

C3(04)

C-56

МАТЕРИАЛЫ

совещания по камерам Вильсона, диффузионным и
пузырьковым камерам

Выпуск I.

Камеры Вильсона

82

SM

03(07)
С-56

МАТЕРИАЛЫ
совещания по камерам Вильсона, диффузионным и
пузырьковым камерам

Выпуск I.

Камеры Вильсона

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

21-28887

Настоящий сборник, состоящий из 6-ти выпусков, содержит материалы совещания по камерам Вильсона, диффузионным и пузырьковым камерам, проводившегося Объединенным институтом ядерных исследований с 11 по 16 ноября 1957 года в Дубне.

С целью наилучшего объединения докладов по тематике при их размещении был несколько нарушен хронологический порядок выступлений. Все материалы совещания сведены в пять основных разделов. Кроме пяти основных разделов в сборник включен также раздел шестой, в котором содержатся высказанные на совещании замечания относительно использования камер для решения некоторых конкретных задач ядерной физики. Доклады, в основном, публикуются по текстам, представленным авторами. Часть докладов публикуется по стенограммам выступлений.

Дискуссию, следующую за докладами, оргкомитет счел возможным поместить в сокращенном виде. При этом он стремился к тому, чтобы все наиболее важные вопросы были сохранены. Так как большинство стенограмм выступлений не было просмотрено авторами, оргкомитет при редактировании сборника мог допустить ряд неточностей, за что заранее приносит свои извинения.

В подготовке материалов совещания к печати приняли участие т.т. М.П.Баландин, Ван Ган-чан, Э.В.Козубский, В.И.Москалев, М.И.Соловьев, Р.М.Суляев.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ОРГКОМИТЕТА СОВЕЩАНИЯ ПРОФ. ВАН ГАН-ЧАНА

Уважаемые коллеги!

Позвольте мне, открывая наше первое рабочее совещание по камерам Вильсона, диффузионным и пузырьковым камерам, кратко остановиться на задачах данного совещания.

Прежде всего следует отметить факт бурного развития в последние годы камер Вильсона и диффузионных камер. Прогресс в методах регистрации заряженных частиц ознаменовался созданием замечательного по своим свойствам прибора - пузырьковой камеры.

Успехи, достигнутые в технике эксперимента за последние годы, были вызваны необходимостью исследовать свойства новых частиц: тяжелых мезонов, гиперонов и античастиц как в космических лучах, так и полученных на ускорителях. Важности дальнейшего развития и совершенствования камер всех трех типов становится очевидной, если напомнить, что в последние годы с помощью камер было выполнено немало фундаментальных исследований, таких как, например, открытие θ^0 , Λ^0 , Σ^+ , Ξ^- и Σ^0 частиц, доказательство совместного рождения Λ^0 и θ^0 , определение соотношения

$$\frac{\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0}{\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-} = \frac{1}{2},$$

открытие явления M - катализа и так далее.

Интенсивная работа ученых по изучению свойств элементарных частиц привела к тому, что в настоящее время оформилась самостоятельная отрасль физики - физика частиц высоких энергий. Метод камер, наряду с фотоэмульсиями и счетчиками, является важнейшим методом экспериментальных исследований в этой новой отрасли физики, а поэтому он заслуживает того, чтобы были подведены итоги и намечены пути дальнейшего развития этого метода.

Следующий факт, на который я хотел бы обратить ваше внимание, состоит в том, что техника эксперимента в области физики высоких энергий необычайно сложна. Это прежде всего относится к камерам. Сложность и трудоемкость камерной техники эксперимента усугубляется тем, что сегодня камера не удовлетворяет нас как прибор только качественных исследований. Сегодня мы требуем от камер количественных измерений подчас весьма редких событий с хорошей статистической точностью, что означает получение и обработку десятков тысяч стереофотографий в одном эксперименте. При этом следует учитывать необходимость неуклонного роста качества и темпов научных исследований.

В настоящее время, по-видимому, можно полагать, что основной трудностью в экспериментах с камерами на ускорителях явится не столько получение фотографий, сколько их обработка. Вследствие этого мы сейчас остро ощущаем необходимость автоматизации процессов обработки камерных фотографий.

Для исследований в области физики космических лучей и физики частиц высоких энергий многими лабораториями стран-участниц

Объединенного института ныне применяются камеры. Об этом свидетельствует весьма широкий состав настоящего совещания по камерам.

Далее мне хотелось бы отметить положительную тенденцию к объединению или кооперированию научных сил различных лабораторий многих стран мира для решения наиболее важных и весьма трудоемких научных проблем, проявление которой в последние годы мы наблюдаем все чаще и чаще. Примерами проявления этой тенденции являются Международный геофизический год, наш Объединенный институт, ЦЕРН, обработка эмульсий Сардинской космической экспедиции и эмульсий, облученных на Калифорнийском бэватроне.

Важность развития камерной техники эксперимента для физики высоких энергий, с одной стороны, и чрезвычайная сложность и трудоемкость камерных экспериментов, с другой и явились основными поводами к созыву настоящего рабочего совещания по камерам.

Итак, настоящее совещание имеет следующие цели:

Во-первых, обзор современного развития трех видов камер. Обсуждение конструкций и характеристик ряда камерных установок, как работающих, так и проектируемых. Обзор успехов, достигнутых в разработке импульсных источников освещения, фотоматериалов, фотографической аппаратуры (репроекторы, измерители кривизн, стереокомпараторы), источников магнитного поля, аппаратуры автоматического управления работой камеры синхронно с ускорителями, т.е. подведение некоторых итогов развития камерной техники эксперимента.

Во-вторых, обзор ряда научных проблем, стоящих в повестке дня физики высоких энергий, и обсуждение возможности решения некоторых из них с помощью камер. Обсуждение тех новых требований к камерной технике эксперимента, которые возникают в связи с новыми задачами. Наметки путей дальнейшего развития камерной методики, путей повышения точности измерения импульсов частиц, удельной ионизации, времен жизни и других характеристик. При этом следует иметь в виду, что в ближайшие годы физики, работающие на ускорителях, столкнутся с задачей измерения импульсов частиц, превышающих 10 Бэв.

Каким путем могут быть решены эти задачи? Применением ли нескольких камер, как это делают при исследовании космических лучей; использованием ли тяжелых жидкостей, таких как ксенон, в пузырьковых камерах; созданием ли больших камер с сильными магнитными полями или каким-либо другим способом? Было бы очень полезно установить пределы возможностей применяемых ныне методов для выяснения точностей измерения интересующих нас величин.

Обсуждение вопросов автоматизации процесса стереофотограмметрической обработки камерных фотографий заслуживает особого внимания.

Безусловно, чрезвычайный интерес представляет вопрос о теориях образования пузырьков и их экспериментальной проверке. Сейчас существуют две теории образования пузырьков: электростатическая и локально-термическая. К сожалению, до сих пор серьезной и экспериментально проверенной теории нет.

И, наконец, в-третьих, обсуждение вопросов о контактах между учеными, об обмене научной и методической информацией, о кооперировании научных сил для быстреего разрешения важнейших научных проблем, о координации деятельности представленных здесь организаций, как научных институтов, так и промышленных предприятий, по разработке и созданию новой аппаратуры, особенно автоматики, и, наконец, связанных с последним вопросом стандартизации или унификации некоторых узлов камерных установок.

В заключение позвольте выразить надежду, что наше первое рабочее совещание по камерам успешно справится со своими задачами и послужит первым шагом на пути установления тесных связей между сотрудниками различных научных институтов и промышленных предприятий стран-участниц Объединенного института, занимающихся исследованием и применением камер, и пожелать присутствующим в этом зале успешной работы.

КАМЕРА ВИЛЬСОНА КАК ПРИБОР ДЛЯ ТОЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ю.А.Сморозин

(Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР)

Обзор

1. Введение

Шестьдесят лет назад Вильсоном были начаты классические исследования центров конденсации водяного пара (1), приведшие к созданию конденсационной камеры, ставшей широко известной под названием камеры Вильсона.

Применение Д.В.Скобелевским магнитного поля (2) и создание Блэккетом и Оккиалини управляемой камеры (3) явились важнейшими этапами развития методики исследований с помощью камеры Вильсона. Камера Вильсона сделалась одним из важнейших приборов ядерной физики. Достаточно сказать, что с помощью камеры Вильсона были открыты позитроны, μ - мезоны, V - частицы.

В настоящее время следы заряженных частиц наблюдаются не только с помощью камеры Вильсона, но и путем использования фотоэмульсий, пузырьковых и люминесцентных камер. Тем не менее камера Вильсона широко используется в двух важнейших модификациях как

управляемая камера при исследованиях космических лучей и как циклически работающая камера при работе с ускорителями. Продолжается совершенствование камеры Вильсона как прибора для проведения опытных измерений важнейших физических величин импульса удельной ионизации и положения траектории частицы.

В настоящем кратком обзоре будут рассмотрены принципиальные особенности методов определения импульса, удельной ионизации и траекторий частиц по снимкам камеры Вильсона, а так же некоторые общие вопросы, связанные с процессами восстановления камеры. Основные конструктивные требования будут рассматриваться только в связи с перечисленными выше задачами.

2. Измерение импульса частицы

Измерение импульса частицы сводится к определению кривизны траектории частицы в известном и достаточно однородном магнитном поле.

$$P = 300 H\rho$$

(2.1)

а) Многократное рассеяние. Нижний предел величины измеряемого импульса.

Нижний предел величины импульса, измеряемого в камере, ограничивает кулоновское многократное рассеяние на атомах газа. Бете (4)

была определена кривизна траектории частицы, обусловленная многократным рассеянием.

Соответствующая погрешность обычно записывают в виде

$$\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{\text{расс}} = \frac{P_{\text{маг}} H}{P_{\text{расс}}} = \frac{\beta_0}{\beta} \quad (2.2)$$

Здесь β - скорость частицы, а β_0 - слабо зависящая от импульса величина.

$$\beta_0 = 10,3 \frac{Z A}{H} \cdot \left(\frac{q}{\ell}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Z - атомный номер рассеивающего газа, q - давление газа в камере, ℓ - длина следа.

$$A = \left[\ell n \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}}\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\ell n \frac{P}{m c} \cdot \frac{1370_{\text{max}}}{Z^{1/3}}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

Приведем заимствованные из обзора Блэккета (5) значения величины A для аргона. ($Z = 18$, $Q_{\text{max}} = 2^0$)

$P \frac{\beta_0}{c}$	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}
A	2,44	2,86	3,26	3,59

Пренебрегая изменением A , получим

$$\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{\text{расс}} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{590}{H} \left(\frac{q}{\ell}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Для примера рассчитаем $\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{\text{расс}}$ для камеры, где $H = 10^4$ эрстед, $q = 1$ ата, $\ell = 10$ см. В релятивистской области $\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{\text{расс}} = 1,5\%$.

При измерении кривизны следа по координатам многих точек погрешность, обусловленная рассеянием, может быть уменьшена. Из расчетов Скотта (6) следует, что уменьшение может составить 15%.

б) "Диффузионная погрешность". Верхний предел величины измеряемого импульса.

Верхний предел измеряемого импульса принципиально определяется диффузионной погрешностью. Диффузия ионов до образования на них капель, размер зерна фотоэмульсии, ошибки в измерении положения центра капли приводят к хаотическому смещению центров изображений капель от следа.

Если среднеквадратичное смещение центров изображений капель есть X_0 , то при замере на следе длины l координат трех точек ошибка в кривизне составит

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{8X_0}{l^2}$$

Для уменьшения погрешности измеряют координаты X_i Y_i для многих точек следа. Методом наименьших квадратов можно получить, что, в случае когда ось OY нормальна следу:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2(\bar{y} \cdot \bar{x}^2 - \bar{y} \bar{x}^2)}{\bar{y}^4 - \bar{x}^2} \quad (2.5)$$

Согласно обобщенной теории Маркова (7), найденное значение свободно от систематической погрешности и имеет наименьшее значение дисперсии

$$\sigma_{\alpha}^2 = \frac{x_0^2}{n-3} \cdot \frac{4}{(\bar{x}^4 - \bar{x}^2)^2} \quad (2.6)$$

Здесь n - число точек.

Если точки на следе длины ℓ распределены равномерно, то, пренебрегая $\frac{1}{n}$ в сравнении с единицей, получим

$$\sigma_{\alpha} = \frac{27 x_0}{N^{1/2} \ell^{3/2}}, \quad \text{где} \quad (2.7)$$

N - число капель на 1 см следа. Отсюда, учтя что $\frac{\delta p}{p} = \frac{\sigma}{1/p}$, а $p=300 \text{ мм рт.ст.}$, введя зависимость от q - давления газа в камере ($N = N_0 q$), получим

$$\left(\frac{\delta p}{p}\right)_{\text{эф}} = 0,09 p \cdot H^{-1} \cdot N_0^{-1/2} \cdot q^{-1/2} \cdot x_0 \cdot \ell^{-5/2} \quad (2.8)$$

Для управляемых камер величина x_0 определяется диффузией ионов до момента образования на них капель. Если время диффузии T_D , то проекция среднеквадратичного расстояния ионов в колонке равна

$$x_0 = \sqrt{2 D T_D} = \sqrt{2 \frac{D_0}{q} \cdot T_0} \quad (2.9)$$

Итак, для управляемых камер

$$\left(\frac{\delta p}{p}\right)_{\text{эф}} = 0,13 \cdot p \cdot H^{-1} \cdot q^{-1} \cdot \ell^{5/2} \cdot (D_0 T_0)^{1/2} \cdot N_0^{-1/2} \quad (2.10)$$

В циклически работающих камерах, когда частица попадает в камеру с уже установившимся пересыщением, время T_p мало. В этом случае величина λ_0 определяется не диффузией, а другими факторами, чаще всего величиной зерна фотоэмульсии. Обычно диаметр зерна = 10-20 μ . При значении коэффициента фотографического уменьшения $K \approx 10$ величина λ_0 имеет порядок 10^{-3} см.

в) Зависимость погрешности от давления. Оптимальное давление и минимальная погрешность.

Полная погрешность определяется суммой диффузионной погрешности и погрешности вследствие рассеяния.

$$\frac{\delta P}{P} = \sqrt{\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{\text{диф}}^2 + \left(\frac{\delta P}{P}\right)_{\text{расс}}^2} \quad (2.11)$$

Блэккет (5) указал, что для управляемой камеры при заданной величине импульса существует оптимальное давление, при котором ошибка в измерении импульса минимальна. Следуя Блэккету, рассчитаем q_{opt} и $\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{min}$ для камеры, наполненной аргоном, ($Z = 18$, $N = 80$, $D_0 = 0,33$ см²/сек) с временем $T_p = 20$ микросекунд. Используя (2.4) и (2.9), получим:

$$\frac{\delta P}{P} = \frac{1}{H} \left(1,4 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{P^2}{L^3 q^2} + 3,4 \cdot 10^5 \cdot \frac{q}{L \beta^2} \right)^{1/2} \quad (2.12)$$

Отсюда можно получить $q_{opt} = 0,94 \cdot 10^{-4} (P\beta)^{2/3} \cdot L^{-1/3} \quad (2.13)$

$$\left(\frac{\delta P}{P}\right)_{min} = \frac{6,93 \cdot P^{1/3}}{H L^{7/6} \cdot \beta^{2/3}}$$

В таблице I приведены заимствованные у Блэкетта [5] q_{opt} и $(\frac{\delta P}{P})_{min}$ для различных значений P и L ($H=8 \cdot 10^3$ эрстед, $\beta = 1$)

Т а б л и ц а I

Оптимальное давление P_0 (атм) при различных значениях P и L

$P, атм$	$L, см$			
	5	10	20	30
10^6	2,4 (6,1%)	0,91 (3,4%)	0,37 (1,2%)	0,15 (0,5%)
10^5	11,0 (13,1%)	4,4 (7,3%)	1,8 (2,6%)	0,7 (1,1%)
10^4	50 (28%)	20 (10%)	8 (5,6%)	3 (2,3%)

Аналогичный расчет можно провести для циклически работающей камеры. Для камеры, наполненной аргоном,

$$\frac{\delta P}{P} = \frac{1}{H} \cdot \left[1,2 \frac{10^{-6} P^2 \chi_0^2}{P L^5} + 3,4 \cdot 10^5 \frac{q}{L \beta^2} \right]^{1/2} \quad (2,15)$$

Откуда

$$q_{opt} = 2 \cdot 10^{-5} \frac{P \chi_0 \beta}{L^2} \quad (2,16)$$

$$\left(\frac{\delta P}{P} \right)_{min} = 3,5 \frac{P^{1/2} \cdot \chi_0^{1/2}}{H L^{3/2} \beta^{1/2}} \quad (2,17)$$

В нижеследующей таблице приведены численные значения q_{opt} и $(\frac{\delta p}{p})_{min}$ для циклической камеры ($X_0 = 0,001$ см)

ТАБЛИЦА N2
ОПТИМАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ И МИНИМАЛЬНАЯ
ПОГРЕШНОСТЬ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ $p\beta$ И L

$p\beta$ %	L см		
	5	10	20
10^4	0,08 (1,2%)	0,02 (0,5%)	$5 \cdot 10^{-3}$ (0,15%)
10^9	0,8 (3,7%)	0,2 (1,5%)	0,05 (0,5%)
10^{10}	8 (12%)	2 (4,6%)	0,5 (1,5%)

Блэккет указал, что если выразить давления в долях оптимального давления $\pi = \frac{p}{p_{opt}}$, а погрешность - в долях минимальной погрешности, то зависимость погрешности от давления универсальна

$$\frac{\frac{\delta p}{p}}{(\frac{\delta p}{p})_{min}} \approx \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\pi^2} + 2\pi \right)}$$

для управляемой камеры и

$$\frac{\frac{\delta P}{P}}{(\frac{\delta P}{P})_{min}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\pi} + \pi \right)}$$

для циклически работающей камеры.

В таблице III приведены численные значения.

г) Турбулентная погрешность. Температурный режим камеры.

Приведенные выше величины погрешностей в измерении импульса являются минимальными. На практике имеют место смещения участков следа вследствие движений газа в камере, приводящие к возникновению погрешности, которая может быть названа "турбулентной" погрешностью.

Таблица №3
Зависимость отношения $\frac{\delta P}{\delta P_{min}}$ от давления $\pi = \frac{P}{P_{ном}}$

$\pi = \frac{P}{P_{ном}}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	2	3	5	10
$\sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\pi} + 2\pi \right)}$	2,35	1,30	1,04	1,00	1,20	1,42	1,82	2,57
$\sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\pi} + \pi \right)}$	1,47	1,12	1,04	1,00	1,12	1,29	1,62	1,84

Величина $(\frac{\delta\rho}{\rho})_{тур}$ может быть определена как разность получаемой на опыте суммарной погрешности - "ложной" кривизны следов в камере и рассчитанных выше погрешностей $(\frac{\delta\rho}{\rho})_{рас}$ и $(\frac{\delta\rho}{\rho})_{эф}$

В настоящее время описаны камеры, для которых турбулентная погрешность незначительна. Такова камера Баркера (8) - круглая камера диаметром 30 см, камера Томсона (9). Фрэттером и Фризенгом (10) описана большая камера размером 50x40x10см³ с малым значением турбулентной погрешности, позволяющая так же проводить измерения ионизации.

21-2-8887
Современные конструкции камер с мягкой диафрагмой и особенно с жестким поршнем позволяют получить малые искажения следов при расширении даже для глубоких камер. Основные искажения происходят за счет конвекционных токов в газе камеры, увлекающих ионы и образующиеся на них капли. Поэтому при конструировании управляемых камер стремятся уменьшить время от момента прохождения частицы до фотографирования, особенно интервал времени от прохождения частицы до завершения расширения.

В современных камерах последнее время составляет 5-20 миллисекунд и возможности дальнейшего сокращения его, по-видимому, исчерпаны.

Величина турбулентной погрешности определяется скоростями конвекционных токов в газе. Так как во время расширения в камере появляются большие перепады температур, то после расширения скорости

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

газа растут, по-видимому, квадратично. Опыт показывает, что за время, необходимое для роста капель (~ 100 миллисекунд) эти скорости не достигают заметной величины, и основные искажения следов образуются поэтому за счет конвекционных скоростей, существующих в камере до расширения.

Необходимо отметить, что вопрос о зависимости конвекционных скоростей газа от температурного режима в камере и вязкости систематически не изучен. Поэтому проведение работ в этом направлении представляется весьма интересным.

В настоящее время выработан ряд приемов стабилизации газа в камере, ставших общепринятыми:

1) Стабилизация температур стенок камеры. Необходимая степень точности составляет, по-видимому, несколько сотых градуса. Так, Фреттер (10) указывает, что колебания, превышающие $0,02^{\circ}$, уже приводили к искажениям следов, которые могли быть замечены.

2) Создание положительного вертикального температурного градиента. Величина его должна составлять, по-видимому, около $10^{-2^{\circ}/\text{см}}$. Фреттер, получивший радиус ложной кривизны около 200 м, создавал в камере высотой 40 см перепад температур между верхом и дном камеры $0,3^{\circ}$ С.

3. Измерение ионизации

Для большинства работ с камерой Вильсона особый интерес представляют одновременные измерения величины импульса и ионизации частицы, так как две эти величины позволяют определить массу частицы.

Поэтому в последние годы усилия экспериментаторов направлены на развитие методов измерения ионизации по фотографиям следов, полученных в камере с быстрым расширением.

Получили развитие два основных метода - абсолютный метод - метод счета капель и относительный - сопоставление характеристик фотографий следов в камере Вильсона.

Абсолютный метод требует разделения изображений капель, выросших на отдельных ионах, и поэтому в ранних работах (II, I2, I3) не мог быть совмещен с измерением импульса.

Фреттер и Фризен (I0) разработали упоминавшуюся ранее конструкцию камеры, с помощью которой получена высокая точность как в измерении импульса, так и в измерении ионизации. Малые искажения следов обеспечивались быстрым расширением (задержка расширения составляла лишь 8 миллисекунд). В то же время благодаря наполнению камеры гелием (давление 1,3 ата), имеющим большой коэффициент диффузии ($0,12 \text{ см}^2/\text{сек}$), изображения отдельных капель разделялись достаточно хорошо. При затяжке света 140 миллисекунд и коэффициенте фотографического уменьшения 14 диаметр капель составлял 10 микрон при ширине следа около 100 микрон. Число капель на 1 см длины следа релятивистской частицы было около 25 при эффективности 100 %.

Основные погрешности этого метода следующие:

- а) Статистическая погрешность.
- б) Ошибка при подсчете капель.
- с) Ошибка, обусловленная наложением изображений капель.

д) Ошибка, обусловленная различием в эффективности вследствие наличия вертикального температурного градиента в камере.

