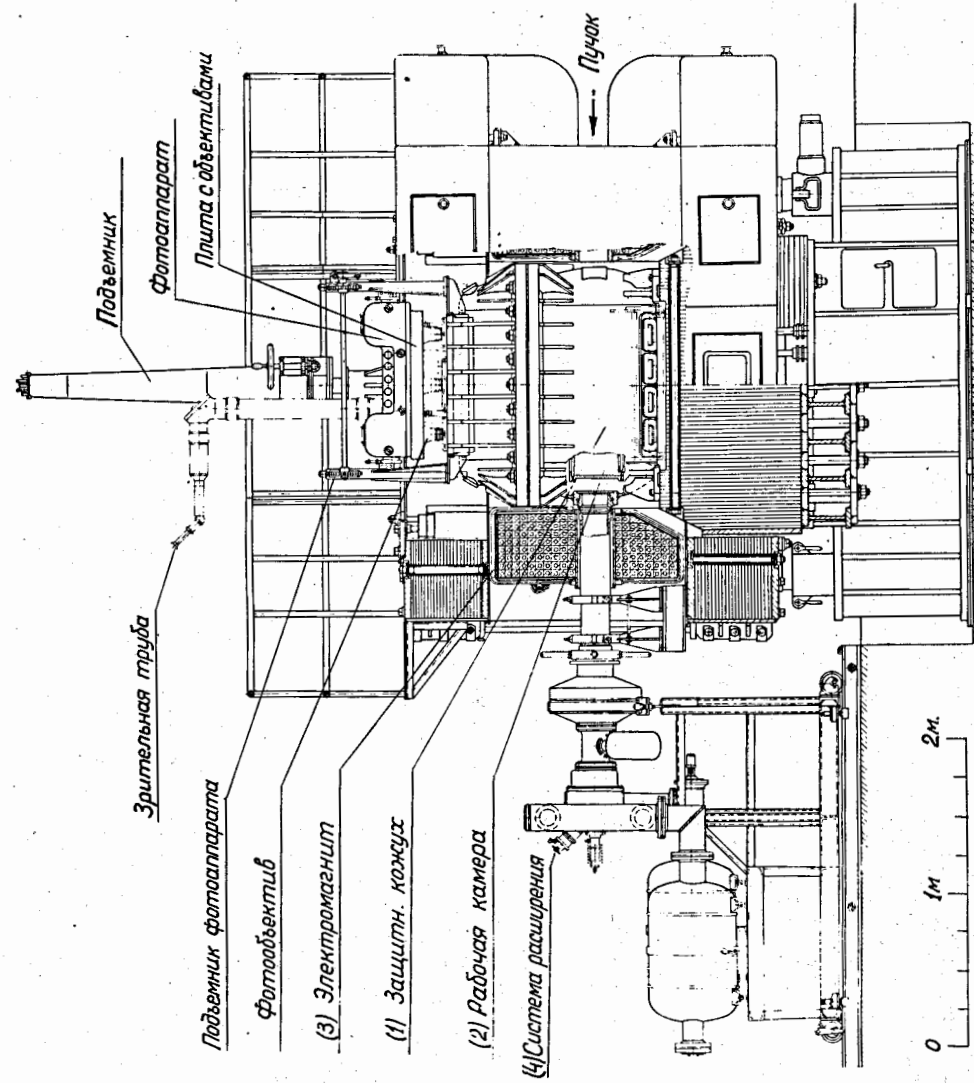


Рис. 1. Оптическая схема метровой пузырьковой камеры.