Экспериментально найденное значение суммарной погрешности для следа длиной 40 см с минимальной ионизацией составляет 3%. Эта величина близка к рассчитанной статистической погрешности. Измерениями перекрывается интервал ионизации примерно от I_{min} до $5 \cdot I_{min}$. Погрешность возрастает с увеличением ионизации достигая 10% для ионизаций, близких к $5 I_{min}$. Благодаря градиенту температур наблюдается различие порядка 10% в эффективности по высоте камеры. Поэтому целесообразно выбирать вблизи с измеряемым следом след сравнения. Для иллюстрации приведем данные определения в камере Фреттера массы пяти частиц.

Т а б л и ц а I V.

Description of tracks	Momentum (Mev/c)	Ionization (drops/cm)	Ionization (x minimum)	Calculated values
Proton or pi meson used for determining the minimum level of ionization	1750 ± 150	23.4 ± 1.0	(theoretical) 1.10 (for proton) 1.09 (for pi meson)	$I_{min} = 20.5 \pm 0.7$ drops/cm from these two tracks
Proton or pi meson used for determining the minimum level of ionization	1790 ± 150	21.4 ± 0.8	(theoretical) 1.10 (for proton) 1.09 (for pi meson)	
Negative fragment of Γ particle	109 ± 3	34.2 ± 1.9	1.67 ± 0.15	Mass = 225 $\pm 23m_e$
K particle	322 ± 8	46.0 ± 1.8	2.24 ± 0.18	Mass = 875 $\pm 65m_e$
Proton	638 ± 18	47.2 ± 1.4	2.30 ± 0.17	Mass = 1773 $\pm 123m_e$

Другим абсолютным методом измерения ионизации, точнее - первичной ионизации, является метод определения средней длины просвета на следе, развитый в работе Бовина, Крупчицкого, Першина и Чирикова (14). Этот метод позволяет измерять ионизацию при работе с камерой с быстрым расширением (7-8 миллисекунд) и в случае большого перекрытия изображений капли.

Основные требования к аппаратуре:

1) 100% эффективность конденсации на ионах. Авторы использовали для промеров колонку положительных ионов, разделяя колонки электростатическим полем 30 в/см. и наполняли камеру чистым аргонном, подвижность электронов в котором высока.

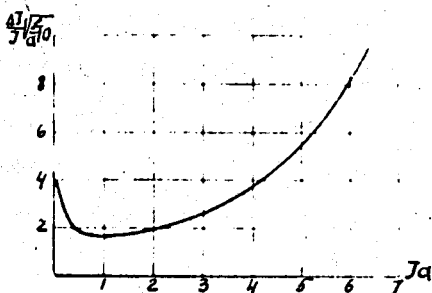
2) Отсутствие значительного фона.

3) Возможность получения на фотографиях изображений капель.

В этих условиях средняя величина просвета \bar{l} и число ионов первичной ионизации Y связаны соотношением:

$$J = \frac{1}{\bar{l}} \quad (3;1)$$

Статистическая ошибка определения ионизации $\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{1}{\sqrt{N}}$, где N число измеренных промежутков. Зависимость статистической погрешности от перекрытия приведена на взятом из цитированной выше статьи графике (Рис. I).



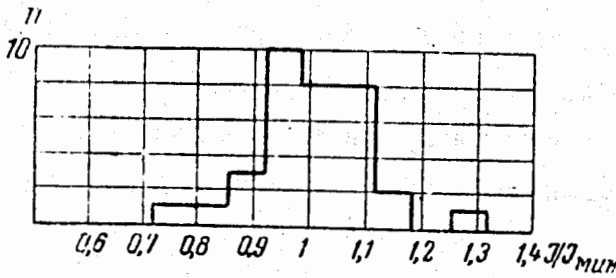
График, иллюстрирующий зависимость отношения первичной и вторичной ионизации от давления. Методом средних значений просвета рассчитывается коэффициент I_2/I_1 для давления ионизации, измеренной в камере с давлением P и P_0 (в атмосферах). Показатель I_2/I_1 для давления P_0 равен единице.

Рис. I.

Авторы измеряли ионизацию в камере наполненной аргонном при давлениях 1,5, 2, 3 ата, и также с наполнением другими газами. Было найдено, что соотношение (3.1) в исследованных случаях хорошо выполняется.

Погрешность в определении первичной ионизации составляет для хороших фотографий следов релятивистских частиц 10-15%, причем основную роль играет статистическую погрешность. В качестве иллюстрации метода приведем гистограмму промеров

ионизации 34 следов частиц проникающей компоненты космических лучей. Дисперсия распределения соответствует погрешности 10 %.



Распределение измеренных значений ионизации в камере Вильсона

Рис. 2.

Относительные методы измерения ионизации представляют сопоставление величины какого-либо параметра, характеризующего фотографическое изображение следа, с градуировочной кривой, связывающей значение выбранного параметра с величиной удельной ионизации.

Градуировочная кривая составляется на основании промеров, полученных в тех же условиях, следов частиц с заранее известной ионизацией.

Работы по измерению ионизации относительными методами были недавно рассмотрены в обзоре В.М.Федорова (15), где рассмотрены как работы советских физиков (16,17,18) так и зарубежных (19,20).

В связи с этим ограничимся изложением основных выводов. След фотометрируется. Параметром, характеризующим ионизацию, является

либо высота пика кривой поглощения, либо площадь под кривой. При ионизациях, больших 10 , возможно удобнее пользоваться шириной следа (2I). Преимущество относительных методов заключается в возможности проведения измерений при таких условиях фотографирования, когда отдельные капли не разрешаются. Точность измерения ионизации определяется стабильностью условий конденсации и фотографирования. При отсутствии следа сравнения, эта точность имеет порядок 25%. При наличии следа сравнения - обычно релятивистского электрона - точность повышается до 10-15%. Для иллюстрации приведем данные Бьорнеруда [20] по измерениям масс 10 частиц, представляющих собой K -мезоны.

Таблица У.

Сравнение ионизации, измеренной фотометрическим методом и определенной визуально. Указанные ошибки являются вероятными ошибками, вычисленными из повторных записей „прозрачности“. Массы вычислялись по измеренным значениям ионизации

$P, \text{ Мэв/с}$	II_{\min} (визуальн.)	II_{\min} (измер.)	Масса, m_e
185 ± 20	5,0—10,0	$7,4 \pm 0,6$	1140 ± 150
185 ± 60	1,5—2,0	$3,9 \pm 0,5$	770 ± 320
465 ± 100	1,0—1,5	$1,6 \pm 0,2$	930 ± 210
286 ± 30	1,5—2,5	$2,6 \pm 0,3$	860 ± 120
245 ± 15	3,5—7,0	$4,3 \pm 0,2$	1080 ± 100
368 ± 30	1,7—3,5	$2,3 \pm 0,3$	990 ± 110
172 ± 15	3,0—6,0	$7,5 \pm 0,8$	1070 ± 120
215 ± 100	1,7—3,5	$3,1 \pm 0,2$	750 ± 350
230 ± 15	3,0—6,0	$4,7 \pm 0,3$	1080 ± 100
255 ± 60	4,0—10,0	$3,6 \pm 0,8$	990 ± 250

4. Пространственные измерения по снимкам камеры

Измерения пространственных координат капель и углов между следами осуществляется по паре стереоскопических снимков. Обычно на одном снимке замеряются координаты x' и z' капли, по паре снимков определяется линейный параллакс ΔP . Если начало осей координат, как на пленке, так и в камере, лежит на оптической оси объектива, то координаты капли в камере могут быть представлены в виде

$$x = K(y) \cdot x'$$

$$z = K(y) \cdot z'$$

$$y = \frac{K_0^2 \cdot \frac{d}{B} \cdot \Delta P}{1 + \frac{d}{B} \Delta P} \quad (3.1)$$

$$(3.2)$$

Здесь K_0 - коэффициент фотографического уменьшения для плоскости $y=0$, $\frac{d}{B}$ - отношение расстояния от центра объектива до пленки к стереоскопической базе фотоаппарата, а коэффициент фотографического уменьшения

$$K(y) = K_0 + \frac{y}{d}$$

Погрешности определяются

$$\delta x = \delta y = K(y) \cdot \delta(x') \quad (3.3)$$

$$\frac{\delta y}{y} = K_0^2 \cdot \frac{d}{B} \delta \Delta P \quad (3.4)$$

Эти соотношения позволяют выбрать K_0 и $\frac{d}{\beta}$ при конструировании фотографической системы. Если среднеквадратичное расстояние центра капель от следа X_0 , то ошибка в определении угла наклона для следа длиной ℓ при измерении на нем n равноотстоящих точек определится

$$\sigma_{\psi}^2 (n \cdot \ell) = \frac{X_0^2}{n-2} \cdot \frac{3}{\ell^2 (1 + \frac{2}{n-1})} \quad (3,5)$$

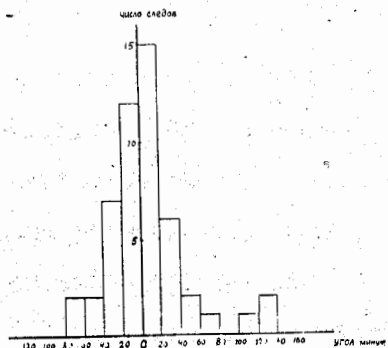
Например, для рассмотренной в предыдущем § камере $X_0 = 0,04$ см. При $\ell = 5$ см, $n = 5$ получим $\sigma_{\psi} = 10'$.

В большинстве выполненных до настоящего времени работ не проводилось точного определения положения следов и углов между ними. Поэтому вопрос о погрешностях, вносимых искажениями следа за счет движений газа, (искажения определяются скоростями газа и их пространственными первыми производными) подробно не исследован.

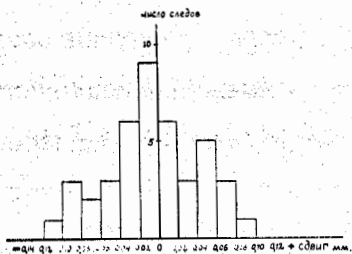
В качестве частного примера можно привести данные полученные на Долгопрудненской станции ФИАН с камерой диаметром 20 см, имевшей ложную кривизну около $0,1 \text{ м}^{-1}$. Камера имела пластинку. Измерялись относительные углы и сдвиги отрезков следов проникающих частиц над пластинкой и под пластинкой. Несомненно, что в больших камерах эти погрешности могут быть уменьшены. (Рис.3).

5. Процессы восстановления камеры Вильсона

Вопрос о процессах восстановления рабочего режима камеры Вильсона имеет значение для выбора полного цикла работы камеры.



$$\sqrt{\sigma^2} = 40'$$



$$\sqrt{\sigma^2} = 0,04 \text{ см}$$

Рис. 3.

Кроме того при работе камеры с ускорителем и в некоторых исследованиях космических лучей, когда интенсивность излучения велика, число снимков определяется временем восстановления камеры. Возникает задача сокращения времени восстановления.

Следующие процессы должны произойти, прежде чем камера будет готова к следующему расширению:

1. Очищение объема от центров конденсации при предыдущем расширении.
2. Создание в камере однородного насыщающего давления паров.
3. Достижение температурного равновесия газа, уменьшающего скорости конвекционных токов.

Следует отметить, что процессы 2 и 3 взаимосвязаны и оба равновесия достигаются совместно.

Очищение камеры достигается обычно тем, что каплям, появившимся при предыдущем расширении, дают осесть на дно камеры, если время восстановления не лимитирует работу аппаратуры. Если длительность пере-сыщения в камере такова, что капли успевают упасть на дно камеры не испарившись, то достаточно оставить камеру в состоянии расширения на время, достаточное для падения капель. Оно составляет обычно 5-10 сек.

Если газ в камере прогревается настолько быстро, что часть капель успевают испариться, или ионизация такова, что не все капли могут вырасти до достаточных размеров, то проводят несколько очищающих расширений, чтобы осадить все центры конденсации. Эта процедура занимает обычно 50-100 секунд.

Прежде чем перейти к вопросу об уменьшении времени очищения камеры остановимся на процессе испарения капель. На первой стадии испарение капли определяется той же зависимостью равновесного давления от размера капли, что и при росте капли. (См. Рис. 4). На этой стадии испарение идет с той же скоростью, что и рост капель. Время испарения ~ 100 миллисекунд. Опыт показывает, что испарение прекращается при некотором радиусе a_2 , большем радиуса a_0 , при котором капля может быть убрана обычным очищающим полем. Время существования в метастабильной точке a_2 , составляет десятки минут. Вильсон (28) объясняет существование метастабильных центров наличием петли на кривой равновесия, обусловленной изменением величины поверхности натяжения (см. рис. 2).

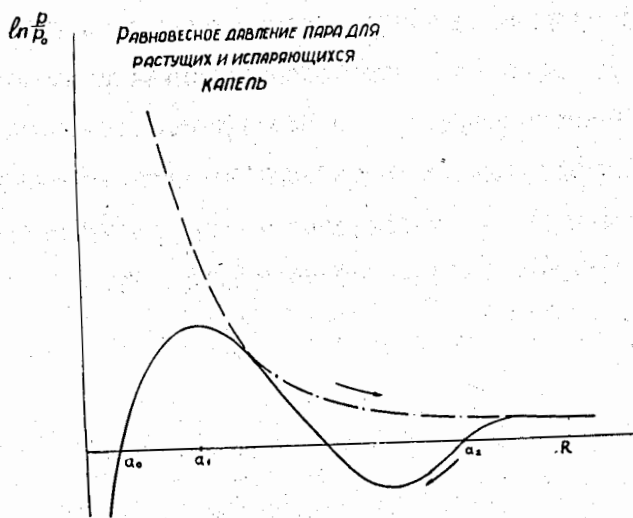


Рис. 4.

Метастабильные капли имеют такие размеры, что с одной стороны практически не падают в поле тяжести. С другой стороны их подвижность (22) порядка 10^{-4} см²/вольт.сек, делает применение электрического поля малоэффективным. Кроме того следует подчеркнуть, что метастабильные капли могут быть как заряженными, так и незаряженными. Чтобы произошло испарение метастабильной капли, необходимо понизить давление паров ниже точки, соответствующей петле кривой. Гертнер и Иетер (23) предложили проводить после расширения быстрое сжатие, во время которого газ нагревается и степень насыщения уменьшается. Было найдено, что при степени перекомпрессии, равной степени расширения основного расширения, метастабильные капли эффективно испаряются. Следует отметить также, что если перекомпрессия следует быстро за расширением, то капли не успевают заметно упасть, и пар в объеме камеры истощается в меньшей степени.

Установление насыщения пара определяется скоростью испарения пара с поверхности жидкости и скоростью диффузии паров в газе. Таким образом, для уменьшения времени установления насыщения необходимо свести до минимума количество жидкости, выпадающей при расширении, и применять газы с большим коэффициентом диффузии молекул пара (гелий).

Поуэллом (24) было найдено, что при температуре 100° С установление насыщения в чистом паре происходит за время 10^{-4} сек. Это время остается малым для чистого пара и при нормальной температуре (25). Таким образом время установления насыщения пара может быть снижено выбором давления газа в камере.

Время установления температурного равновесия существенно связано с допустимой величиной конвекционных токов. В тех случаях, когда искажения следов не контролируются, это время может быть снижено до 45-60 секунд (26,27). С другой стороны, опыты, выполненные в МЭИ^{х)} в большой камере размером 100x40x20 см³ показывают, что стабилизация температуры газа в пределах около 10⁻²С достигалась за время 20-30 минут. Чтобы решить вопрос о возможности уменьшения времени установления равновесия газа в камере, необходимо исследование скоростей конвекционных токов газа в зависимости от температурного режима камеры и вязкости газа.

х) Опыты выполнялись в Московском Энергетическом Институте группой проф.С.П.Герасимова.

Л и т е р а т у р а

1. C.T.R. Wilson, Philos.Trans.Roy.Soc. 189,265, 1897.
2. Д.В.Скобелев, Zeits.fur Physik, 43, 354, 1927.
3. P.M.S.Blackett, G.P.S.Oschialini, Proc.Roy.Soc.139,699,1933.
4. H.Bethe, Phys.Rev. 70,821, 1946.
5. P.M.S.Blackett, Nuovo Cim. II Suppl N2,264, 1954.
6. Scott, Phys.Rev. 76,212, 1948.
7. Романовский "Основные задачи теории ошибок", Москва 1947.
8. H.Barker, Доклад на конференции в Бигоре 1954.
9. Thomson, Доклад на конференции в Бигоре 1954.
10. W.B.Fretter, B.W.Friesen, Rev.Sci.Instr.26,703,1955.
11. W.E.Hazen, Phys.Rev. 65,259, 1944.
12. Ghosh S.K., Jones G.M.D.,Wilson J, Proc.Phys.Soc.A65, 68,1952.
13. Carter R.S.,Whittomore W.L.,Phys.Rev. 87, 494,1952.
14. В.В.Бовин, П.А.Крупчицкий, И.И.Першин, Б.В.Чириков.
ПТЭ, № 3, 19, 1957.
15. В.М.Федоров. ПТЭ, № 2, 32, 1957.
16. М.И.Дайон, В.М.Федоров, ЖТФ, 20, 771, 1955.
17. В.М.Федоров, Г.И.Мерзон, М.И.Дайон, Изв.АН СССР, серия физич.,
19,6,750, 1955.
18. А.П.Алиханян, Н.В.Шостакович, А.Т.Дадян, В.М.Федоров, ЖЭТФ,12,955,
1956.
19. J.Butterworth, Phil.Mag. 46, 884,1955.
20. E.K.Bjornerud, Rev.Sci.Instr.26,836,1955.
21. Biror, Nuovo Cim., II Suppl. N2,264,1954.
22. Brinkman, Physica, VI,519, 1939.
23. E.R.Gaertner, M.L.Jeater, Rev.Sci.Instr. 20, 588,1949.
24. Powell, Proc.Roy.Soc., A 119, 553,1928.
25. Joliot, Journ, Phys.Radium, 5, 216,1934.
26. А.Н.Горбунов, В.М.Спиридонов, П.А.Черенков, ПТЭ, № 2,29,1957.

27. J.O.Kessler, R.M.Lederman, Phys.Rev. 94, 703, 1954.

28. Д.Вильсон "Камера Вильсона" ГИИЛ, 1954.

Д и с к у с с и я

В.П. Желепов.

Какие имеются перспективы в области создания камер Вильсона с повышенными давлениями? По-моему, за последнее время интерес к этой проблеме ослаб.

Б.А. Смородин.

Если говорить об исследовании космических лучей, то сейчас работа с камерами повышенного давления в этой области широко не практикуется. Высокое давление в камере имеет смысл, если используются какие-то процессы взаимодействия с веществом газа камеры. Повышение давления уменьшает пробег частиц в газе. Кроме того, в камерах высокого давления появляется возможность измерения импульса по многократному кулоновскому рассеянию и ионизации по ширине следа.

Н.И. Добротин.

Я хотел сказать несколько слов о той тенденции в современном развитии работ с камерой Вильсона, которая проявляется, как мне кажется, в последние годы особенно резко. Это тенденция к увеличению размера камеры Вильсона. Совсем недавно круглая камера Вильсона с диаметром 30-40 см считалась очень большой. Сейчас в последних работах все более и более применяются камеры прямоугольного типа с размерами уже в сотни литров. Известно, что сейчас в ЦЕРН"е работает камера объемом в 1 м^3 (действующий объем)

и готовится к пуску вильсоновская камера с расширением объема в 2 м^3 . Эта тенденция увеличения действующих объемов является чрезвычайно характерной, и с точки зрения этой тенденции, мне кажется, и нужно анализировать ту конкуренцию между различными типами камер: обычными камерами Вильсона, диффузионными камерами и отчасти пузырьковыми камерами. Создание пузырьковых камер с объемом в сотни литров и даже кубических метров является чрезвычайно сложной задачей, но, вероятно, в ближайшем будущем такого рода камеры будут широко применяться в различных исследованиях, проводимых с помощью ускорителей. Что же касается создания очень больших диффузионных камер, то эта тенденция наталкивается на очень большие трудности. Дело в том, что создание устойчивых низких температур и необходимых градиентов для работы диффузионных камер в больших объемах наталкивается на большие трудности. В результате, диффузионные камеры больших объемов работают неустойчиво. Поэтому создание диффузионных камер ни в коем случае не делает ненужной дальнейшую работу по усовершенствованию обычной камеры Вильсона, особенно камеры Вильсона очень больших размеров. Когда физики стали создавать камеры Вильсона большого размера, то казалось, что трудности возрастут. На самом деле это не так. Переход к камере объемом в 1 м^3 и т.д. не приводит к каким-либо особым трудностям, за исключением вопросов, связанных с освещением и фотографированием. С точки зрения конструктивного налаживания, получения устойчивого режима в больших камерах Вильсона особенных трудностей не возникает, тем более, что сейчас развиваются методы перекомпрессии, позволяющие сокращать время между рабочими циклами.

КАМЕРА ВИЛЬСОНА С УСКОРЕННЫМ РАБОЧИМ ЦИКЛОМ

И.П. Явор, А.П. Комар.

(Ленинградский физико-технический институт АН СССР)

При работе камеры Вильсона с ускорителем весьма выгодно сократить период ее срабатывания до предельно возможной величины, не ухудшающей качество получаемых снимков. Помимо экономии рабочего времени ускорителя это облегчает набор необходимой статистики исследуемых с помощью камеры Вильсона процессов.

В ходе экспериментов, связанных с изучением фотоядерных реакций, в нашей лаборатории обычная камера Вильсона с резиновой диафрагмой, работающая с периодом в 1 мин., была приспособлена для работы с перекомпрессией, что позволило сократить период ее срабатывания до 10 ÷ 15 сек при давлении газа в рабочем объеме камеры от 1,2 до 2 атм.

Впервые камера Вильсона специальной конструкции, работающая по такому циклу, была описана Гертнером и Иетером.

Камера Вильсона и система управления.

На рис 1. приведен схематический чертеж нашей камеры Вильсона, из которого видно, что конструкция ее не отличается заметно от наиболее распространенной конструкции камеры с резиновой диафрагмой. Диаметр рабочей области камеры 30 см, глубина 7 см. Фотографирование производится через верхнее стекло 1. Над диафрагмой 9 расположена перфорированная пласти-

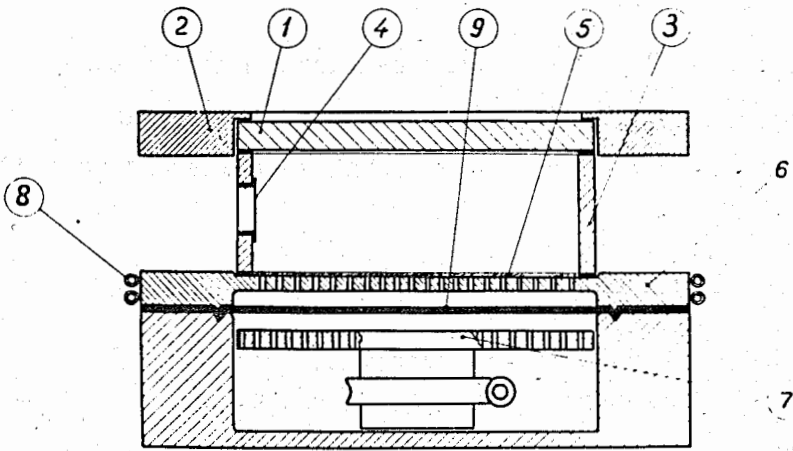


Рис 1.

на - сетка 6, покрытая черным бархатом 5 для устранения завихрений в газе при расширении. Кроме того, черный бархат служит хорошим фоном при фотографировании следов. Стекланный цилиндр 3 является боковой стенкой камеры. Нижняя часть камеры может охлаждаться водой, пропускаемой по медной трубке 8. Все основные детали камеры Вильсона изготовлены из латуни и почернены.

Конструкция камеры допускает ее работу при давлениях газа в рабочем объеме выше атмосферного. Верхняя граница этого давления определяется качеством и толщиной верхнего и бокового стекол.

В нашем случае такой границей было давление 2 атм.

Расширение газа в камере Вильсона осуществляется путем быстрого удаления сжатого воздуха из объема под резиновой диафрагмой через специальный клапан. При этом резиновая диафрагма движется до упора 7, которым служит перфорированный диск, связанный с механизмом, регулирующим его положение, а, следовательно, и степень расширения.

Электрическое поле для удаления ионов из рабочего объема создается между верхним стеклом, внутренняя сторона которого покрыта прозрачной проводящей пленкой, и сеткой с бархатом.

Цикл с перекомпрессией осуществлен следующим образом. Резиновая диафрагма перед расширением находится в промежуточном положении между сеткой с бархатом и нижним упором. После расширения и фотографирования газ в камере быстро сжимается до дав-

ления выше исходного, т.е. того, которое устанавливается в камере перед расширением. В состоянии перекомпрессии газ находится в течение примерно 0,5 сек, а затем давление в камере сравнительно медленно (3 + 5 сек) снижается до исходного и через несколько (7 + 10 сек) камера готова к очередному расширению. Таким образом, весь цикл от расширения к расширению занимает 10 + 15 сек. Быстрое сжатие газа в камере способствует более эффективному испарению капель, образовавшихся в результате предшествующего расширения, а также ускоряет установление температурного равновесия. Сравнительно медленное расширение после быстрого сжатия уменьшает фон неиспарившихся капель, т.е. является очищающим. Приблизительная диаграмма изменения давления в камере Вильсона при работе со сверхсжатием дана на рис 2. Длительности отдельных элементов цикла не являются критичными и зависят от многих факторов (рода газа, давления его и т.д.).

Использование перекомпрессии позволяет сократить время между последовательными расширениями в камере при сохранении высокого качества получаемых снимков.

Система, управляющая работой камеры Вильсона, схематически изображена на рис. 3. Она состоит из трех клапанов А, В и С, балластного резервуара V и контактного манометра, соединенного с нижним объемом камеры. Клапан А является основным клапаном, посредством которого производится расширение газа в камере.

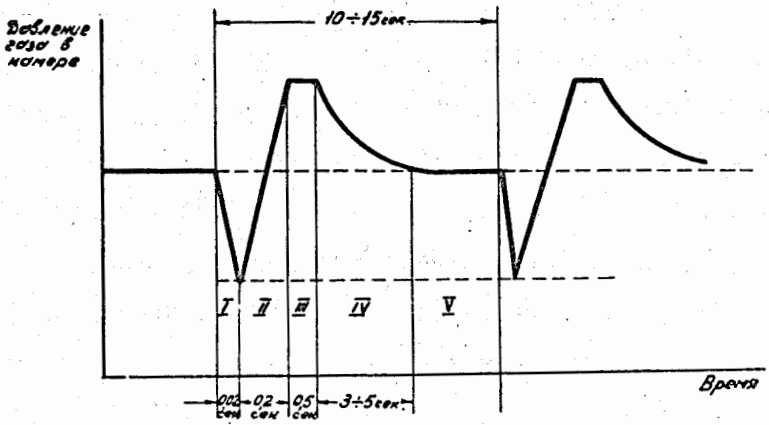


Рис. 2

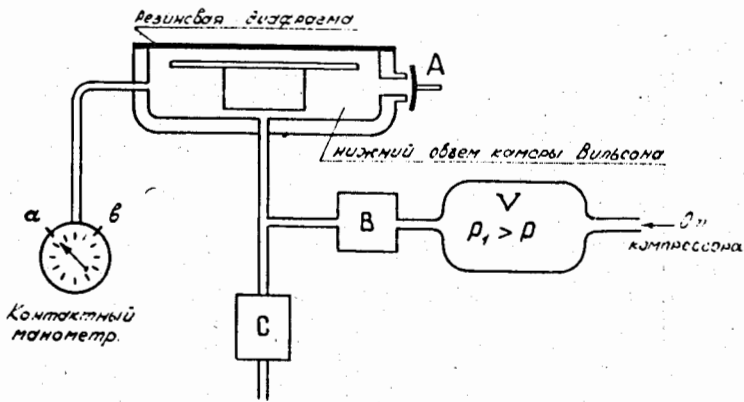


Рис.3

Клапан В служит для быстрого сжатия. Он соединяет резервуар V с нижним объемом камеры. Медленное расширение производится через регулируемое калиброванное отверстие клапана С. Все клапаны электромагнитного типа. В балластном резервуаре V находится воздух, сжатый до давления P_1 , выше некоторого давления P . По окончании фотосъемки после очередного расширения открывается клапан В, и давление в нижнем объеме камеры быстро поднимается до значения P , определяемого положением контакта "в" манометра, который закрывает клапан В. Через короткий интервал времени ($\sim 0,5$ сек) открывается клапан С, и давление газа в нижнем объеме камеры падает до значения, определяемого положением контакта "а" манометра, закрывающего клапан С. Время падения давления до нужного значения может регулироваться изменением величины отверстия клапана С. Положения контактов "а" и "в" фиксируются при регулировке режима работы камеры. Основная же настройка режима производится установкой в определенном положении нижнего упора, ограничивающего движение резиновой диафрагмы.

Переключение клапанов В и С производится с помощью простой тиратронной схемы с реле, которая управляется контактным манометром.

Некоторые сведения о работе камеры Вильсона.

При наполнении в камеру вводилась смесь этилового спирта и воды в пропорции 2:1 в количестве от 5 до 10 см³. Оптимальным,

по-видимому, является такое количество смеси, при котором весь бархат равномерно пропитывается ею, и отсутствует свободно переливающаяся по резиновой диафрагме жидкость. Свеже-наполненная, предварительно просушенная камера всегда работает лучше вначале, чем спустя некоторое время. По-видимому, это связано с изменением состава рабочей смеси со временем. При неоднократных разборках нашей камеры обнаружилось, что после продолжительной работы воды в камере значительно больше по отношению к спирту, чем в свежей смеси. Возможно, что спирт реагирует с деталями камеры, вследствие чего количество его уменьшается с течением времени. Это предположение подтверждается тем обстоятельством, что в долго работающей камере режим легко исправить, добавив небольшое количество спирта. Повышенное же содержание водяных паров требует увеличения степени расширения, и, кроме того, при этом образуются более мелкие капли, которые труднее испарить или убрать медленным расширением.

В литературе имеются указания на опасность соприкосновения резиновой диафрагмы с верхним латунным перфорированным диском-сеткой, покрытым бархатом, т.к. это вызывает капельный фон (туман) в камере. Эми обращает внимание на зависимость эффективности образования такого фона от рода газа, наполняющего камеру. В его экспериментах сильный туман возникал при наполнении камеры воздухом или аргоном и отсутствовал при наполнении гелием, или смесью гелия с воздухом и аргоном. При работе с нашей камерой подобных явлений образования тумана при контакте резиновой диафрагмы с латунной сеткой не наблю-

далось; камера в равной степени хорошо работала практически без тумана при различных наполнениях. В экспериментах, связанных с фотоядерными исследованиями, камера наполнялась гелием, неоном, аргоном, криптоном, воздухом, азотом, углекислым газом, и режим работы камеры не зависел от рода наполняющего ее газа, хотя с более легкими газами проще добиться более короткого периода срабатывания камеры.

По-видимому, упоминаемый Эми и Хазеном фон тумана обусловлен не контактом резины с латунью, а неиспарившимися каплями или каплями жидкости, впрыснутыми из нижнего объема камеры или бархата при сжатии. В нашем случае эти капли убираются медленным расширением, следующим за быстрым сжатием и фактически являющимся очищающим. Зависимость от рода газа, имевшая место у Эми, объяснима, т.к. в более легких газах капли вырастают до более крупных размеров и легче испаряются или оседают, чем в тяжелых.

При эксплуатации камеры Вильсона возникла необходимость введения в камеру различного рода пластин и перегородок. Вводились пластины размером 60 см x 280 см из алюминия, меди, латуни, эбонита, свинца. Режим работы камеры при этом не нарушался.

Камера находилась в постоянном магнитном поле специального электромагнита. Фотографирование производилось стереоскопически через отверстие в полюсном наконечнике электромагнита

или сбоку с помощью зеркала при закрытом отверстии в полюсном наконечнике, когда требовалась повышенная однородность магнитного поля. Специальных мер по стабилизации температуры не применялось, т.к. большая масса электромагнита играла роль фактора, стабилизирующего температуру в камере Вильсона. Иногда приходилось лишь слегка охладить нижнюю часть камеры, чтобы предотвратить запотевание верхнего стекла. Режим работы камеры проверялся через каждые 3 часа с помощью слабого источника γ "лучей от C_0^{60} ". За такое время он практически не изменялся.

Схема синхронизации с ускорителем.

Связь камеры Вильсона с синхротроном на 100 Мэв осуществлена следующим образом. Через камеру проходит коллимированный γ - пучок от синхротрона. Приблизительно за одну секунду до расширения в камере Вильсона γ - пучок синхротрона выключается. Рабочий объем камеры очищается от ионов электрическим полем, которое снимается непосредственно перед расширением. В конце расширения подается одиночный импульс γ - пучка от синхротрона. Через определенный интервал времени включается импульсная лампа и производится фотографирование, после чего синхротрон снова начинает генерировать γ - излучение со своей нормальной частотой ($f = 50 \text{ нГц}$). Такая синхронизация камеры Вильсона и синхротрона удобна, т.к. позволяет проводить эксперименты с γ - пучком одновременно и другими методами, в отличие от распространенной синхронизации, при которой синхро-

Трон дает одиночные импульсы γ -излучения в такт с расширениями в камере Вильсона.

Блок-схема синхронизации камеры Вильсона с синхротроном дана на рис. 4. Отдельные блоки на этом рисунке обозначены заглавными буквами, а импульсы с выходов этих блоков, - соответствующими прописными. В основном вся схема управления собрана на стандартных одновибраторах с регулируемыми задержками.

Управление γ - пучком от синхротрона осуществляется посредством электронного коммутатора "G". На один из входов этого коммутатора (вход I) поступают импульсы от датчика синхротрона, определяющие момент инжекции электронов. На второй вход (вход II) подаются такие же импульсы, но прошедшие через блок задержки H (время задержки - 50 мк сек). В зависимости от состояния коммутатора "G", определяющегося тем какой из импульсов "a" или "b" поступил на него позднее, с выхода его выдаются задержанные или незадержанные импульсы, соответственно. Выходные импульсы поступают на импульсный генератор инжекции синхротрона. Незадержанные импульсы приходят в благоприятный момент для захвата электронов из инжектора в бетатронный режим ускорения (γ - пучок генерируется); задержанные импульсы соответствуют практически полному отсутствию захвата (γ - пучок не генерируется). Таким образом, импульс "a" с выхода генератора "A", определяющего период работы камеры Вильсо-

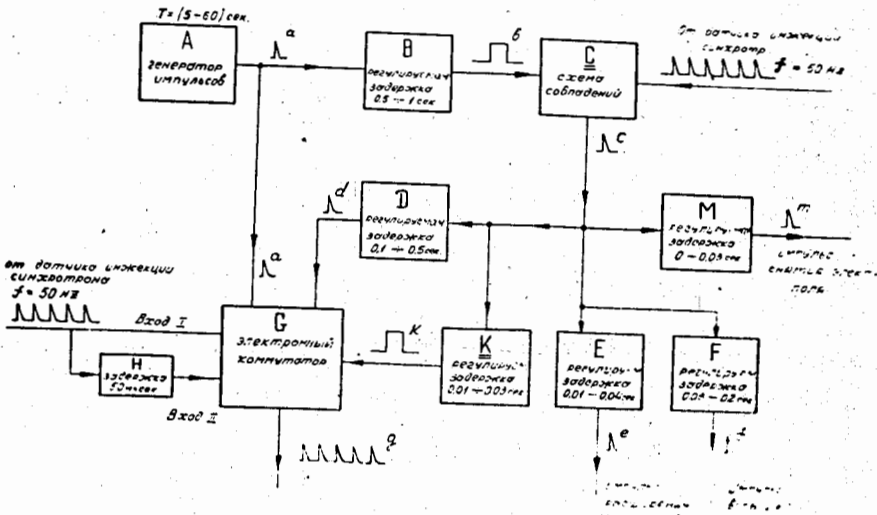


Рис. 4

на, выключает γ - пучок синхротрона, а импульс "а" его включает. В интервал между импульсами "а" и "d" ($\approx 1,5$ сек) камера очищается от ионов электрическим полем, производится расширение, облучение камеры одиночным импульсом δ - пучка от синхротрона, освещение и фотографирование образовавшихся в камере следов заряженных частиц. Момент облучения камеры определяется моментом прямоугольного импульса "к" длительностью 20 мсек., изменяющего состояние коммутатора "G" на время одного импульса от датчика синхротрона g , проходящего через коммутатор без задержки и вызывающего одиночный импульс δ -пучка. Оптимальным, по-видимому, является случай облучения камеры γ - пучком в конце расширения, хотя этот момент с помощью описываемой схемы может плавно изменяться в широких пределах как в сторону опережения расширения, так и в сторону запаздывания.

Существенная особенность данной схемы состоит в том, что основным импульсом, синхронизирующим работу камеры Вильсона и ускорителя является импульс "с", который совпадает по времени с одним из импульсов от пермаллоидного датчика инжекции синхротрона, следующих с частотой 50 нз. Это достигается применением схемы совпадений "С", на одно плечо которой поступают импульсы от датчика инжекции ускорителя, а на другое-подается один прямоугольный импульс "в" длительностью 20 мсек, который обязательно совпадает с одним из импульсов, поступающих на первое плечо схемы совпадений. Время между импульсом "а", выключающим γ - пучок, и импульсом "в", в основном, необходимо для

очистки камеры Вильсона от ионов, образовавшихся от предшествующего интенсивного облучения. Импульс "с" запускает ряд одновибраторов, выдающих в различные моменты времени импульсы, управляющие отдельными элементами установки. Так, импульс "т" выключает электрическое поле перед расширением, "е" открывает клапан расширения, "к" дает одиночный импульс γ - излучения синхротрона; импульс "f" поджигает импульсную лампу для фотографирования, а импульс "d" включает γ - пучок, открывает клапан быстрого сжатия и включает очищающее электрическое поле. Некоторые из перечисленных импульсов изображены на диаграмме рис.5. Заштрихованные области на этом рисунке изображают возможные пределы плавных изменений моментов подачи соответствующих импульсов.

З а к л ю ч е н и е .

Выполненный с вышеописанной камерой Вильсона ряд исследований по фотоядерным реакциям показал ее полную пригодность для работы в условиях интенсивного γ - излучения и преимущество, связанное с затратой сравнительно небольшого количества времени работы ускорителя для набора необходимой статистики.

Для характеристики качества работы камеры с ускоренным циклом можно привести ряд фотографий, полученных с ее помощью.

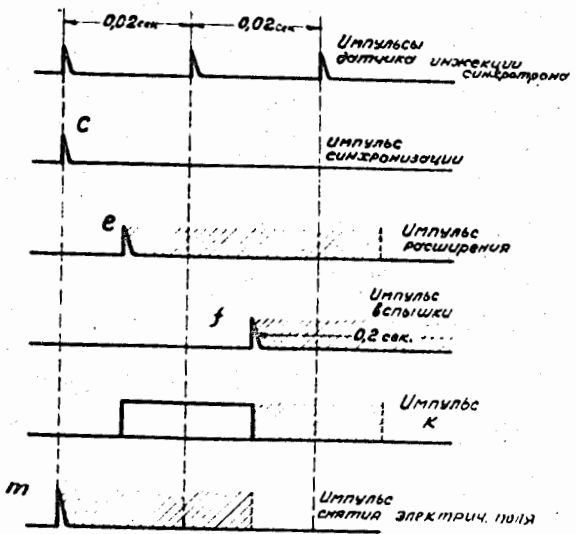
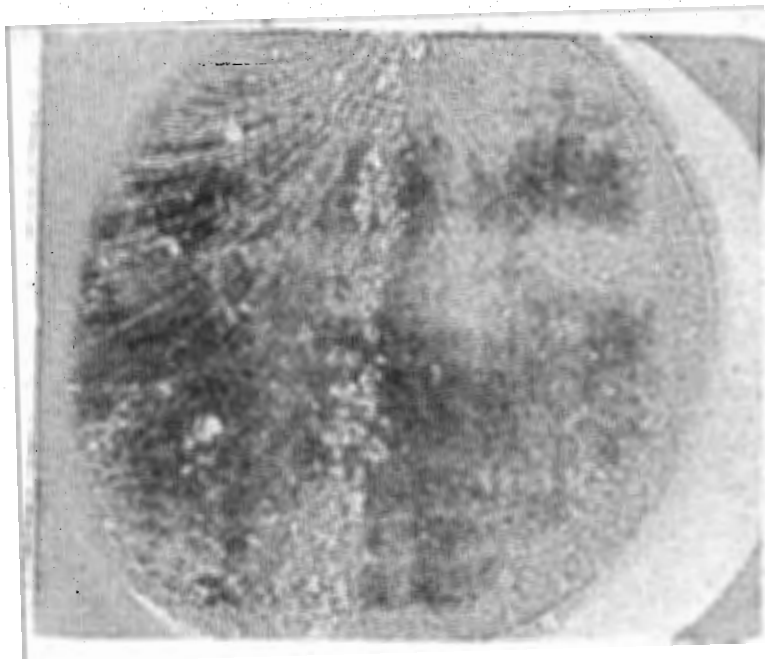


Рис. 5

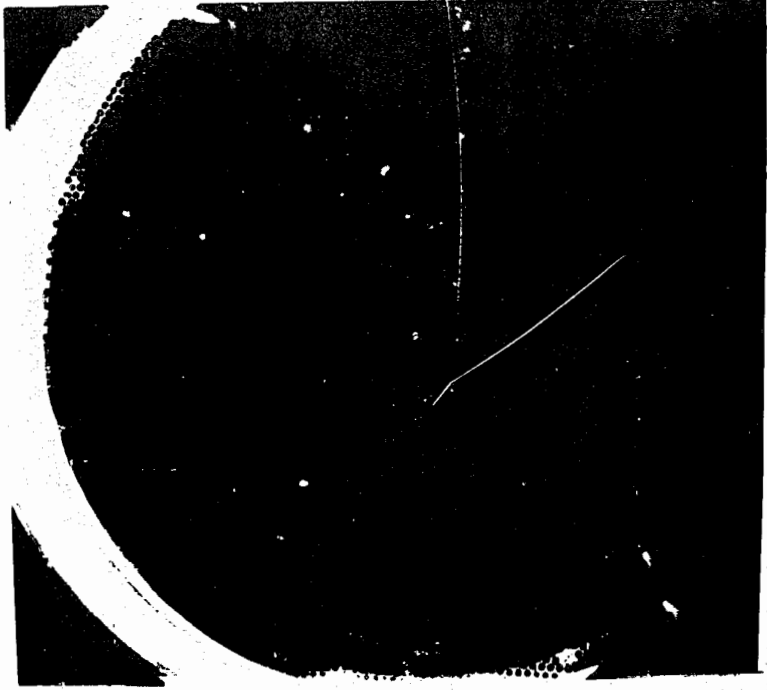
На рис. 6 (а) представлена фотография электронно-позитронных пар, возникающих под действием тормозного γ -излучения синхротрона с максимальной энергией γ -квантов 80 Мэв. Пучок проходит в камеру через тонкое алюминиевое окно. Цикл 12 сек. Камера наполнена аргоном до давления - 1,4 атм. Время задержки между моментом прохождения γ -пучка через камеру и моментом поджига импульсной лампы $\approx 0,1$ сек. Электронные и позитронные треки хорошо сформированы.

На рис. 6 (в) приводится фотография звезды, возникшей в неоне при облучении его тормозным γ -излучением с максимальной энергией 80 Мэв. Цикл 13 сек. Давление неона 1,2 атм. Время задержки между моментом γ -импульса и моментом фотографирования $\approx 0,03$ сек. Электронные и позитронные треки неразвиты. Их почти не видно, треки же тяжелых частиц (в данном случае - протона, α -частицы и ядра отдачи) сформированы достаточно хорошо.