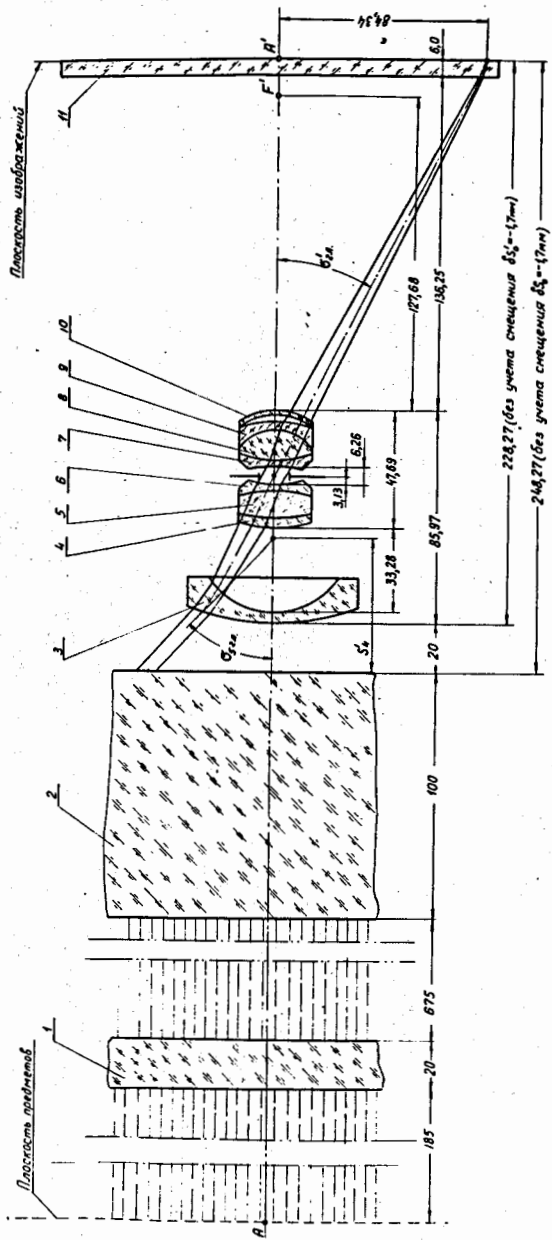


Рис. 3. Принципиальная схема фотокамеры "Гидро-Руссар 4*".

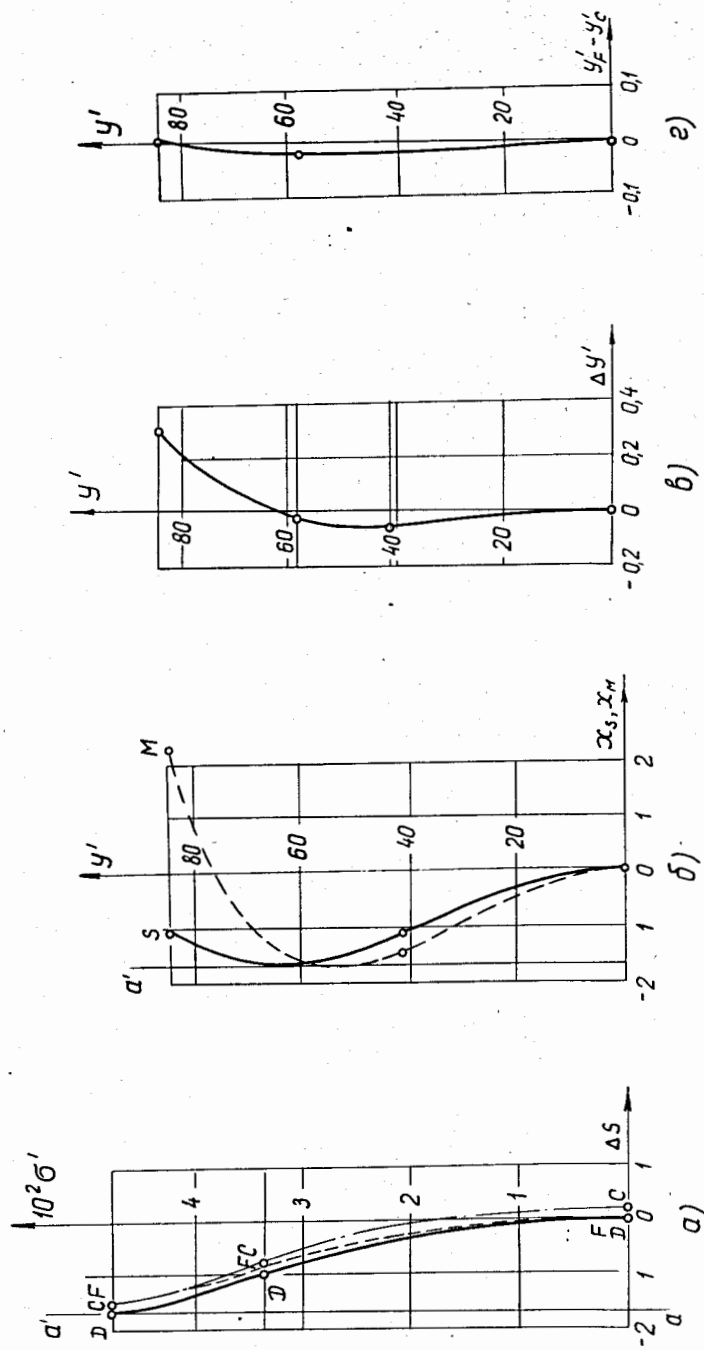


Рис.4. Графики остаточных aberrаций фотокамер "Гидро-Руссар 4*".
 а) сферическая aberrация и хроматизм положения; б) астигматизм и кривизна положения; в) дисторсия, г) хроматизм увеличения.