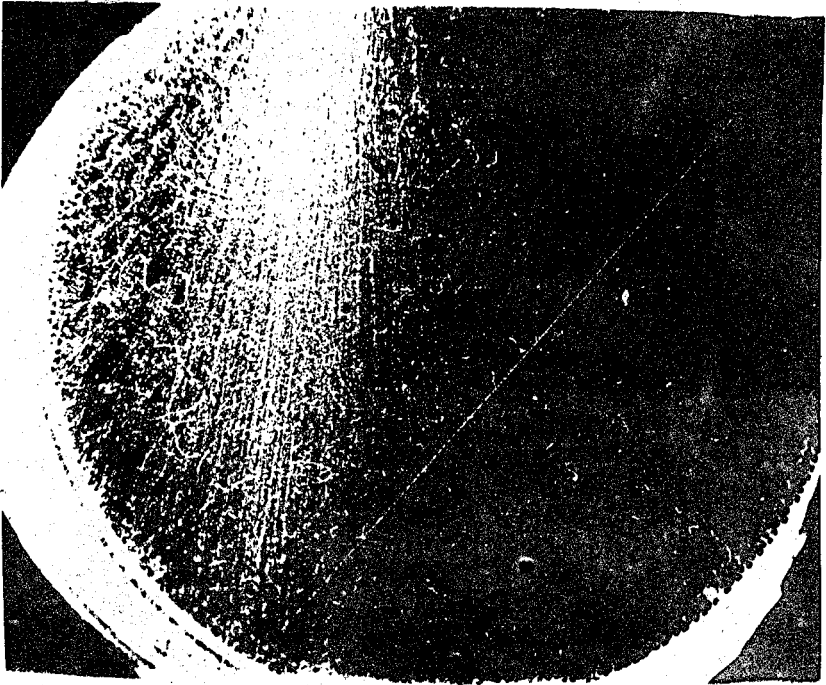
Фотографии рис. 6 (а) и 6 (в) получены с включенным магнитным полем (6300 θe). Фотография рис. 6 (с) сделана без магнитного поля. Ряд аналогичных фотографий был получен для оценки искажений, возникающих в камере при работе ее с ускоренным циклом, т.е. с использованием перекомпрессии. Фотография получена в камере, наполненной гелием до давления 1,2 атм. и работающей с циклом 11 сек. Задержка момента поджига лампы



Puc. 6 (a)



Puc. 6 (b)



Puc. 6(c)

≈ 60 мсек. Виден трек протона ($E_p \sim 10$ Мэв) вылетающего из заднего стекла камеры под действием γ -пучка. Заметных искривлений трека нет. Неоднократные оценки и проверки дают основание утверждать, что искажения треков протонов и α -частиц с энергией до $20 + 30$ Мэв, в основном, обусловлены многократным рассеянием этих частиц. Во всяком случае, эти искажения значительно больше искажений, возникающих за счет движения газа в камере.

Д и с к у с с и я .

П.А. ЧЕРЕНКОВ

Действует ли дискриминация, с помощью которой вы устраняете следы электронных пар на релятивистские протоны? Как вы учитываете это обстоятельство?

И.П. ЯВОР

У нас релятивистских протонов нет. Максимальная энергия протонов, которые мы наблюдаем в камере Вильсона около 20 мегавольт. Так что нам не приходилось с этим сталкиваться. Для энергий до 20 мегавольт это очень удобный способ дискриминации. Можно давать довольно большие загрузки в камере гамма-пучком и электронами, и это не мешает регистрации протонов и альфа-частиц.

В.П. ДЖЕЛЕНОВ

Сколько часов Вы работали?

И.П. ЯВОР

Я затрудняюсь ответить. Могу сказать, что на нашей камере сделано несколько десятков тысяч снимков.

В.П. ДЖЕЛЕПОВ

Сколько часов вы работали за один сеанс? 15 часов работали?

И.П. ЯВОР

У нас работа ведется по 6 часов без перерыва в две смены, т.е. по 12 часов в день.

О.А. ЗАИМИДОРОВА

Меняли ли Вы перекомпрессию и время перекомпрессии?

Менялось ли время медленного расширения в зависимости от цикла, от наполнения? Какова стабильность во времени?

И.П. ЯВОР

Отдельные элементы цикла в общем некритичны. Они вообще зависят от рода наполнения камеры. Если наполнять камеру гелием или аргоном, то элементы будут отличаться. Зависят они и от давления газа в камере. Но при одном и том же наполнении можно в значительной мере изменять времена: например, выдержку в состоянии перекомпрессии, время медленного расширения, можно изменять на 1 секунду в одну и в другую сторону. Режим от этого практически не изменяется. Эти времена критичны.

Что касается стабильности работы, то она определяется, по-видимому, стабилизацией, которую может дать контактный манометр. В качестве контактного манометра у нас использовался обычный манометр с большой шкалой с платиновыми электродами. И, как показала проверка, такой манометр обеспечивает вполне стабильную работу камеры. Стабилизация таким манометром, т.е. давление, которому соответствует определенное положение стрелки, выдерживается с точностью до 1-2 мм ртутного столба. Если посмотреть пленку, то от расширения к расширению заметных отклонений в режиме камеры нет. Во всяком случае их нельзя заметить.

ВОПРОС С МЕСТА: А рост фона?

И.П. ЯВОР.

Роста фона практически нет.

Д.И. ДАИОН

Вы работали с постоянным циклом. Не пробовали ли Вы после работы с каким-либо циклом периодически переходить на другой цикл? Скажем, поработали на цикле в 15 сек., потом перейти на цикл в 24 сек.?

И.П. ЯВОР

Такого опыта мы не делали.

Если работать с камерой с циклом 15 сек и потом изменить его на 18 сек, не делая никакой регулировки, то режим камеры практически не меняется. С большими отклонениями мы не работали.

И.П. ЯВОР

Я затрудняюсь ответить. Могу сказать, что на нашей камере сделано несколько десятков тысяч снимков.

В.П. ДЖЕЛЕПОВ

Сколько часов вы работали за один сеанс? 15 часов работали?

И.П. ЯВОР

У нас работа ведется по 6 часов без перерыва в две смены, т.е. по 12 часов в день.

О.А. ЗАИМИДОРОВА

Меняли ли Вы перекомпрессию и время перекомпрессии? Менялось ли время медленного расширения в зависимости от цикла, от наполнения? Какова стабильность во времени?

И.П. ЯВОР

Отдельные элементы цикла в общем не критичны. Они вообще зависят от рода наполнения камеры. Если наполнять камеру гелием или аргоном, то элементы будут отличаться. Зависят они и от давления газа в камере. Но при одном и том же наполнении можно в значительной мере изменять времена: например, выдержку в состоянии перекомпрессии, время медленного расширения, можно изменять на 1 секунду в одну и в другую сторону. Режим от этого практически не изменяется. Эти времена критичны.

Что касается стабильности работы, то она определяется, по-видимому, стабилизацией, которую может дать контактный манометр. В качестве контактного манометра у нас использовался обычный манометр с большой шкалой с платиновыми электродами. И, как показала проверка, такой манометр обеспечивает вполне стабильную работу камеры. Стабилизация таким манометром, т.е. давление, которому соответствует определенное положение стрелки, выдерживается с точностью до 1-2 мм ртутного столба. Если посмотреть пленку, то от расширения к расширению заметных отклонений в режиме камеры нет. Во всяком случае их нельзя заметить.

ВОПРОС С МЕСТА: А рост фона?

И.П. ЯВОР.

Роста фона практически нет.

Д.И. ДАИОН

Вы работали с постоянным циклом. Не пробовали ли Вы после работы с каким-либо циклом периодически переходить на другой цикл? Скажем, поработали на цикле в 15 сек., потом перейти на цикл в 24 сек.?

И.П. ЯВОР

Такого опыта мы не делали.

Если работать с камерой с циклом 15 сек и потом изменить его на 18 сек, не делая никакой регулировки, то режим камеры практически не меняется. С большими отклонениями мы не работали.

АКИНШИН

Какая задержка была между импульсом, инъекцией импульса и расширением? И какова длительность самой инъекции?

И.П. ЯВОР

Вы имеете в виду инъекцию пучка? По-видимому, оптимальным является момент пропуска пучка, когда расширение практически в камере закончено.

И мы всегда старались подавать пучок, когда расширение было закончено. Конец расширения осциллографировался: Было установлено точно, когда диафрагма доходит до нижнего положения и в этот момент пропускается пучок.

Можно было этот пучок инжесктировать до расширения, но это невыгодно, потому что нам было важно знать давление, которое имеется в камере, вернее число ядер, которое имеется в единице объема. Поэтому пучок инжесктировался всегда в один и тот же момент.

У нас производилась как работа с незатянутым пучком длительностью порядка 10 микросекунд, так и с затянутым пучком длительностью порядка 1 миллисекунды. Надо сказать, что никакой заметной разницы в работе при этом не наблюдалось.

ЛИХАЧЕВ

Какова величина интенсивности, которую выдерживала ваша камера, - число фотонов и поток энергии?

И.П. ЯВОР

На этот вопрос я затрудняюсь ответить, потому что камера Вильсона стоит у нас в конце зала, и там интенсивность никогда не измерялась. Могу сказать, что при работе с неоном получалось несколько различных расщеплений при диаметре пучка 4 см. Можно, конечно, как-то пересчитать, но я сам не оценивал этого.

ТУРОВ -

Не скажете ли вы о величине тока пропускаемого через платиновые контакты манометра. Было ли у вас заметно залипание контактов?

И.П. ЯВОР

Ток, который проходит через контакты манометра, это сеточный ток тиратрона ТГІ-0,1/1,3. Этот ток небольшой и залипания контактов не наблюдалось. Правда, бывали случаи, когда контакты загрязнялись, но после того, как они были очищены, контакты продолжали работать продолжительное время без какого-либо залипания.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ КАМЕРА ВИЛЬСОНА ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ

Х. Хулубей, Н. Марталогу, Д. Нягу

(Институт атомной физики Академии наук РНР)

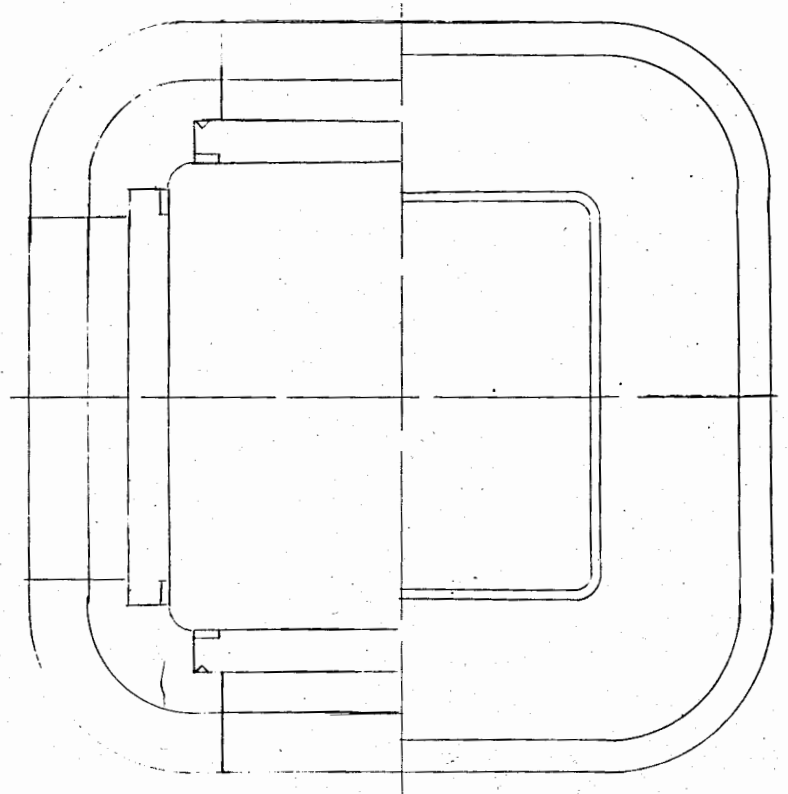
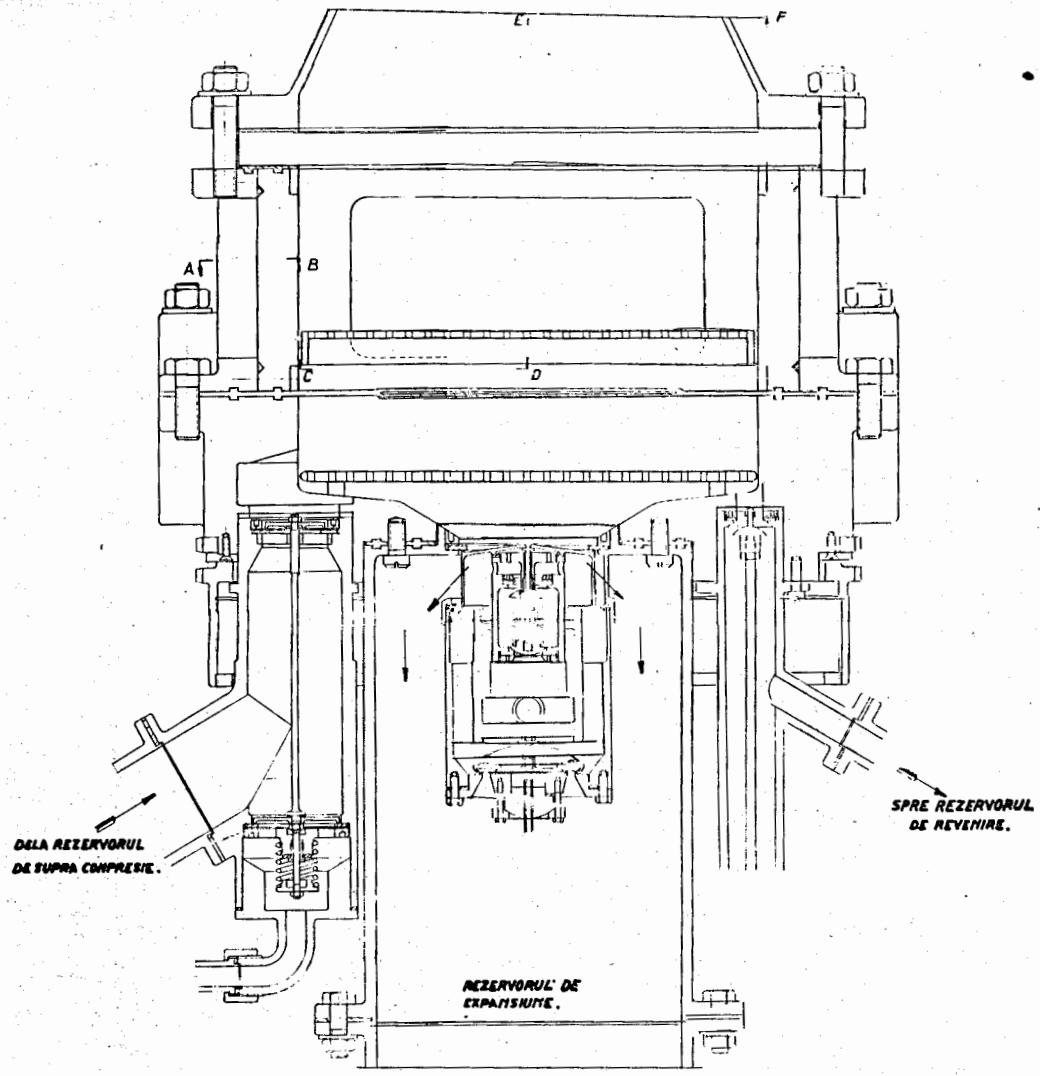
В настоящем докладе сообщается проект быстродействующей камеры Вильсона для точных измерений, которая строится в Институте атомной физики Академии наук РНР. Камера предназначена для работы с циклотроном, поставленным Советским Союзом (рис.1).

Чувствительный объем камеры $28 \times 28 \times 9,5$ см³. Поперечное сечение камеры представляет собой квадрат с округленными углами. С четырех боковых сторон вставлены стеклянные окна размером $21,6 \times 9,5$ см². Верхняя часть чувствительного объема покрыта стеклянной пластинкой с плоско-параллельными поверхностями. Над ней находится усеченный конус, верхняя сторона которого закрыта двумя стеклами и через них происходит съемка стереофотоаппаратом, укрепленным на этом же усеченном конусе.

Нижняя часть чувствительного объема закрывается металлическим поршнем, зафиксированным в резиновой перегородке.

Камера предназначена для работы при давлениях от атмосферного до 12 атмосфер. Для уменьшения мертвого времени проектом предусматривается следующий цикл (рис.2):

После быстрого расширения (3 мсек.) следует перекомпрессия (0,1 сек.) и затем медленное расширение (3,5 сек.). Это уже известный цикл по работам Гертнера и Иетера (1949).



CAMERA CU CEATA
CU DETENTA RAPIDA.

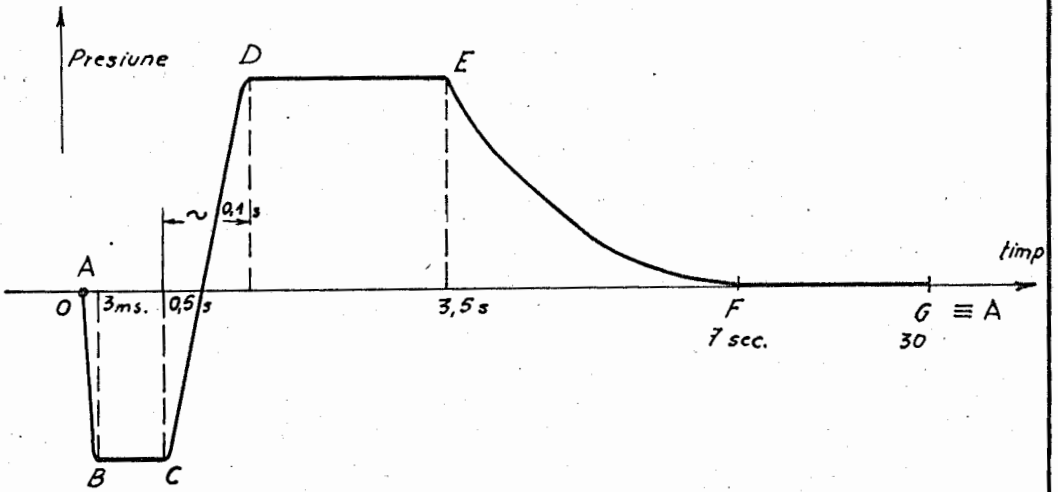


Fig. 2

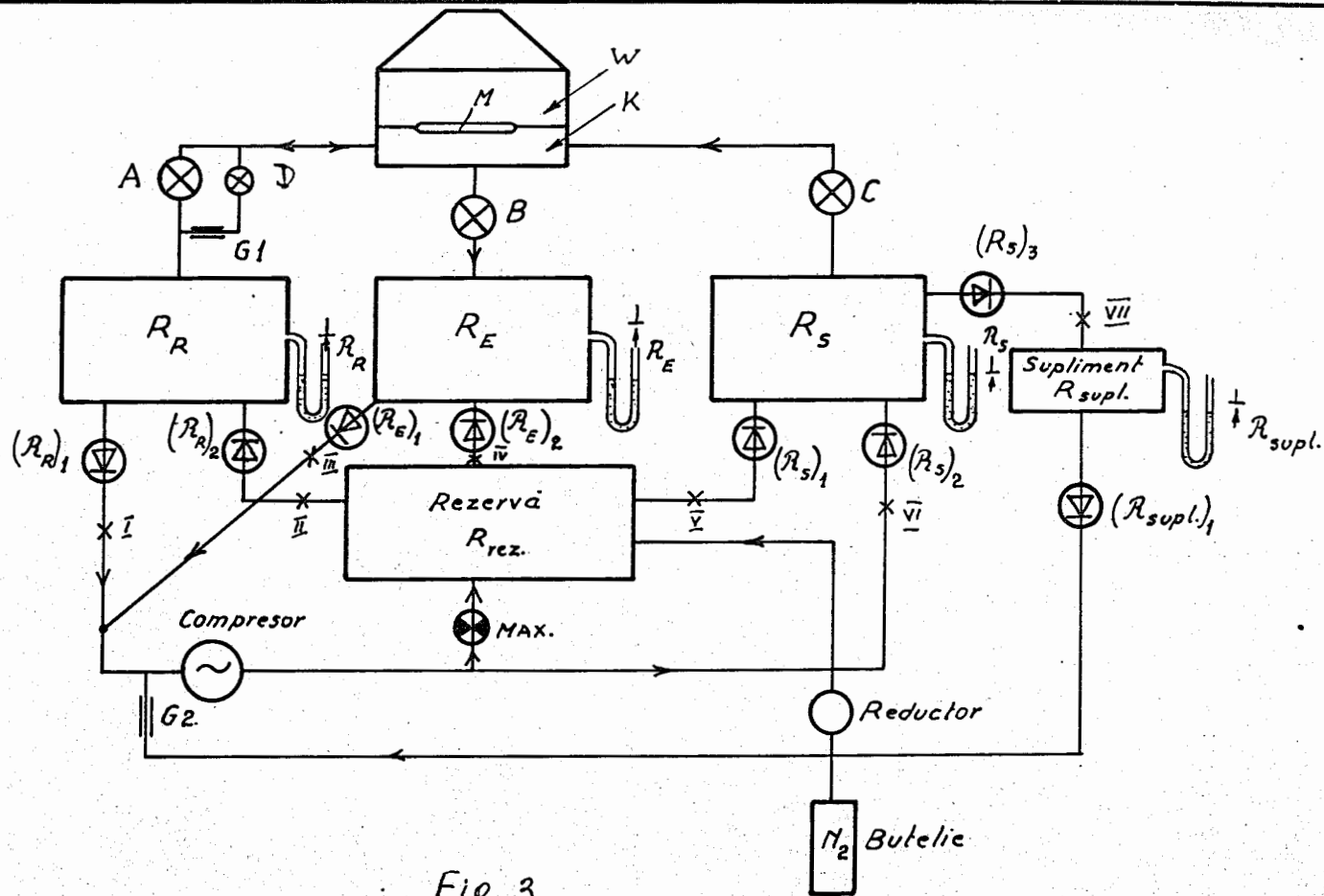


Fig 3

Камера сжатия оборудована четырьмя клапанами. Один из них, центральный, является быстродействующим. Быстродействующий клапан работает при расширении, клапан С работает при перекомпрессии, и клапаны А и Д работают при восстановлении нормального давления.

Быстродействующий клапан В является сочетанием дифференциального клапана, предложенного Шаттом и Вайтмором (1950), и взрывного клапана, предложенного Майером и Стодиком (1953). Возможность такого сочетания была высказана одним венгерским товарищем из Будапешского физического института.

Клапан перекомпрессии С также дифференциального типа, но пуск его осуществляется электромагнитным путем.

Конструкция клапана predetermineden необходимостью избежать присутствия ферромагнитных веществ в магнитном поле.

Клапаны А и Д - обыкновенной конструкции (электромагнитные).

Вышеуказанные клапаны обеспечивают перемещение перегородки камеры с помощью трех резервуаров со стабилизированными давлениями (R_B, R_E, R_R). Если давление в камере P , тогда соответствующие давления в резервуарах следующие:

$$P-1 \quad b \quad R_E$$

$$P+1 \quad b \quad R_S$$

$$P \quad b \quad R_R$$

Стабильность давления в этих резервуарах обеспечивается четвертым резервуаром с компрессором и тремя контактными манометрами R_k, R_E, R_s .

Точность стабилизации - 1 мм ртутного столба. Рабочим газом является азот или сжатый воздух в зависимости от того чем наполнена камера. При этом потери рабочего газа скомпенсированы.

Опорное давление в манометрах - это давление в самой камере, так что манометры работают при разности давлений в одну атмосферу.

Перегорodka камеры движется между двумя сетками: нижняя сетка ограничивает расширение, а верхняя - перекомпрессию. Выбор оптимального режима расширения и перекомпрессии осуществляется при помощи изменения положения соответствующих сеток; точность изменения 0,1 мм.

Освещение и съемка осуществляется обычными методами. Камера будет термически изолирована и будет работать в магнитном поле напряженностью 7000 эрстед.

ШЕЙЕРМАН

Вы говорите, что у Вас диафрагма находится между двумя положениями сетки, и при перекомпрессии она упирается в верхнюю сетку. А в исходном положении куда она упирается?

Н.МАРТАЛОГУ

Она ни во что не упирается, так как давление с обеих сторон в исходном положении одинаковое.

ВОПРОС С МЕСТА

Она как бы плавает между двумя положениями?

Н.МАРТАЛОГУ

Да, между нижней и верхней сетками, но в исходном положении нет разности давлений.

ВОПРОС С МЕСТА

А это положение с какой точностью выдерживается?

Н.МАРТАЛОГУ

1 мм.

ВОПРОС С МЕСТА

Какое получается наименьшее время расширения в этой системе? Какой цикл работы?

Н.МАРТАЛОГУ

3 мсек. Меньше 30 секунд, то-есть два раза в минуту.

И.В.ЧУВИЛО

Это испытано опытом?

Н.МАРТАЛОГУ

Нет, нет!

И.В.ЧУВИЛО

Это только ожидается?

Н.МАРТАЛОГУ

Да.

ЗАЙМИДОРГА

Что применяется в качестве фона?

Н.МАРТАЛОГУ

Панбархат.

Ю. АНИЩЕНКО

Наша работа над осуществлением камеры низкого давления для регистрации релятивистских электронов и вообще релятивистских частиц в гелии еще не закончена. Однако камера действует, регистрируются релятивистские электроны при давлении 250 мм *Hg* в случае гелия, и 100 мм *Hg* в случае азота.

Камера по своей конструкции очень проста. Это цилиндрическая камера диаметром 300 мм, с мягкой резиновой диафрагмой, которая движется между неподвижной и подвижной сеткой. В дне камеры имеются 3 клапана, которые обращены в замкнутый объем. Откачивая газ из этого объема и производя расширение в вакуум, удается получить действующую камеру при давлении азота 10 см. По-видимому, технически такие камеры могут работать и при более низком давлении, но здесь ограничивающим является размер вакуумного резервуара, т.е. остаточное давление, которое получается в результате сравнения давления под диафрагмой и под клапанами.

Эта камера отличается от других камер простотой. Обычно делают камеры с поршнем, который движется либо пневматически, либо с помощью электромагнита.

Если в нашей камере высокая скорость расширения (путь в 7 см диафрагма проходила в 5 миллисек) достигалась простыми средствами, то такая скорость в камере с поршнем могла быть получена лишь с использованием достаточно мощного двигателя. Я могу сослаться на работу Милса *Rev. of Sci. Instr.* II (1953г.),

где мощность двигателя составляла несколько л.с.

Надо сказать, что камера, наполненная гелием, работала при нормальной температуре неудовлетворительно. От расширения к расширению стабильной работы не наблюдалось, менялось число следов и качество картины, увеличивался или уменьшался фон. Дело существенно улучшилось, когда мы поместили камеру в термостат с температурой 10° . Еще большее понижение температуры может, по-видимому, и дальше улучшить качество картины. Я связываю это со следующей тенденцией. При уменьшении вклада в тепловые и диффузионные характеристики смеси от неконденсирующейся компоненты ухудшается работа камеры. Уменьшается чувствительное время и осложняется вообще процедура запуска такой камеры.

ВОПРОС

Какой цикл?

ОТВЕТ

Я не хотел бы останавливаться на цикле и вообще на процедуре восстановления, так как они еще не обработаны; цикл, по-видимому, может быть сведен до 25 сек. Причем при нормальных температурах в случае наполнения камеры гелием увеличение цикла не улучшало ее работу.

О СОКРАЩЕНИИ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ КАМЕР ВИЛЬСОНА

М.И. Дайон и В.Б. Елисеев

(Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР)

Метод быстрого сжатия рабочего объема камеры с целью уменьшения мертвого времени (перекомпрессия) был опробован нами на двух больших многопластинных прямоугольных камерах Вильсона равного объема ($680 \times 280 \times 180 \text{ мм}^3$), но различной конструкции. Для одной из камер мертвое время было доведено до 35-40 сек.

Однако на другой камере этот метод не дал положительного результата.

Ниже дается краткое описание камер и рассматривается вопрос о применении быстрого сжатия. На рис. I приведена схема расширений и освещения камер.

В первой камере расширение производится в направлении фотографирования и применяется двухстороннее освещение рабочего объема. Расширительное устройство - обычного типа, с использованием резиновой диафрагмы и двух решеток: неподвижной, ограничивающей ход диафрагмы в направлении рабочего объема, и подвижной, регулирующей отлет диафрагмы.

К неподвижной решетке прикреплен черный бархат. На расширительной головке имеется четыре выхлопные отверстия диаметром 60 мм каждое и установлены клапаны пневмо-электрического типа.

Вторая камера / I / отличается от первой применением системы двухстороннего расширения рабочего объема и освеще-

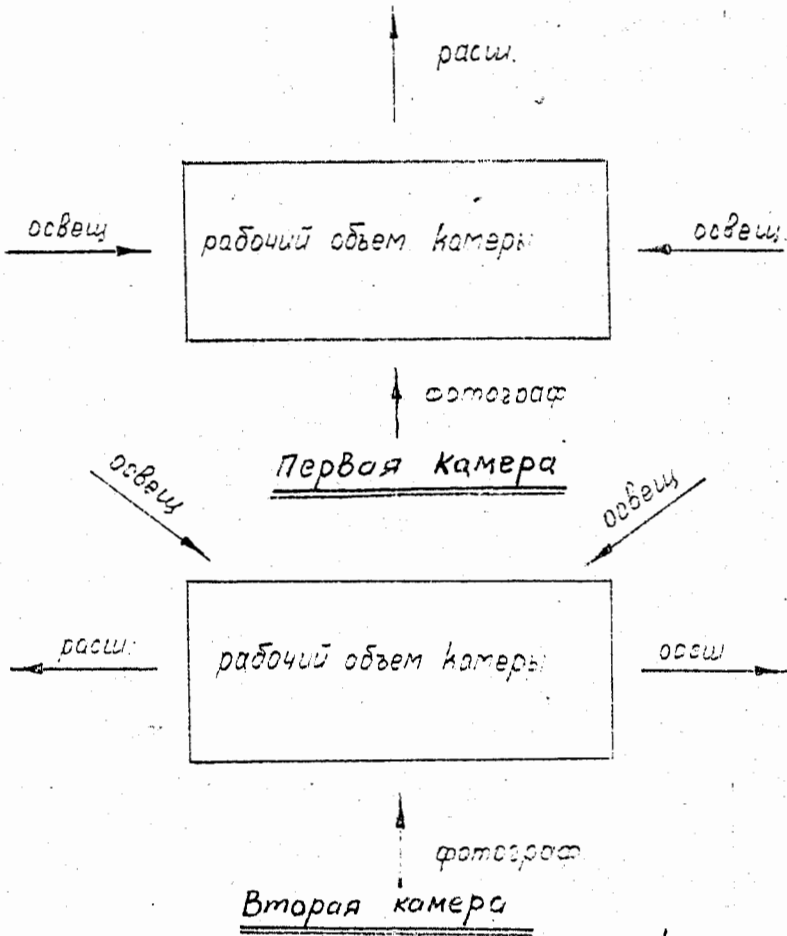


Рис 1.

щением "на просвет". Здесь установлены две расширительные головки, в каждой из которых имеется одно выхлопное отверстие диаметром 40 мм. Система расширения такая же как в первой камере. Поскольку неподвижные решетки расположены в неосвещенной зоне, нет необходимости закрывать их бархатом.

Наполнение камер: аргон при давлении $1-1\frac{1}{2}$ атмосферы (избыточн.) + смесь вода-спирт.

Внутри рабочего объема камер находилось по 7 свинцовых пластин, толщиной 7 мм каждая.

В обеих камерах применялась одна и та же система быстрого вброса газа в расширительные головки, схема которой изображена на рис.2. Три баллона, объемом ~ 40 литров каждый, соединялись между собой короткими трубами диаметром 27 мм, и от них по трубе диаметром 27 мм. газ через клапан K_1 с большим проходным отверстием подавался в расширительные головки. Для быстрого пополнения баллонов применялся специальный ограничительный клапан K_2 . Внутри камер были установлены термодатчики, выполненные в виде платиновой проволоки диаметром около 20 микрон. Датчики подключались к мостовой схеме, на выходе которой включался чувствительный гальванометр.

Время между выхлопом и вбросом газа в головки равнялось \sim

1 секунде (в процессе настройки были опробованы и большие времена.). Через время ~ 30 сек. температура в рабочем объеме восстанавливалась с точностью порядка $\sim 0,1^{\circ} - 0,2^{\circ}$ (точнее оценить температуру затруднительно ввиду сравнительно небольшой чувствительности термодатчика).

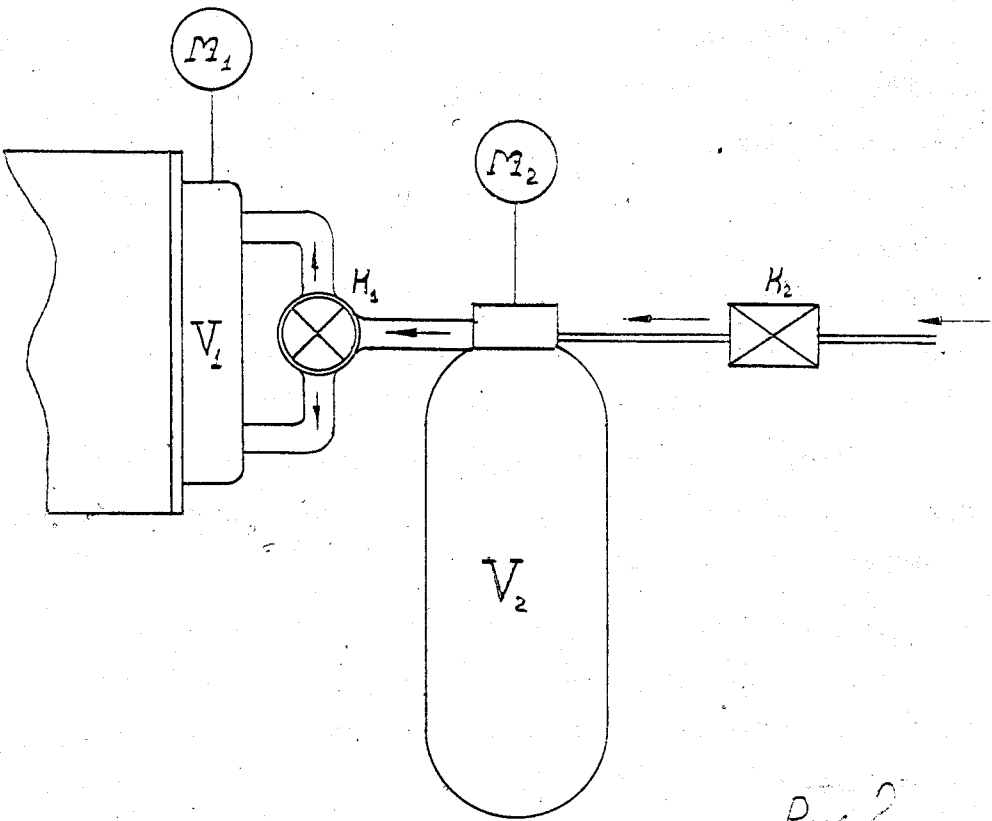


Рис 2.

При рабочем цикле 35-40 секунд первая камера оставалась в рабочем режиме в течение многочасовой работы. (Более чем на 5-6 часов непрерывной работы камера не запускалась). Стрелка гальванометра после каждого цикла возвращалась в исходное "нулевое" положение и, следовательно, имело место восстановление температурного режима в рабочем объеме камеры. Отметим, что при сокращении цикла температурный режим с течением времени изменялся. Это можно было проследить по смещению "нулевого" положения стрелки гальванометра. Применение подобного же цикла быстрого вброса ко второй камере привело к отрицательному результату: хотя время восстановления температурного режима в этом случае также составляло ~ 30 секунд, время восстановления рабочего режима камеры превышало $1\frac{1}{2}$ минуты. При цикле 40, 50 и даже 90 секунд в камере наблюдался фоновый туман.

Рабочий режим в этой камере восстанавливался быстрее не при быстром вбросе, а наоборот, при медленной подаче газа в расширительные головки.

Даже не слишком быстрый вброс газа (длительностью 10-15 сек) в этой камере приводил к неблагоприятному результату. На рис. 3 изображен один из полученных нами графиков изменения температуры внутри камеры при сравнительно медленном наложении расширительных головок (длительностью 12-15 сек). Температура в камере восстанавливается за время ~ 30 сек, но камера не находится в рабочем режиме даже через $1\frac{1}{2}$ минуты.

Между тем, при медленном наполнении головок в течение $\sim 60-70$ сек, вызывавшем лишь очень слабое нагревание газа, камера была готова к работе уже через 80-90 сек.

По нашему мнению, неблагоприятное действие быстрого сжатия во второй камере связано с тем, что здесь в отличие от первой камеры вскоре после выхлопа наблюдается туман, выходящий из решеток.

В литературе приводится несколько возможных причин возникновения тумана при выхлопе, как-то: плохая амортизация удара диафрагмы при выхлопе, влекущая за собой образование ударных волн, неравномерный отлет диафрагмы, электризация газа, вызванная сильной деформацией резины при отлете и др.

Еще при запуске камеры в 1953 г. для ослабления тумана мы ограничивали отлет клапана, уменьшая тем самым скорость выхлопа. Тем не менее образование этого тумана не исключено полностью. Однако, в прежнем режиме камеры, когда для очищения рабочего объема использовались медленные расширения и осуществлялся сравнительно продолжительный рабочий цикл (более 80-50 секунд), туман, попадавший в рабочий объем после выхлопа, не оказывал заметного вредного действия.

Весьма вероятно, что при быстром сжатии из-за недостаточного нагревания происходит неполное испарение капель, и в объеме остаются капли малой величины, которые оседают очень медленно, особенно, если они образованы на напряженных центрах и не убираются электрическим полем. При следующем цикле эти мелкие капли становятся центрами фонового тумана. С другой стороны, при медленном натекании газа в расширительные головки, вызывающем лишь очень слабое нагревание газа, туман, состоящий из сравнительно крупных капель, не испаряется и оседает на дно камеры и на пластины (расстояние между пластинами около 25 мм) за более

короткое время. Возможно, что имеет место еще и другое явление, которое приводит к появлению фона даже при полном испарении капель. Поскольку при выхлопе образуется туман, количество пара в объеме уменьшается за счет перехода в жидкую фазу (капельки тумана). В процессе повышения температуры до исходного значения происходит пополнение объема парами за счет испарения жидкости находящейся на дне камеры и на других поверхностях. В результате быстрого сжатия, испаряющего капельки, и дальнейшего снижения температуры, до исходного значения в рабочем объеме может возникнуть состояние пересыщенного пара, которое будет сохраняться еще некоторое время и после того, как температура в камере вернется к исходному значению.

Состояние пересыщения способствует образованию незаряженных комплексов молекул, которые при следующем цикле могут стать центрами образования фона (см. Вильсон / 2 /, Френкель / 3 /).

Наконец, мы хотим обратить внимание на следующий факт: как уже отмечено выше, несмотря на восстановление температурного режима за время ~ 30 сек, мертвое время второй камеры превышало 90 сек.

Однако имеется некоторый сравнительно узкий интервал времени в области "хвоста" температурной кривой, изображенной на рис.3, в течение которого камера находится в рабочем режиме. По-видимому, это явление указывает на возможность осуществления более короткого цикла в той же камере, если она работает с постоянным циклом. Впрочем, само наличие такой рабочей зоны нуждается еще в проверке.

ВЫВОДЫ

I. Успешному применению быстрого сжатия для сокращения мертвого времени камеры (перекомпрессии) в некоторых случаях может препятствовать даже небольшой фоновый туман (иногда слабо заметный на глаз), который возникает либо при слишком большом коэффициенте расширения, либо по техническим причинам, перечисленным выше.

При быстром сжатии, хотя и происходит частичное или полное испарение капель тумана и сравнительно быстрое восстановление температурного режима, тем не менее из-за рассмотренных вторичных явлений камера в течение длительного времени может оказаться не в рабочем режиме, особенно если туман образован на незаряженных центрах.

2. Наши измерения температуры внутри рабочего объема показывают, что даже при сравнительно медленном наполнении расширительных головок за время - 10-30 сек, применяемом в обычных камерах, имеет место заметное нагревание рабочей смеси (см. рис.3).

Если в камере при выхлопе или после него образуется даже слабый фоновый туман, то процесс нагревания газа может вести к частичному испарению капель тумана, уменьшению их веса и увеличению времени их падения, (особенно для незаряженных капель), то-есть к увеличению мертвого времени. Поэтому следует регулировать скорость подачи газа в расширительные головки; в некоторых случаях уменьшение скорости подачи газа позволяет

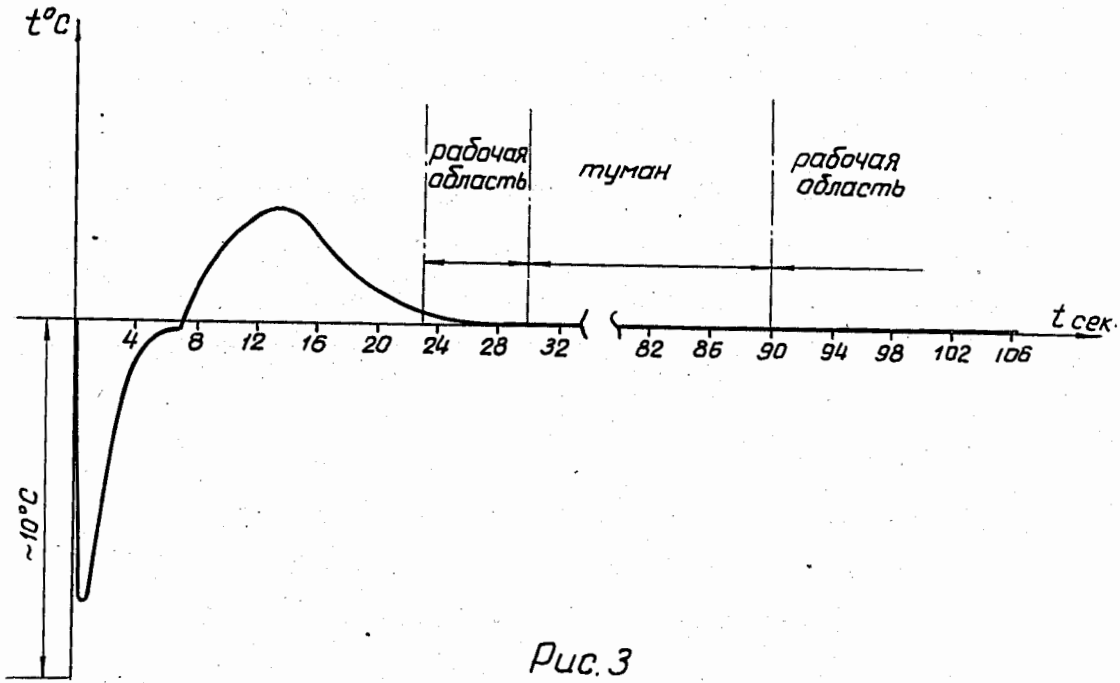


Рис. 3

сократить мертвое время. х)

3. При использовании медленных очищающих расширений следует также обращать внимание на скорость вброса газа в расширительные головки, имея ввиду, что даже при сравнительно небольшой скорости вброса происходит нагревание газа, ведущее к частичному испарению капель, в то время как медленные расширения имеют целью наоборот вырастить капли до больших размеров, для быстрого их осаждения. Поэтому в некоторых случаях, даже сравнительно быстрый вброс газа в расширительные головки может оказывать неблагоприятное влияние, уменьшая полезное действие медленных расширений. Весьма вероятно, что именно поэтому в некоторых работах используют два, три и даже пять медленных расширений / 4 /. По-видимому, число их можно уменьшить, если более медленно подавать газ в расширительные головки. Наряду с регулированием скорости вброса газа, мы регулировали продолжительность медленных расширений и количество выпускаемого газа. Отметим, что нет необходимости выпускать в процессе медленных расширений весь газ из головок, так как затрачивается много времени на наполнение их вновь. По этой же причине в некоторых случаях достаточно осуществлять даже неполный отход диафрагмы к задней решетке.

х) Заметим, что в этом случае выгодно, для уменьшения времени наполнения головок, иметь двухступенчатую подачу газа - вначале осуществлять быстрый вброс, а с момента начала движения диафрагмы - медленное наполнение.

Л и т е р а т у р а .

1. М.И.Дайон и В.М.Федоров. ЖТФ, XXV, 771 (1955).

2. Дж. Вильсон. "Камера Вильсона".

3. Я.И.Френкель "Кинетическая теория жидкостей" Изд.АН СССР
1945г.

4. Л.А.Ивановская и А.Г.Новиков. ЖТФ XXVI, 209 (1956).

СООБЩЕНИЕ О КАМЕРЕ ВИЛЬСОНА, ПОСТРОЕННОЙ В
ОТДЕЛЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тибор Гемеш, Карл Кантор.

(Центральный исследовательский институт физики, Венгрия)

В прошлом году в отделении космического излучения Центрального исследовательского института физики (Венгрия) было закончено строительство и испытание многопластинчатой камеры Вильсона типа Блэккета, с помощью которой мы намеревались исследовать широкие атмосферные ливни, местные проникающие ливни и нестабильные частицы. (Рис. 1 и 1а)

Камера состоит из стеклянного цилиндра диаметром 30 см, глубиной 20 см. Сверху она закрыта плоско-параллельной стеклянной пластиной толщиной 2 см. Поршневой диск из алюминия присоединен к камере с помощью резинового кольца. Передвижение пластины и тем самым коэффициент расширения можно регулировать с помощью видимых в тыльной части поршневых штоков.

Камера наполняется аргоном и смесью обычного пропилового спирта с водой в пропорции 3:1. Газовое давление в состоянии сжатия составляет 1000 мм ртутного столба. Сжатие достигается посредством накачивания воздуха в тыльный объем; при быстром расширении воздух выходит через видимое в середине отверстие, которое закрывается электромагнитным клапаном. Для удаления излишних ионов накладывается электростатическое поле (50 вольт/см.), подводимое к камере через кольца из плексигласа.