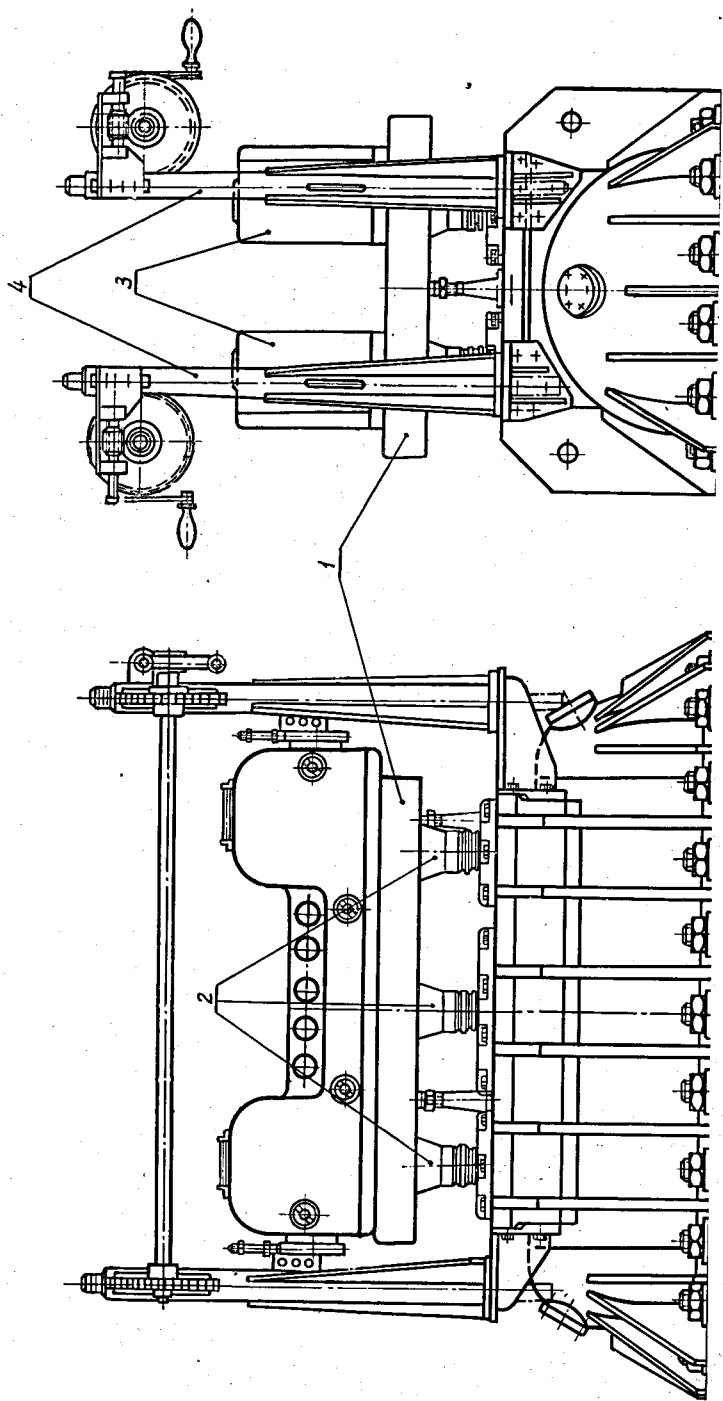


Рис. 5. Стереофотоаппарат.
 1. Металлическая плита с фотокамерами (2). 3. Легкопрогибные механизмы. 4. Подъемники.

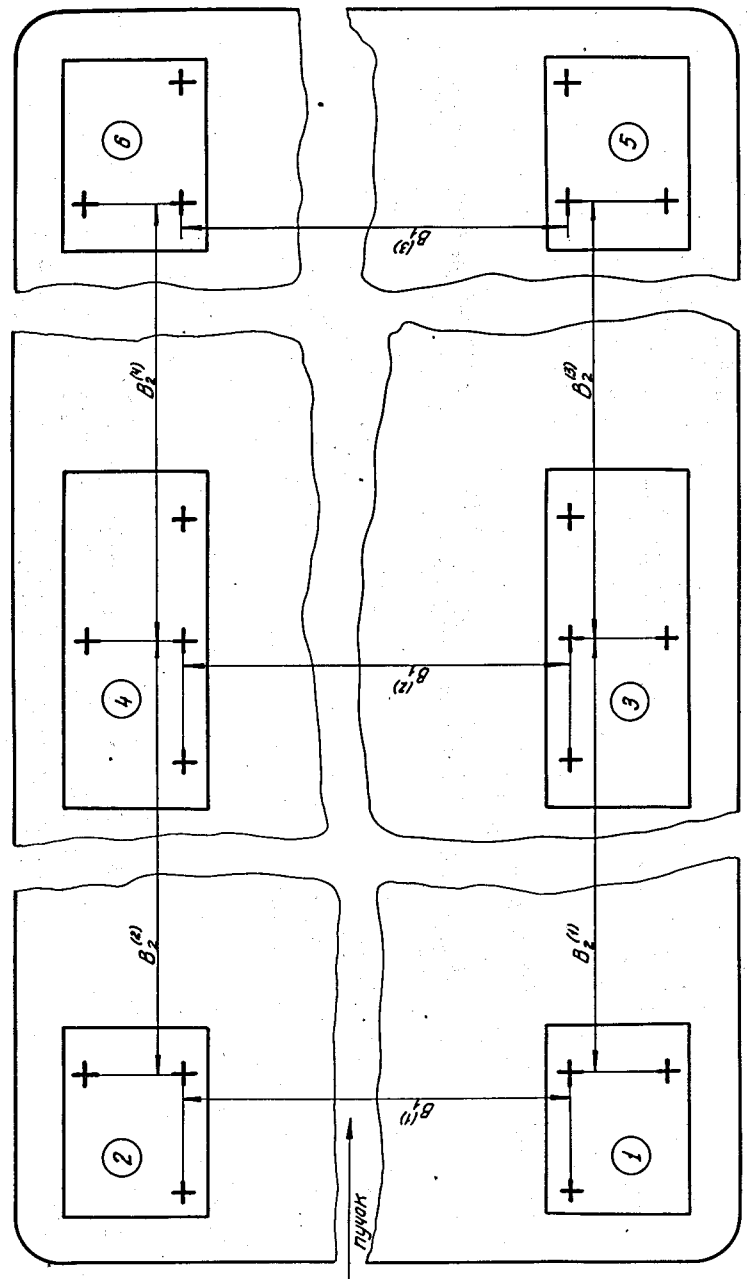


Рис. 6. Схема расположения фотокамер.