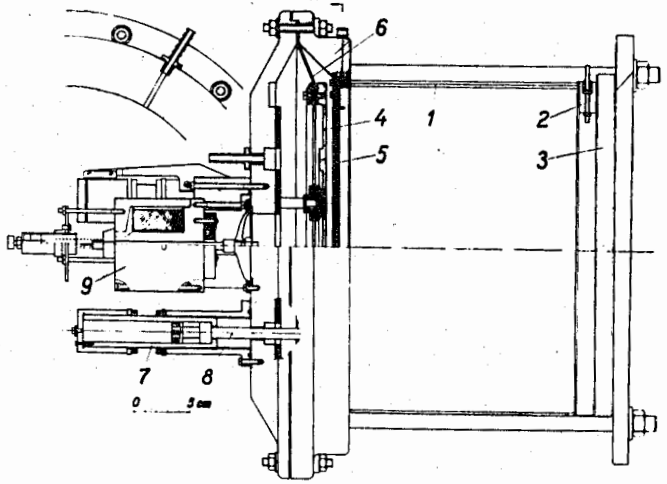


Рис. 1

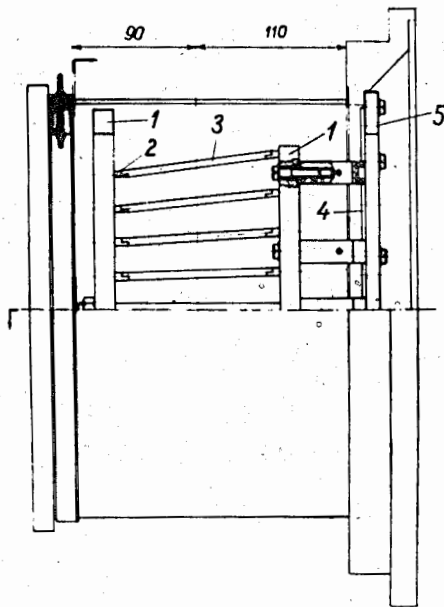


Рис. 1а

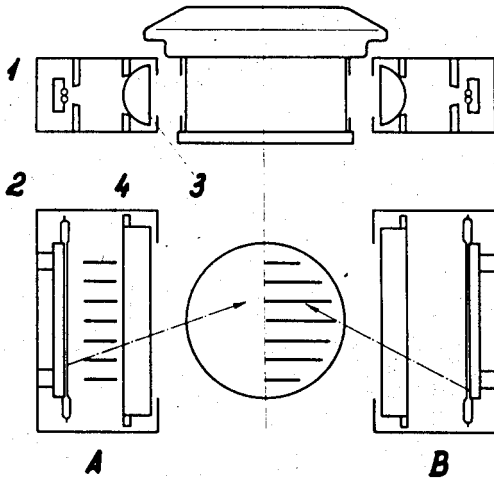


Рис. 2

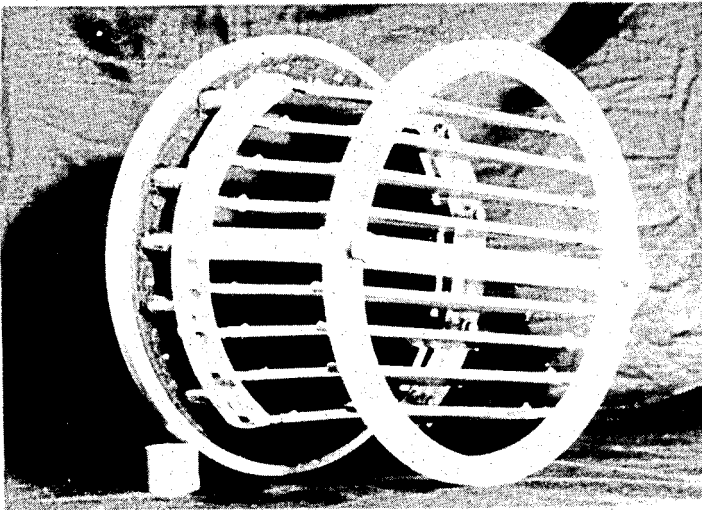


Рис. 3

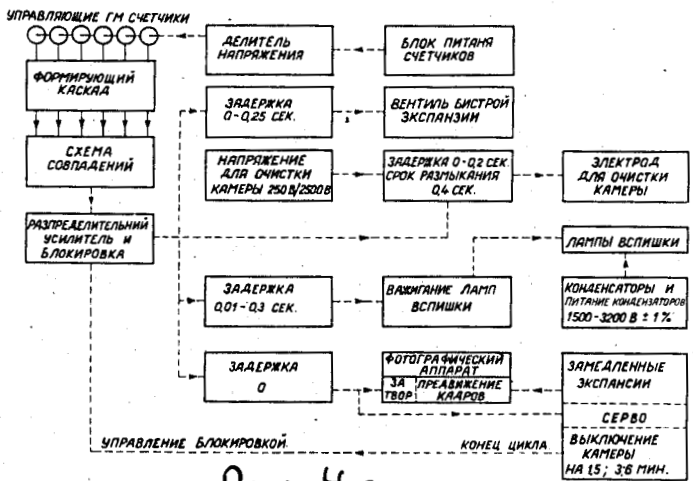


Рис. 4а

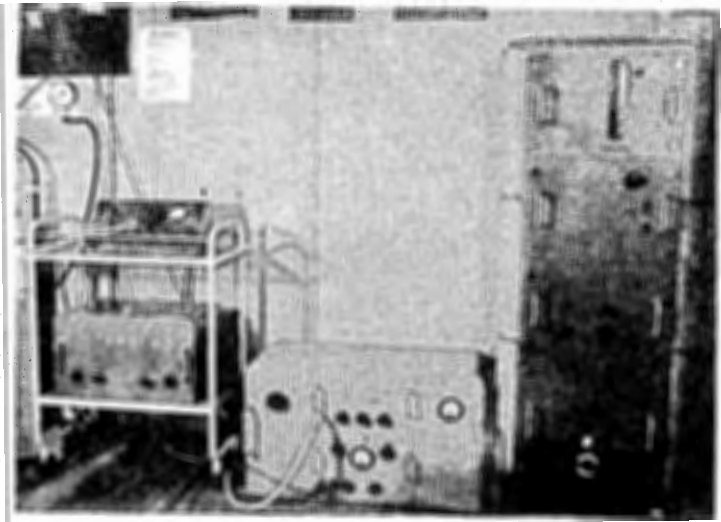


Рис. 4б

В качестве заземления служит находящаяся перед поршнем перфорированная и покрытая черным веществом пластина, образующая одновременно темный фон, необходимый для фотографирования. Электростатическое поле попеременно подводится к поглощающим пластинам.

Прикрепление поглощающих пластин в цилиндрической камере довольно сложное дело, так как поглотитель не должен опираться на стеклянный цилиндр. Поэтому поглощающие пластины устанавливаются на двух кольцах из плексигласа и крепятся к перфорированной пластине, которую можно видеть на рисунке.3.

Это решение связано, однако, с трудностью, заключающейся в том, что при замене поглотителя приходится разбирать всю камеру.

Камера освещается с обеих сторон лампами - вспышками, заполненными ксеноном. Их свет поступает в камеру через цилиндрические линзы. С целью лучшего освещения мы пользуемся двумя лампами-вспышками, помещенными по одной с обеих сторон. Попадающий на фон рассеянный свет уменьшается с помощью системы диафрагм. (Рис 2)

Камера работает полностью автоматически. Сигнал управляющего счетчика Гейгера-Миллера через схему формирования импульсов и счетчик совпадений попадает в блокирующий и распределительный каскад. (Рис.4а и 4б). После соответствующих задержек

сигнал управляет последовательно следующими операциями:

1. Отключение очищающего поля,
2. Быстрое расширение,
3. Вспышка лампы,
4. Передвижение фотопленки в камере,
5. Приведение в действие сервомеханизма, обеспечивающего нужное количество медленных расширений и устанавливающего с целью достижения температурного равновесия интервалы в 1, 2 или 3 минуты.

В результате остановки сервомотора снимается блокировка распределительного каскада, который в течение цикла прекращает пропуск дальнейших сигналов счетчика Гейгера-Мюллера.

Отдельные каскады могут замедлять отключение очищающего поля, быстрое расширение и вспышку.

Постоянная температура, необходимая для точной работы, поддерживается с помощью кожуха из трех перегородок (рис. 5). Внутри кожуха постоянство температуры обеспечивается с одной стороны водяным охлаждением, а с другой стороны, системой подогрева, которая управляется контактным термометром. Рабочая температура равна приблизительно 18°C , максимальные отклонения составляют $0,5^{\circ}\text{C}$.

Для фотографирования мы пользуемся сконструированной и построенной в нашем институте стереокамерой с двумя объективами Тессар, фокусное расстояние которых составляет 50 мм. (Рис. 6)

Фотокамера работает либо с пленкой - "Суперпан" (емкость кассеты 30 м), либо с пленкой для рентгенофлюорографии с размером кадра $(24 \times 36) \text{ мм}^2$. Пленка обрабатывается в течение трех минут в быстродействующем проявителе "Сойер" при температуре 18° C или в течение 6-ти минут при 18° C в проявителе "Алфа-30", закрепляется в течение примерно 10 минут и промывается минимум в течение получаса в воде.

Снимки обрабатываются непосредственно на пленке с помощью соответствующим образом модифицированного стереомикроскопа "Цейсс" (Рис.7)

Увеличение можно изменять с 6-кратного до 125 - кратного, так что аппарат годен и для измерений ионизации. Он оказался очень удобным для быстрой проверки и статистической обработки снимков. С помощью микрометра на окуляре можно также производить приблизительные измерения пространственных координат траекторий частиц. В этом случае, однако, надо принять во внимание искажение, вызываемое передней пластиной.

В ходе строительства камеры и работы с ней нам удалось накопить большой опыт в области механических и электронных погрешностей.

При всестороннем использовании этого опыта мы строим сейчас многопластиночную камеру, размерами $(60 \times 60 \times 15) \text{ см}^3$ с поверхностью 900 кв. см. Эта камера может использоваться для наблюдения за проникающими ливнями. По плану эта камера будет готова к испытаниям уже к концу этого года.

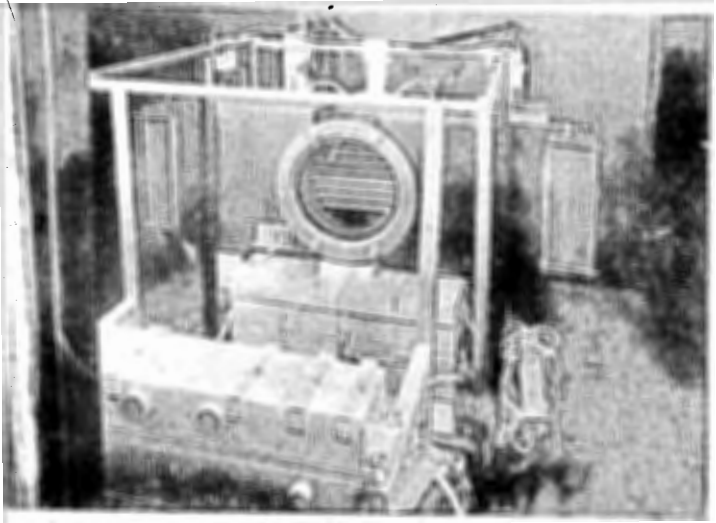


Рис. 5.

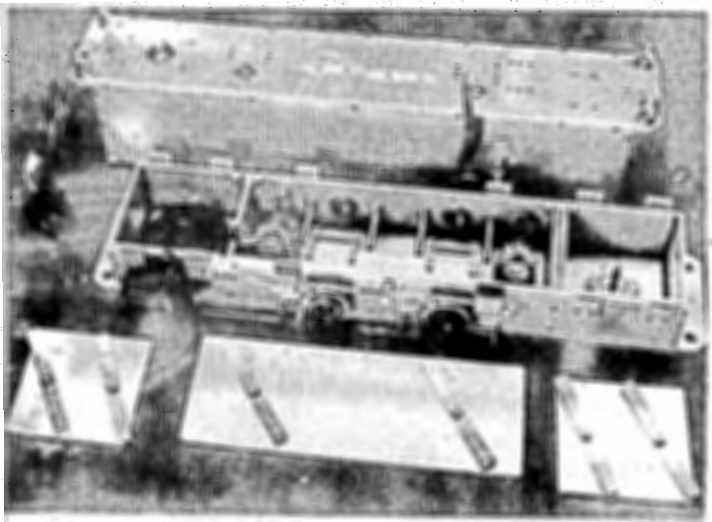


Рис. 6.

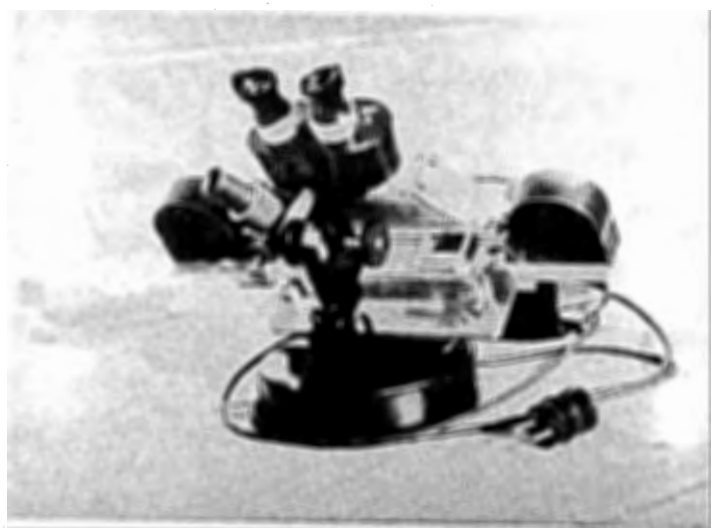


Рис. 7 а.

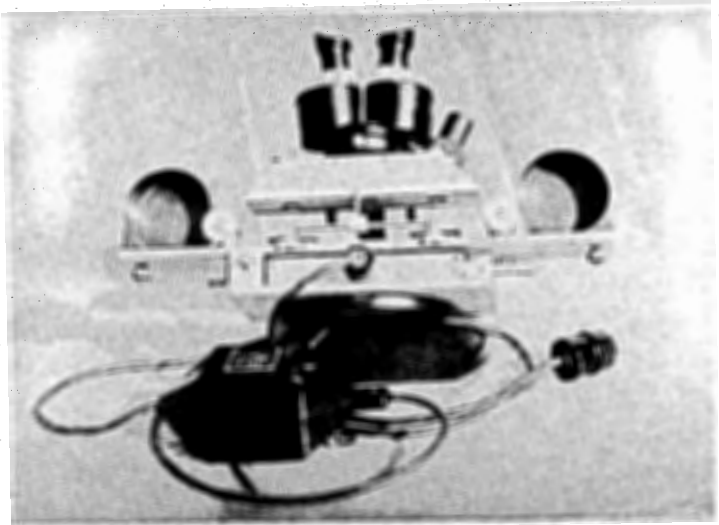


Рис. 7в.

КАМЕРА ВИЛЬСОНА, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ СОЧЕТАНИЯ С
МАГНИТНЫМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОМ.

В.М.Федоров, В.Н.Никешичев, С.Г.Рюмин.
(Физический институт им. П.Н.Лебедева
АН СССР).

Для измерения пробегов частиц космического излучения, регистрируемых спектрометром Алиханяна-Алиханова на г. Арагац вместо годоскопической системы счетчиков под магнитным зазором в 1951г.^{/1/} была помещена камера Вильсона. До последнего времени в сочетании с телескопом спектрометра работало несколько различных по конструкции камер^{/2,3/}. Учитывая достоинства и недостатки предыдущих конструкций, для увеличения эффективности масс-спектрометра и повышения точности физических измерений /рассеяние, ионизация и т.п./, выполняемых по фотографиям, была сконструирована и осуществлена прямоугольная камера Вильсона объемом около 150 литров. Требования при разработке такой камеры в основном сводятся к следующему:

1/ Для увеличения эффективности магнитного спектрометра в первую очередь необходима камера возможно больших размеров, а именно-перекрывающая весь телесный угол, выделяемый телескопической системой с учетом отклонений в плоскости магнитного отклонения и рассеяния в перпендикулярной плоскости^{/4/}.

Исходя из подобных соображений можно определить разумные размеры освещенного объема камеры, которые требуются для указанного телескопа размерами 12х30х100 см³.

Однако использование электромагнита резко ограничивает возможности для установки камеры больших размеров по конструкции, аналогичной предыдущим^{/2,3/}. Это обстоятельство заставляет искать новых конструктивных решений, позволяющих максимально использовать то ограниченное пространство, в котором размещается камера Вильсона.

2/ Увеличение размеров камеры приводит к увеличению "мертвого" времени. Но для того, чтобы не потерять выигрыша эффективности установки, полученного вследствие увеличения освещенного объема камеры, необходимо обеспечить "мертвое" время в пределах одной минуты.

3/ При работе с давлениями, обычно используемыми /1-2 избыточных атмосферы/ в камерах больших объемов, требуются специальные меры по усилению прочности конструкции, что /в случае ограниченного места/ ведет к уменьшению освещенного объема и, кроме того, требует специальных дополнительных механизмов при эксплуатации в лабораторных условиях. Вместе с тем возрастает сложность, а также и стоимость установки.

Исходя из подобных соображений, мы руководствовались требованием создать простую и дешевую в изготовлении, легкую и удобную в эксплуатации камеру для работы в лабораторных условиях экспедиционного типа, как, например, на г. Арагац.

Описываемая камера рассчитана на рабочее давление $P = 0,3$ атм с размерами освещенной части $872 \times 542 \times 265$ мм³, что позволяет поместить внутри освещенного объема до 20 пластин толщиной 0,4 - 0,6 см. Освещение производится с двух сторон импульсными лампами ИФП-4000 с параболическими рефлекторами.

Корпус камеры разборный, он собирается из отдельных легко изготавливаемых деталей. Верхняя и нижняя крышки-из текстолита, боковые стенки-из плексигласа. Такой выбор материалов объясняется тем, что при длительной эксплуатации они не выделяют мешающих работе загрязнений и, кроме того, обладают небольшой плотностью, что весьма существенно при анализе ионизационных остатков частиц внутри камеры.

Для обеспечения механической прочности корпус помещается в каркас из свинчивающихся стальных уголков, к которым также крепятся: передняя рама /8/, прижимающая переднее стекло /6/, расширительный объем /II/ и задняя стенка /I3/ (рис. I).

Диафрагма применяется "жесткая" (дюралюминий толщиной 3 мм) с бархатом, наклеенным на переднюю плоскость. Это позволяет обходиться без традиционной передней решетки и, кроме того, снижает требования к осветителю (можно использовать световой пучок с менее резким краем).

Система расширения пневматическая, с применением дифференциальных клапанов щелевого типа. Они расположены вдоль двух боковых сторон расширительного объема. Переднее положение первой (рабочей) диафрагмы /I0/ определяется краем корпуса, на который она опирается, и давлением /стабилизированным во избежание прогиба в пределах 0,5%/ во II объеме между диафрагмами. Степень расширения регулируется положением второй, также "жесткой", диафрагмы /I2/, которое задается давлением в третьем объеме /рис. 2/.

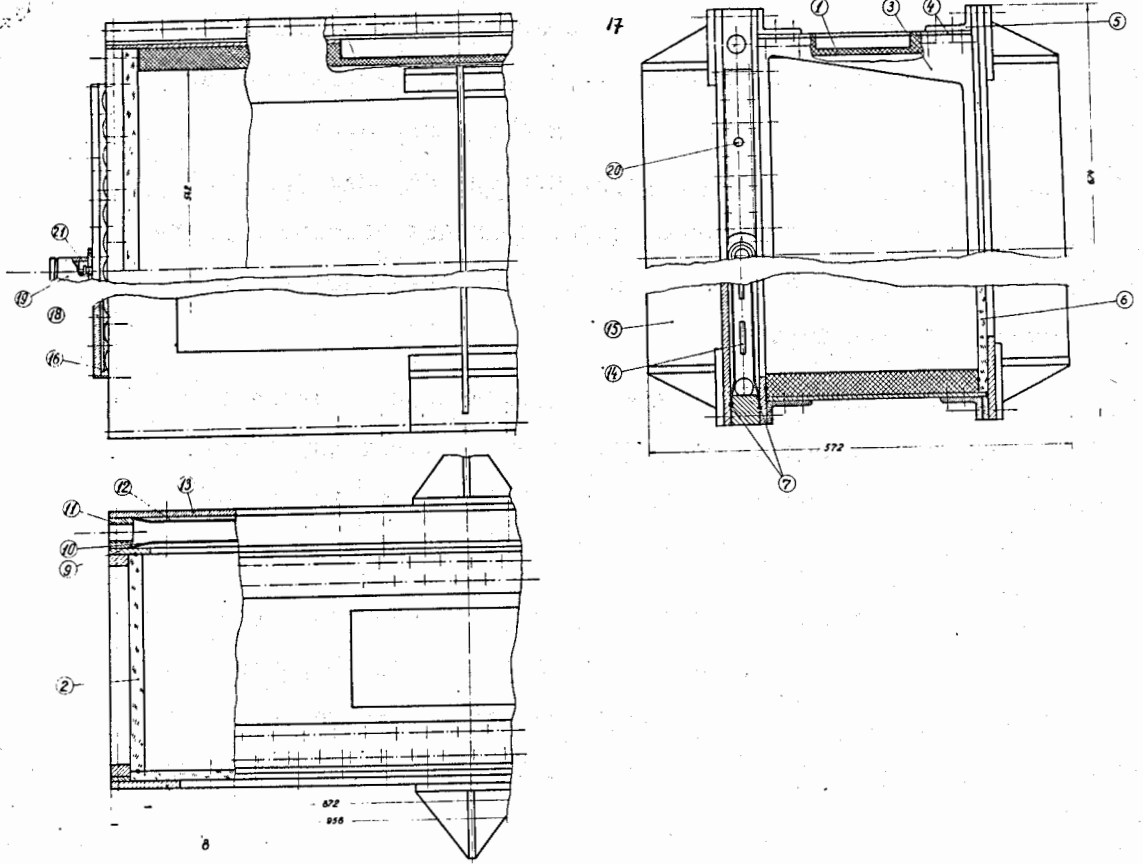


Рис. I. I-крышка верхняя (текстолит); 2-стекло боковое (плексиглас); 3-боковой фланец для прижима стекла; 4-уголки прочности; 5-переднее стекло; 6-шнур уплотнения; 7-передняя рама, прижимающая стекло; 8-диафрагма рабочая; 10-расширительная коробка, 11-диафрагма вторая; 12-задняя плита; 13-щели для выхлопа; 14-ребро жесткости; 15-стойка клапана; 16-диафрагма клапана; 17-отверстия для быстрого вброса; 18-клапан электромагнитный.