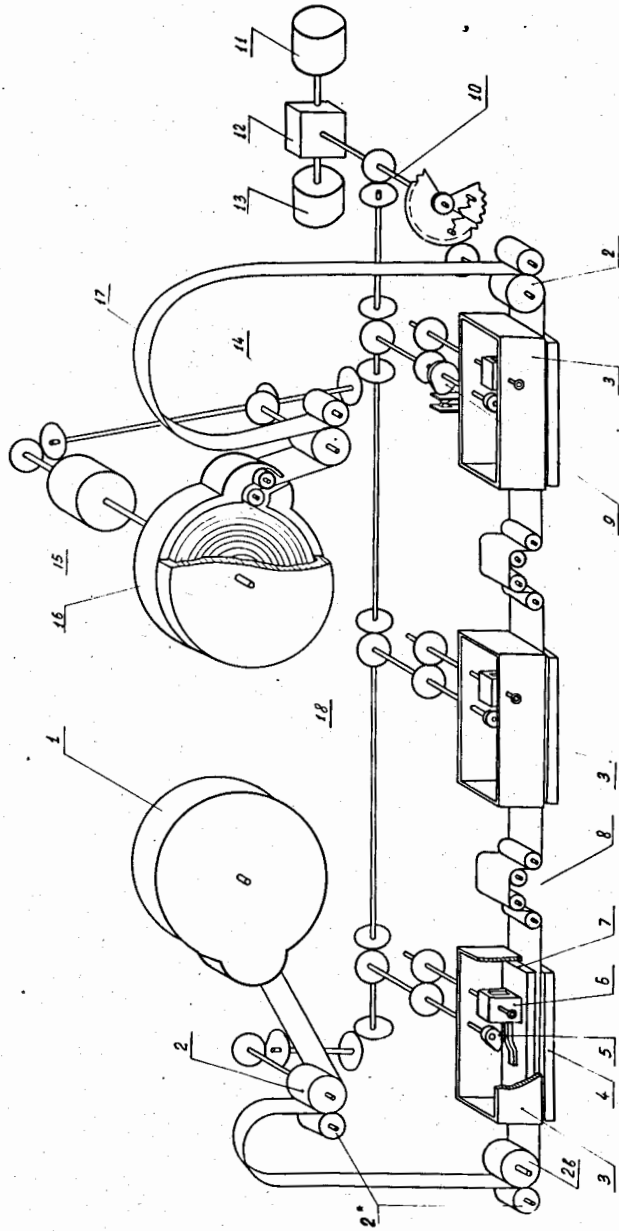


Рис. 7. Принципиальная схема лентопрогонного механизма. 1 - подающая кассета, 2 - подающий барабан, 2а - прижимной ролик, 2в - ролик, 3 - корпус прижимного столика, 4 - стекло фотокамеры, 5 - кулачок, 6 - нумератор кадров, 7 - подающая пластина, 8 - обводные ролики, 8 - кулачок выключения электромотора, 10 - выходной вал приводного устройства, 11 - электромотор, 12 - редуктор, 13 - тормоз, 14 - приемный барабан, 15 - ведущий фрикцион, 16 - приемная кассета, 17 - фотоленка, 18 - вал распределительного механизма.

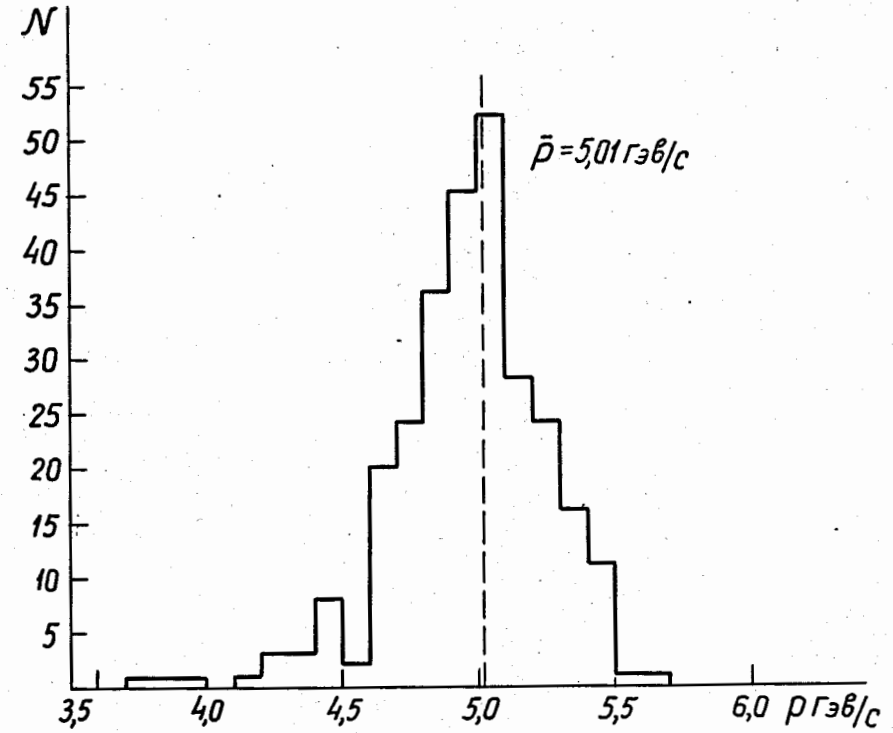


Рис. 8. Импульсный спектр первичных пионов.

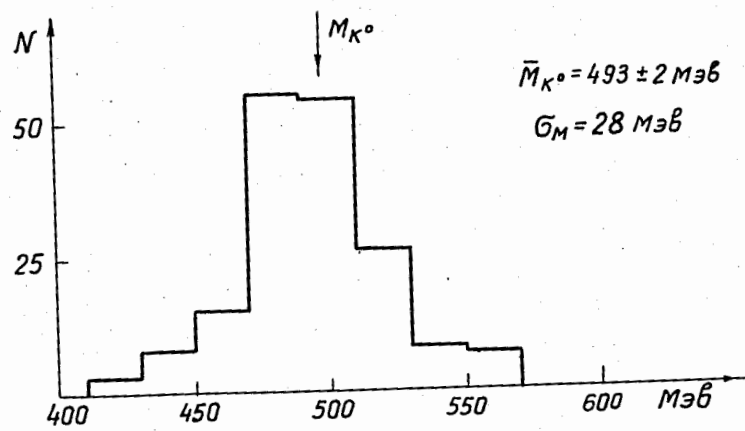
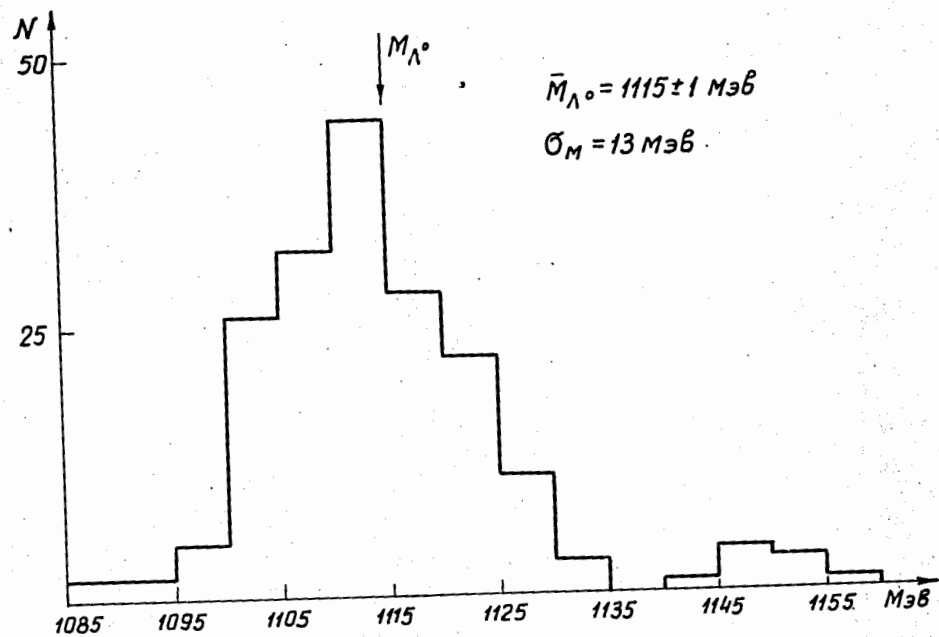