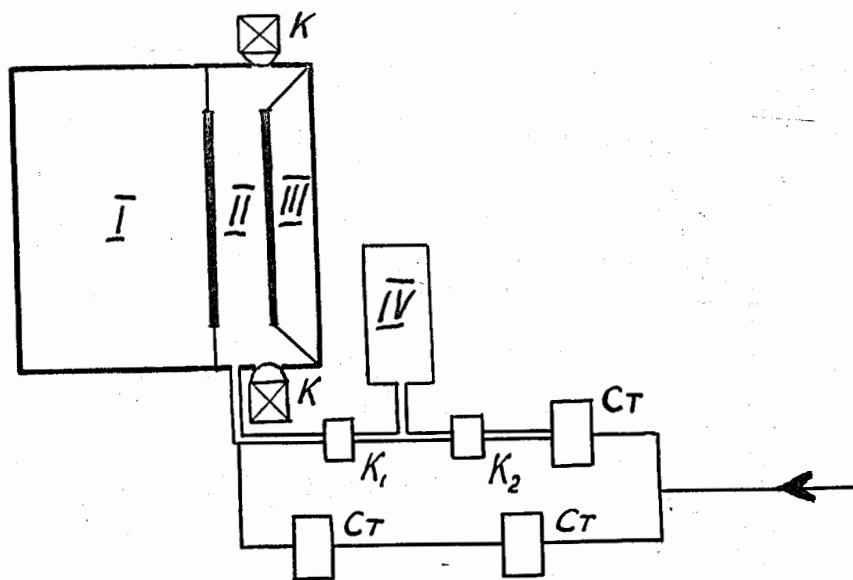


Рис. 2. I-рабочий об"ем, в котором помещаются пластины; II-расширительный об"ем; III-об"ем для регулирования степени расширения; IV-дополнительный об"ем для быстрого сжатия; K-щелевые клапаны для производства рабочего выхлопа; K₁- клапан, открывающийся при сжатии; K₂-клапан, закрывающийся при сжатии; Ст-стабилизаторы давления.

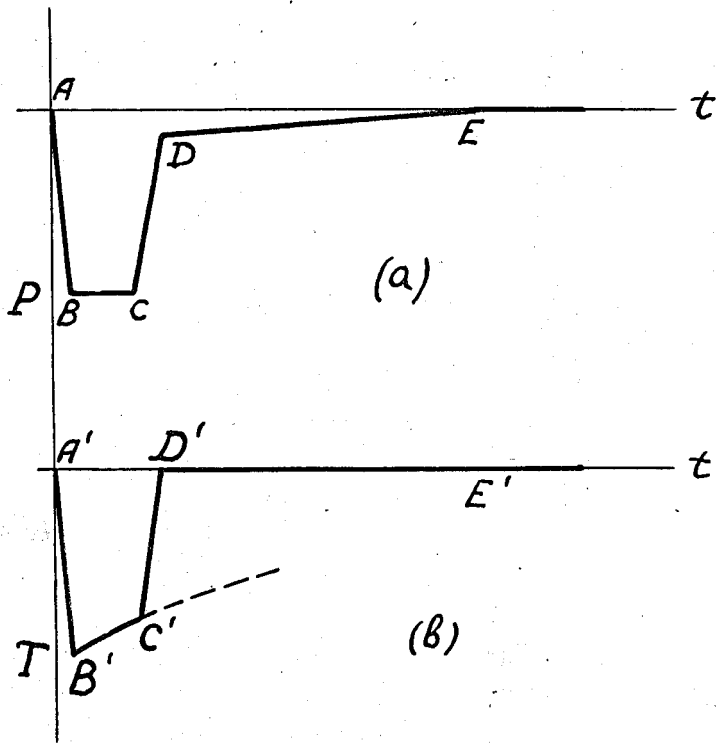


Рис. 3

Изменение давления и температуры во время рабочего цикла:
а) изменение давления; в) изменение температуры.

Рабочий цикл изменения давления и температуры в камере показан на рис. 3. Температура измерялась по изменению сопротивления платиновой проволоки диаметром 0,02 мм, $R_{20^{\circ}\text{C}} \approx 40$ ом. Отрезок АВ соответствует рабочему расширению, ВС - время, требуемое на полное закрывание клапанов /в нашем случае оно составляет $t = 1,0-1,5$ сек./, СД - быстрое сжатие и ДЕ - изотермическое сжатие / $t = 20$ сек./ . Положение точки Д /рис. 2а/ выбирается таким образом, чтобы температура в результате сжатия вернулась к исходной /точка Д' на рис. 3в/. Сжатие на заданную по давлению величину достигается путем соединения второго объема с дополнительным четвертым объемом, в котором поддерживается необходимое давление.

Л И Т Е Р А Т У Р А :

- /1/ Алиханян А.И., Кириллов-Угрёмов В.Г., Шостакович Н.В., Федоров В.М., ДАН СССР, 92, 255 (1953).
- /2/ Кириллов-Угрёмов В.Г., Федоров В.М., Дерягин В.Н., ЖЭТФ, 28, 603 (1955).
- /3/ Дайон М.И., Федоров В.М., ЖТФ, 25, 771 (1955).
- /4/ Миронов Ю.С., МИФИ, дипломная работа (1957).

ДИСКУССИЯ

Н.А.Добротин.

Когда у вас основная диафрагма попала на вспомогательную, не было никаких колебаний? Она ведь падает на мягкую подушку, и, казалось бы, там должна быть вибрация.

В.М.Федоров.

На глаз никаких изменений не наблюдается. Нужно оговориться, что эта камера предназначена для измерения пробега, и та точность, которая требуется для измерения импульса, здесь не обязательна. Для измерения импульса такая система, повидимому, не подойдет, потому что вибрация, наверное, имеется.

Вопрос.

У вас и во второй диафрагме воздух?

В.М.Федоров.

Да, везде воздух, обычный воздух.

В.П.Джелепов.

Сколько пластин вы помещали в камеру?

В.М.Федоров.

Мы помещали II пластин. Расстояние между пластинами порядка 2-3 см. Мы, конечно, стараемся их сблизить, но это надо еще довести до конца.

Освещение предполагается сделать с двух сторон при помощи гиперболических зеркал. Парабола, в центре которой находится лампа, выдает пучок. Достоинство и недостатки такой системы будут

отмечены ниже особым докладом.

Вопрос.

Какое наполнение?

В.М.Федоров.

Наполнение обычное - аргон, 70% спирта и 30% воды.

Вопрос.

Какое расстояние между камерой и фотоаппаратом?

В.М.Федоров.

1 метр. Камера все-таки достаточно велика, поэтому мы фотографируем ее четырьмя объективами.

НЕКОТОРЫЙ ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
КАМЕР ВИЛЬСОНА.

Д.В.Емельянов, К.А.Котельников, А.Г.Новиков,
С.А.Славатинский.

(Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР)

В течение зимы 1956 г. и весны 1957 г. нами были созданы две большие прямоугольные камеры Вильсона. Камеры предназначаются для исследования взаимодействия протонов космических лучей с энергией 50-100 Бэв с ядрами атомов легкого вещества. Схема установки, смонтированной на Памире, показана на рис. I.

Нижняя камера (н.к.В) помещается между наконечниками полюсов электромагнита, а верхняя камера (в.к.В) - над наконечниками.

Между камерами размещается мишень из легкого вещества в котором и происходят изучаемые взаимодействия. Толщина каждой из двух латунных стенок камер, между которых монтируется мишень, равняется 4 мм.

Верхняя камера предназначается для наблюдения следов генерирующих ядерно-активных частиц, а нижняя - для определения импульсов, ионизации и углов вылета вторичных частиц, образуемых в мишени.

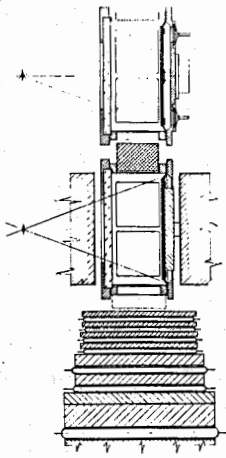


Рис 1.

Под нижней камерой размещается годоскопический блок из большого числа ионизационных камер, разделенных фильтрами из латуни и свинца. Общее количество вещества в годоскопе соответствует $\sim 4,5$ единицам ядерного пробега в Рь.

Ионизационный годоскоп предложен и осуществляется сотрудниками НИИЯФ и служит для определения энергии первичных частиц по их суммарному энерговыделению.

В настоящем сообщении мы остановимся лишь на описании конструкций созданных камер Вильсона.

Эти камеры имеют существенные отличия по конструкции от тех, с которыми мы работали ранее. Некоторые элементы конструкции были заимствованы нами из работ Фретаера (1).

Камеры имеют прямоугольную форму (см. рис. 2), внутренний объем их 80 литров, линейные размеры (внутренние) рабочего объема равны: длина-900 мм, высота-400 мм и ширина 200 мм, глубина освещенной зоны 150-160 мм.

Корпус (1) камеры сварной, латунный, по бокам имеются окна для освещения рабочего объема. Боковые окна герметично закрываются стеклянными пластинами (2) толщиной 10-12 мм. Металлическая поверхность корпуса изнутри покрывается черным силикатным лаком и хорошо просушивается.

Переднее стекло (3) камеры изготавливается из оптического стекла Кр.3; толщина его равна 25 мм; оно герметично прижимается к корпусу металлической плитой с окном для фотографирования. Задняя стенка камеры - диафрагма (4) - представляет собой пластинку толщиной 6 мм из дюралюминия,

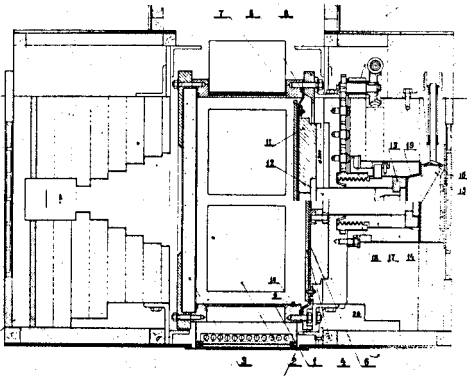


Рис 2.

герметично укрепленную на листовой вакуумной резине толщиной 2 мм. Поверхность диафрагмы, обращенная в сторону рабочего объема камеры, окрашивается черным силикатным лаком и хорошо высушивается. Вес диафрагмы около 6 кг. Резина (6), на которой подвешивается диафрагма - герметично прижимается к диафрагме и корпусу камеры рамками (7 и 8). Таким образом 80 литров газа внутри камеры соприкасаются всего лишь с 300 см² резины, что по нашему мнению, учитывая наличие выделений из обычно применяемой резины, представляет собой серьезное преимущество описываемой конструкции камеры.

При конструировании рабочего объема камеры полезно исключить какие-либо щелевые, цилиндрические углубления, наличие которых является одной из причин появления в камере в момент расширения газовых вихрей и источников центров конденсации. На дне корпуса вблизи диафрагмы сделана неглубокая канавка длиной 800 мм для жидкости. Через специальный штуцер в эту канавку может заливаться или, наоборот, удаляться рабочая жидкость камеры. Для наполнения камеры газом имеется второй штуцер в верхней части корпуса. Натяжение резины, удерживающей диафрагму, сделано таким, что диафрагма под действием тяжести не провисает заметным образом.

Как видно из рисунка, камера не имеет сеток для выравнивания движения газа. Черная диафрагма является

достаточно хорошим фоном для фотографирования. Поэтому мы в этой камере не используем бархата, т.к. он является возможным источником загрязнения камеры.

Камера наполняется аргоном до давления, превышающего атмосферное на 0,3 атм; рабочей жидкостью служит смесь, состоящая из спирта и воды в пропорции 2:1.

Механизм расширения камеры состоит из плиты-поршня (II) из дюралюминия, жестко связанного со штоком (I2), на другом конце которого укреплен цилиндрический поршень (I3), перемещающийся внутри цилиндра с диаметром 100 мм (I4). Корпус цилиндра монтируется в наконечнике полюса магнита. Под действием газа, сжатого до давления 16-17 атм. под резиновой диафрагмой (I9), поршень движется в цилиндре в сторону камеры вместе со штоком и плитой-поршнем. Таким образом диафрагма приходит в исходное положение перед расширением камеры. Расширение в камере осуществляется посредством вытекания газа из-под резиновой диафрагмы расширительного механизма через отверстие (I5), которое открывается с помощью электромагнитного клапана (I6). Катушка электромагнитного клапана имеет компенсационные витки, в которые подается импульс от ТГИ-200.

Регулирование величины расширения камеры достигается регулированием величины хода поршня, путем вращения гайки-шестерни (I8) на втулке с резьбой (I7), т.е. за счет поступательного перемещения втулки (I7).

Плита-поршень (II) имеет вес около 20 кг. и под нагрузкой диафрагмы, на которую давит газ из камеры, провисает на краях не более 1-го мм, что вполне обеспечивает равномерное расширение по всему объему в камере. Площадь плиты поршня немногим меньше площади диафрагмы.

В центральной части плиты-поршня со стороны, противоположной рабочему объему камеры, имеется круговой выступ высотой 15 мм и диаметром 300 мм, который при расширении камеры заходит в круговое углубление в плите (20) наконечника полюса магнита с минимальным зазором по диаметру. При этом сжимается газ, находящийся в углублении, и тем самым тормозится дальнейшее движение плиты-поршня. В конце расширения движение поршня плавно замедляется и ударная волна в газе камеры не возникает.

На нашей фотографии приведена развертка движения плиты-поршня во время расширения. (Рис. 3)

На фотографии видно, что в начале расширения диафрагма ускоряется и затем плавно замедляется. Совсем другую картину мы имеем, когда в круговом углублении были сделаны отверстия для истечения сжимаемого газа.

В этом случае плита-поршень в конце расширения совершает затухающие колебания; амплитуда колебания в первом цикле равнялась 2-3 мм; число колебаний было равно 3-4. Период колебаний равнялся нескольким сотым секунды. Можно думать,

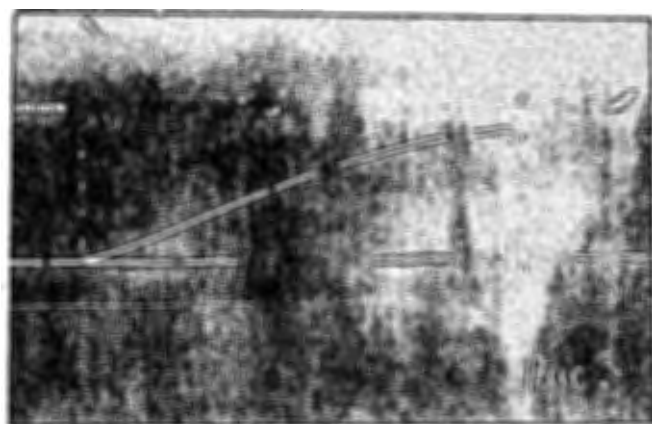


Рис 3.

что эти колебания диафрагмы будут приводить к искажениям следов в камере, хотя это еще не было проверено экспериментально.

Лампочка, с помощью которой получалась развертка движения диафрагмы, в проведенной серии измерений укреплялась в разных точках плиты-поршня. Сопоставляя полученные кривые развертки можно было заключить, что все участки плиты-поршня, а следовательно и диафрагмы движутся одинаково и таким образом обеспечивают однородное расширение газа в камере. Измерения показали, что движение поршня начинается спустя 4 мсек после открытия клапана. В конкретных условиях наших опытов время движения диафрагмы практически не зависело от наличия магнитного поля, и, следовательно, замедляющее действие токов Фуко в плите-поршне и в диафрагме не сказывалось.

Описываемая конструкция камеры отличается следующими достоинствами:

а) высокая эффективность использования межполюсного зазора, что достигается тем, что механизм расширения, в основном, вмонтирован в наконечнике полюса. Между наконечниками полюсов в нашей установке, зазор равен 300 мм, в этом зазоре устанавливается камера с глубиной рабочего объема 200 мм.

б) обеспечивается достаточная однородность расширения газа в камере,

в) отсутствует искажение следов в газе камеры при

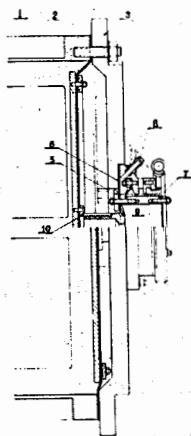


Рис 4.

наличии торможения в конце движения диафрагмы,

г) представляется возможным сменить камеру без демонтирования механизма расширения.

Недостатком конструкции является то, что для отладки ее вне электромагнита необходимо иметь отдельный расширительный механизм (взамен вмонтируемого в наконечник электромагнита). Однако, по нашему мнению, этот недостаток конструкции камеры с лихвой перекрывается ее достоинствами.

Вторая камера Вильсона предназначена для визуального наблюдения первичных частиц над магнитным полем. Конструкция корпуса камеры такая же как и у первой. Она отличается от первой только своим механизмом расширения (схематично он изображен на рис. 4). Эта камера (со стороны диафрагмы) имеет герметизируемый поддиафрагменный объем, образуемый между диафрагмой и задней плитой, на которую падает диафрагма во время расширения.

Регулирование величины расширения осуществляется путем перемещения кольца (5) поступательно, посредством вращения гайки-шестерни на втулке с резьбой (7). Между втулкой (7) и кольцом (5) установлено еще кольцо (4), герметично зажатое с помощью шайб из резины (6). В кольце (4) имеется отверстие в радиальном направлении, через которое газ с избыточным давлением по отношению к внутреннему давлению в камере, из полости между двумя резиновыми шайбами поступает под диафрагму и

поджимает ее в сторону камеры до тех пор, пока грибок (9) не перекроет поступление газа под диафрагму. Сжатый газ поступает в полость между резиновыми шайбами - уплотнителями через штуцер (8). Измерением давлений как в самой камере, так и под диафрагмой (в момент, когда она поджата) определена величина перепада давления, которая была равна - 0,02 атм. Такая относительно малая величина перепада по давлению очень мало деформирует плоскость диафрагмы. Было установлено, что при поджатой диафрагме для получения последующего расширения $7\% + 8\%$, прогиб диафрагмы не превышал 1 мм (диафрагма была подвешена на листовой резине толщиной 2 мм). В первоначальном варианте, газ из-под диафрагмы уходил через четыре клапанных паза общей площадью около 250 см^2 . Клапаны были искрового типа и, вследствие их нестабильной работы во времени (разброс по началу открытия клапанных отверстий), заменены клапаном электромагнитного типа.

Разброс во времени открывания клапанов, давал неоднородность в движении диафрагмы и приводил к искажению следов в камере.

Помимо этого, диафрагма, падая на плиту, испытывала несколько колебаний, устранить которые нам не удавалось.

Обмеривая фотографии следов μ - мезонов на пленке с помощью микроскопа УИМ-2I, мы определили радиусы ложной кривизны, которые были равны 10 м. Эта большая величина радиуса ложной кривизны, вероятнее всего и есть доказательство неоднородности

расширения газа и колебаний диафрагмы.

В течение месяца камера работала стабильно, без перебоев. Качество следов в камере было хорошим. Для очистки камеры от крупных капель после расширения было достаточно произвести одно-два медленных расширения.

Простота конструкции и изготовления камеры, ее надежная стабильная работа позволяют надеяться, что при имеющихся у нее недостатках, она с успехом может быть использована для наблюдения следов частиц вне магнитного поля.

УСТАНОВКА С КАМЕРОЙ ВИЛЬСОНА В ИМПУЛЬСНОМ
МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.П.Джелепов, М.С.Козодаев, В.Т.Осипенков
Н.И.Петров, В.А.Русаков, В.Г.Иванов.

(Лаборатория ядерных проблем, Объединенный
институт ядерных исследований).

Установка с камерой Вильсона в импульсном магнитном поле до 13500 э. применялась для изучения взаимодействия положительных и отрицательных Π -мезонов с ядрами углерода, свинца и лития.

Отрицательные Π -мезоны генерировались в графитовой мишени, установленной на пути внутреннего пучка протонов с энергией 670 Мэв. Мезоны, вылетающие в переднем направлении, отклонялись и фокусировались магнитным полем синхроциклотрона, после чего выходили из вакуумной камеры. Положительные Π -мезоны генерировались в полиэтиленовой мишени, установленной на пути выведенного пучка протонов и отклонялись затем магнитным полем электромагнита СП-37. Перед попаданием в камеру пучки мезонов в обоих экспериментах очищались от примесей магнитным полем электромагнита СП-10. Магнитное поле электромагнита СП-10 задает также импульс мезонов, попадающих в камеру Вильсона. Использовались отрицательные Π -мезоны с энергией 230 Мэв и положительные Π -мезоны с энергией 190 Мэв. В рабочем объеме камеры, перпендикулярно направлению пучка, устанавливалась пластинка из исследуемого вещества. Схемы опытов показаны на рис. I и рис. Ia.

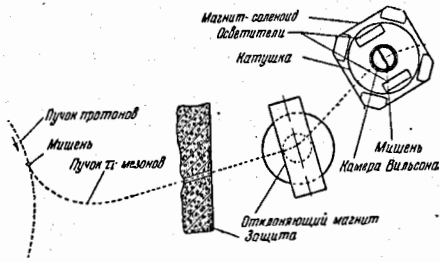


Рис. 1. Схема опыта

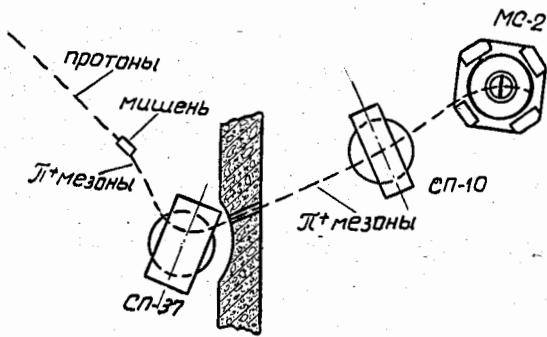


Рис. 1а.

Установка состоит из следующих основных узлов:

- а) цилиндрической камеры (с резиновой диафрагмой) диаметром 400 мм и глубиной 100 мм;
- б) системы освещения камеры;
- в) стереофотокамеры с базой 120 мм и автоматическим переводом фотопленки;
- г) электромеханической схемы управления работой камеры и схемы синхронизации действия камеры с ускорителем;
- д) электромагнита-соленоида с наружным диаметром обмотки возбуждения 1200 мм и внутренним 504 мм, с расстоянием между средними плоскостями обмотки 389 мм (общий вес магнита 13000 кг);
- е) агрегата питания электромагнита, включающего:
 - 1) асинхронный двигатель с фазным ротором типа БАМСО-175-6, мощностью 540 квт;
 - 2) генератор постоянного тока типа ГП-300-1000, мощностью 300 квт.
 - 3) возбудитель типа ПН-205, мощностью 17 квт.
 - 4) систему стабилизации тока, протекающую через магнит.
 - 5) устройство, обеспечивающее работу агрегата в импульсном режиме.
- ж) системы охлаждения электромагнита и камеры вместе со схемой терморегулирования;
- з) устройства с воздушным компрессором, обеспечивающим производство расширения и сжатия в камере.