Рис. 9.

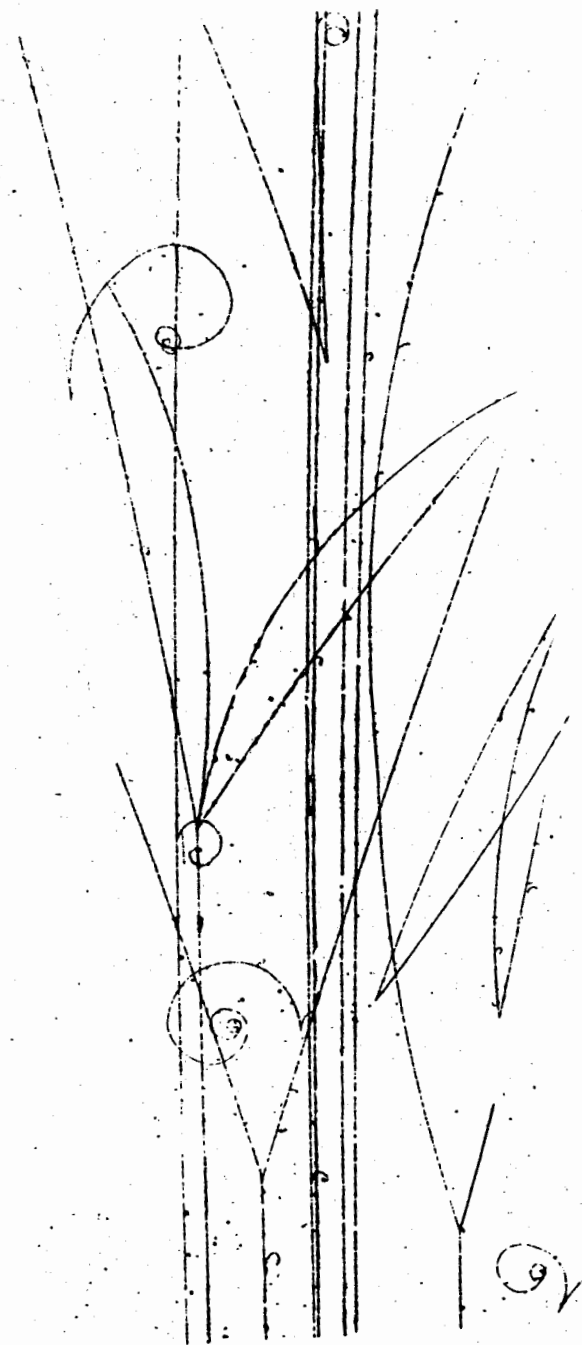


Рис. 10. фотография случаев взаимодействия π^- -мезонов с энергией 5 Гэв в камере с образованием V^0 -частиц и γ -квантов.