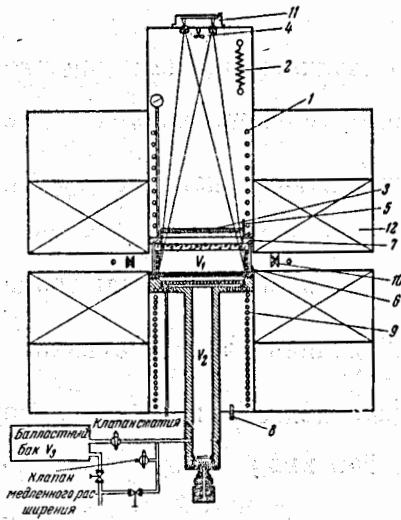


Рис. 2. Схема магнита-соленоида и системы терморегулирования и контроля температуры. 1 и 9 — система охлаждения; 2 — нагреватель; 3, 5, 6 и 8 — термометры сопротивления; 4 — вентилятор; 7 — верхний фланец камеры Вильсона; 10 — конденсор; 11 — стереофотокамера; 12 — катушка магнита

Магнит-соленоид.

Камера Вильсона расположена в зазоре магнита-соленоида, выполненного по системе Гельмгольца. Магнит состоит из двух катушек \varnothing 1200 мм, высотой - 346 мм каждая и расстоянием между ними - 86 мм.

Данные обмоток следующие:

Общее число витков - 968

Длина медной трубки - 2600 м

Сечение медной трубки - 97 мм².

Электрическое сопротивление обмоток (20°C) - 0,5 ома.

Вес меди в обмотках - 2250 кг.

Каждая катушка состоит из 11 отдельных секций (по 44 витка в каждой секции), изготовленных из медной трубки \varnothing 14/8 мм. Для увеличения магнитного поля, катушки окружены железным ярмом. Магнит охлаждается водой, пропускаемой через токопровод.

Магнит имеет вертикальное цилиндрическое отверстие \varnothing 462 мм. В нижней катушке установлена железная вставка с осевым отверстием \varnothing 190 мм, через которое проходит выхлопная труба камеры Вильсона с электромагнитным клапаном. Зависимость напряженности магнитного поля в центре зазора от тока, питающего катушки $H_0 = f(J)$ и напряженность поля в различных точках рабочего объема $H = f(R)$ приводятся на рис. 3 и на рис. 4.

В освещенной области объема камеры Вильсона (\varnothing 360мм и высота 40 мм), в которой производились обмеры следов частиц, отклонения напряженности магнитного поля от номинального не превышали $\frac{+3}{-2}\%$.

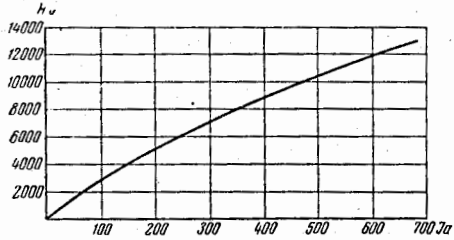


Рис. 3. Зависимость напряженности магнитного поля в центре зазора магнита-соленоида от тока $H_0 = f(I)$

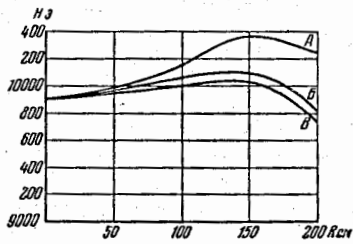


Рис. 4. Напряженность магнитного поля в зазоре магнита-соленоида как функция расстояния от его оси. Кривая B представляет зависимость $H = f(R)$ в медианной плоскости катушек, A на 20 мм ниже, а B — на 20 мм выше медианной плоскости

Рабочие значения напряженности магнитного поля 10000 э и 13500 э, что соответствует току 480 а и 700 ампер. Магнит включается автоматически перед впуском частиц в камеру и через 3-4 сек. магнитное поле достигает номинального значения. При помощи электронного стабилизатора ток, проходящий через магнит, поддерживается с точностью 0,2% постоянным. После выпуска частиц в камеру и фотографирования, магнит автоматически выключается.

Камера Вильсона.

Рабочий объем камеры Вильсона \varnothing 380 мм и высотой 100 мм ограничен сверху плоскопараллельным стеклом, толщиной 25 мм, сбоку - стеклянным кольцом, толщиной 10 мм, которое опирается на решетку из нержавеющей стали ЭИТ. Между решеткой и корпусом камеры зажата мембрана, представляющая перфорированный дюралевый диск, обклеенный с обеих сторон вакуумной резиной толщиной 0,5 мм. Движение мембраны во время расширения и сжатия рабочего объема камеры ограничивается сверху неподвижной и снизу - подвижной решетками. Поднимая или опуская нижнюю решетку с помощью редуктора, изменяют величину расширения.

Для убирания ионов в рабочем объеме камеры, между дном и верхом камеры наложено электрическое поле, создающее градиент 40 в/см. Электрическое поле автоматически выключается во время расширения и включается после фотографирования. Дно камеры покрыто черным бархатом. Расширение в камере происходит при открывании электромагнитного клапана в момент выключения тока в его катушке.

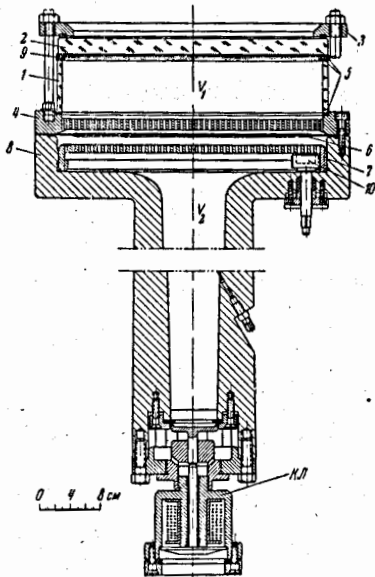


Рис. 5. Камера Вильсона. 1 — стеклянный цилиндр; 2 — стеклянный диск; 3 — прижимной фланец; 4 — неподвижная решетка; 5 — резиновые уплотнения; 6 — мембрана; 7 — подвижная решетка; 8 — корпус камеры; 9 — латунное кольцо с натянутыми на нем проволочками; 10 — пестерли

Время расширения составляет 25 мсек. После фотографирования производится быстрая компрессия при помощи клапана, соединяющего объем под расширительной мембраной с балластным баком.

После фотографирования и компрессии производится одно медленное расширение и быстрое поджатие. Рабочий объем камеры освещается с двух противоположных сторон осветителями, в которых используются лампы ИПС-600 и конденсоры, составленные из цилиндрических линз с $f = 100$ мм. Фотографирование производится с расстояния в один метр стереофотокамерой ФТЕ-8 на стандартную 35 мм пленку "Панхром 1100". Фокусное расстояние объективов $f = 58,6$ мм; $m = 16$, база фотоаппарата равна 120 мм. Момент фотографирования определяется вспышкой импульсных ламп. После фотографирования пленка автоматически передвигается в положение для съемки следующего кадра.

Проявление экспонированной пленки производится амидоловым проявителем.

Терморегулирование и контроль температуры.

Применяемая система терморегулирования и контроля температуры показана на рис. 2. Дно и выхлопная труба камеры отделены от магнита теплоизолирующим слоем из пенополистирола. Для поддержания стабильной температуры в объеме камеры, через дно и выхлопную трубу последней, а также в объеме магнита над верхним стеклом по змеевикам пропускается термостатированная вода. Для термостатирования воды используются стандартные термостаты ТС-15 и ТС-24. Контроль температуры осуществляется с помощью термометров

сопротивления, установленных на нижнем и верхнем фланцах камеры и включенных в цепь показывающего прибора-логометра. Для предотвращения конденсации жидкости на стеклах, температура дна камеры поддерживается холоднее верха на $0,5-1^{\circ}\text{C}$.

Для иллюстрации работы данной системы терморегулирования (при включении магнита через каждые 90 сек на 4-5 сек) приводится таблица.

Время	11 ⁰⁰	11 ³⁰	12 ⁰⁰	12 ³⁰	13 ⁰⁰	13 ³⁰	14 ⁰⁰	14 ³⁰	15 ⁰⁰	15 ³⁰	16 ³⁰
$t^{\circ}\text{C}$ воздуха	10	10	10	10	10	10	10	10,5	10,5	11	11,2
$t^{\circ}\text{C}$ низ	9,5	9,5	10	9,8	9,8	10	10,5	10,5	11,3	11,4	11,7
$t^{\circ}\text{C}$ верх	9,5	9,6	10,2	10,5	10,5	10,5	11	11,3	11,5	12	12,5

Опыт работы показывает, что желателен эпизодический визуальный контроль за качеством следов, образующихся в камере, что легко осуществимо путем включения на короткое время непрерывного освещения рабочего объема камеры.

Сборка и наполнение камеры.

Перед сборкой все металлические детали и стекла, служащие внутренней поверхностью камеры, тщательно промывались этиловым спиртом. Бархат, служащий фоном при фотографировании, в течение месяца перед сборкой выдерживался в этиловом спирте. Перед сборкой все детали высушивались. В качестве конденсирующей жидкости использовалась смесь этилового спирта и дистиллированной воды (70% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ + 30% H_2O , по объему). Двадцать кубических санти-

метров такой смеси разбрызгивалось под бархат, камера собиралась, а затем откачивалась форвакуумным насосом, после чего наполнялась технически чистым аргоном до давления 1,8 атм. Предварительно этот аргон очищался от примесей вымораживанием в ловушке при температуре жидкого кислорода.

Вышеописанная сборка камеры и ее наполнение обеспечивали, во-первых, готовность к работе через 30 минут после сборки, и, во-вторых, устойчивую работу камеры в течение длительного времени.

Система синхронизации и управления исполнительными устройствами камеры Вильсона.

Блок-схема применяемой электронной аппаратуры показана на рис. 6.

Основными элементами этой аппаратуры являются: система одноразового запуска ускорителя, электронная схема управления камерой и блок синхронизации.

Импульсный генератор в схеме синхронизации периодически вырабатывает два импульса, следующие друг за другом с интервалом в 100 мсек. Первым импульсом запускается устройство, управляющее расширением в камере, и после того, как в камере произошло расширение, вторым импульсом запускается ускоритель. Для получения четких следов использовался импульс частиц от ускорителя, которые попадали в камеру в конце расширения. Для этого импульс, запускающий камеру, мог сдвигаться во времени с помощью одновибратора во входном устройстве схемы управления.

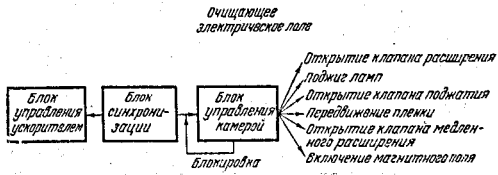


Рис. 6. Блок-схема системы синхронизации

Электронная схема, управляющая работой исполнительных механизмов камеры, показана на рис.7.

Полный цикл работы камеры равен 90 сек.

В настоящее время получен большой статистический материал по взаимодействию положительных Π -мезонов с ядрами углерода и лития и производится обработка этого материала. На рис.8 приведен пример упругого и неупругого рассеяний положительных Π -мезонов на ядре лития.

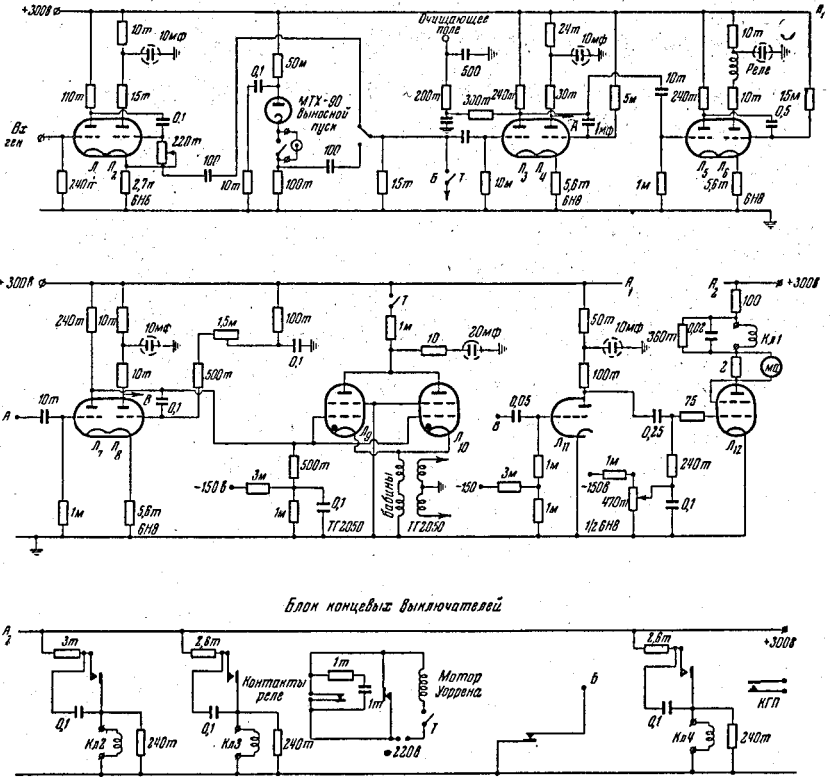


Рис. 7. Схема управления камерой Вильсона

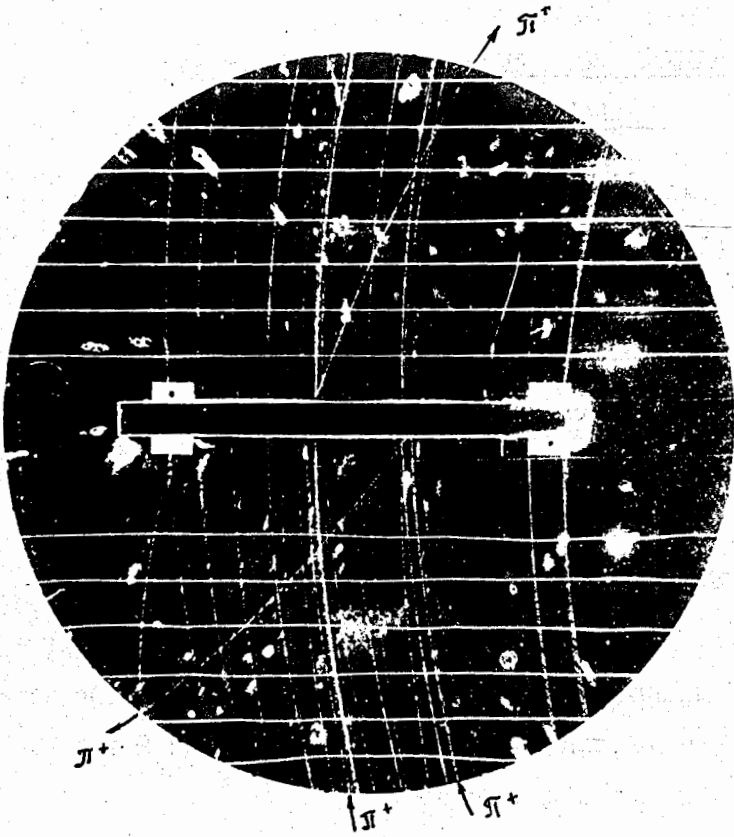


Рис. 8

КАМЕРА ВИЛЬСОНА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Сяо Че, Чен Чи-мо, Хо Ан-сян
(Физический институт Академии наук Китая)

Была построена камера Вильсона с магнитным полем для исследования космических лучей.

Полюсы и ярмо магнита состоят из восьми кусков литой стали. Стальные куски обрабатывались на станке. Общий вес стали 3,5 тонны.

Катушка обмотки возбуждения состоит из 15 отдельных секций, намотанных из 14,5 мм x 2,44 мм медного проводника с двумя слоями обертки из пряжи. Общий вес меди 2 тонны. Секции разделяются на два типа:

- а) 170 витков
- б) 200 витков

Каждая секция состоит из двух слоев, соединенных сваркой серебром. Секции обматываются хлопчатобумажной лентой и пропитываются шеллаком для крепления. 15 отдельных секций соединяются в две группы. Каждая группа содержит 8 секций типа "А" и 7 секций типа "В". Группы соединяются последовательно. Общее число витков группы А - 1360 и группы В - 1400. Обе группы

секций подключены параллельно к генератору постоянного тока с напряжением 115 в. Общее сопротивление обмотки - 1,9 Ω при термическом равновесии. Сила тока 125 ампер, общее число ампер-витков - 17,000, средняя напряженность магнитного поля между полюсами - 6300 эрстед.

Магнит охлаждается водой, нагнетаемой в 12 охлаждающих промежутков при помощи насоса, мощностью 1 квт. Вода не используется повторно. Охлаждающие промежутки сделаны следующим образом. Из пластины латуни толщиной 0,6 мм серебром свариваются тонкие коробки, которые вставляются между секциями. Вследствие упругости тонкой латунной пластинки стенки коробки под давлением воды прижимаются к секциям, и эффективность охлаждения повышается.

Размер камеры 30 см x 30 см x 10 см, глубина освещения 7 см. Метод расширения и регулировка степени расширения сходны с теми, которые используются Бреттером и др. Контроль температуры осуществляется следующим образом: к верхней и нижней стенкам камеры и к полюсам магнита приваривались медные трубы. Через них протекает вода, температура которой поддерживается с точностью $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Полюсы и ярмо магнита изолируются асбестовой бумагой.

Стереокартинки снимаются двумя объективами, с фокусным расстоянием 50 мм и относительным отверстием 3,5. Угол между объективами $10,5^{\circ}$. Камера освещается двумя импульсными лампами.

Для питания ламп используются емкости $200 \mu\text{f}$, заряженные до 2000 в. Параллельный пучок света получается с помощью цилиндрических линз. Стереокартинны снимаются на 35 мм фото- пленке, диафрагма при фотографировании 6,3.

Координаты точек треков измеряются на микроскопе с двумя направлениями движения. Мы измеряли 35 треков частиц высоких энергий без магнитного поля и определили наименьшую обнаруживаемую кривизну 0.023 м^{-1} . Эта величина соответствует наибольшему обнаруживаемому импульсу 8 Бэв/с.

В конце прошлого года эта камера была установлена в высокогорной лаборатории в пров. Юнань (высота 3180 м над уровнем моря). Работа идет успешно. В течение года мы получили около ста V^0 - случаев, несколько K^{\pm} - мезонов и несколько случаев непосредственного рождения электронной пары.

ПРИМЕНЕНИЕ КАМЕРЫ ВИЛЬСОНА ДЛЯ РАБОТЫ С
СИНХРОТРОНОМ.

А.Г.Герасимов, А.Н.Горбунов, А.В.Куценко,
В.М.Спиридонов, П.А.Черенков.

(Физический институт им. П.Н.Лебедева
АН СССР).

В лаборатории ускорителей и фотоядерных реакций Физического института им. П.Н.Лебедева Академии Наук СССР для исследования фотоядерных реакций с 1949 г. используется камера Вильсона. В докладе будут рассмотрены некоторые особенности применения камеры Вильсона для работы в пучке тормозного излучения синхротрона.

I. Синхронизация работы камеры Вильсона
и синхротрона.

Для обеспечения нормальной работы камеры Вильсона в пучке синхротрона прежде всего необходимо синхронизовать работу камеры Вильсона и синхротрона. Необходимость синхронизации ясна из следующих соображений.

Синхротрон ФИАН с максимальной энергией 265 Мэв генерирует импульсы γ - лучей с частотой повторения 50 сек^{-1} . Промежуток времени между соседними импульсами излучения мал по сравнению со временем собирания ионов в камере Вильсона. Поэтому, если расширения в камере производятся наудачу, в ней в момент расширения будут присутствовать в большом количестве ионы, сохранившиеся от предшествующих импульсов излучения и успевшие распространиться по всему объему камеры.

Это приведет к появлению плотного тумана, на фоне которого будут незаметны даже следы наиболее сильно ионизирующих частиц. Кроме того, так как интервал между соседними импульсами излучения (0,02 сек) сравним с эффективным временем камеры Вильсона, то при несинхронизированной работе камеры качество следов, образованных отдельным импульсом, будет меняться от снимка к снимку в зависимости от того, в какой момент регистрируемый импульс прошел через камеру.

Таким образом ясно, что для получения оптимальных условий работы камеры Вильсона необходимо, во-первых выделить из непрерывной последовательности импульсов γ - лучей, создаваемых синхротроном, один отдельный импульс и, во-вторых, синхронизировать с этим импульсом действие всех элементов камеры.

При этом желательно, конечно, сохранить практически непрерывную работу синхротрона для проведения других исследований, требующих длительного облучения.

Выделение одиночного импульса проще всего можно было бы осуществить установлением такого режима работы синхротрона, при котором синхротрон давал бы одиночный импульс излучения с периодом, равным периоду камеры. Такой режим был осуществлен в работах Гартнера и Иетера и в последнее время *Латкинсоном* и др. в Глазго. Очевидно, однако, что этот режим работы крайне невыгоден из-за резкого снижения (~ 3000 раз) общей интенсивности γ -излучения. Подобный режим практически исключил бы возможность одновременного проведения физических исследований на других установках, для которых, в отличие от камеры Вильсона, требуется непрерывное облучение.

Решение этого вопроса было найдено нами в 1949 г. выбором для работы синхротрона режима, схема которого приведена на рис. I. В момент t , непрерывная генерация импульсов излучения прекращается и наступает пауза до момента t_2 . Длительность паузы $t_2 - t_1$ должна быть такой, чтобы за это время ионы, образованные предшествующими импульсами γ -лучей, могли быть удалены из объема камеры электростатическим полем. Обычно для этого оказывается вполне достаточным $1 + 2$ сек. За несколько сотых долей секунды до момента t_2 происходит расширение камеры Вильсона, и в момент t_2 через камеру проходит одиночный импульс γ -излучения, который и регистрируется. Примерно, через 0,5 сек. после этого, когда фотографирование уже закончено, "непрерывная" генерация излучения снова возобновляется и продолжается до момента t_1' , с которого начинается следующий цикл работы установки.

Для физического исследования, проводимого на камере Вильсона, необходимы определенная энергия и определенная длительность импульса излучения синхротрона, которые, вообще говоря, отличаются от условий излучения, необходимых для исследований, ведущихся одновременно на других установках. В связи с этим была найдена возможность устанавливать для "одиночных" импульсов излучения, регистрируемых камерой Вильсона, требуемый режим излучения, сохраняя на остальную часть цикла режим излучения, необходимый для параллельных работ.

Описанный режим работы делает возможным применение камеры Вильсона для физических исследований с пучком γ -лучей практически без снижения эффективности действия ускорителя и

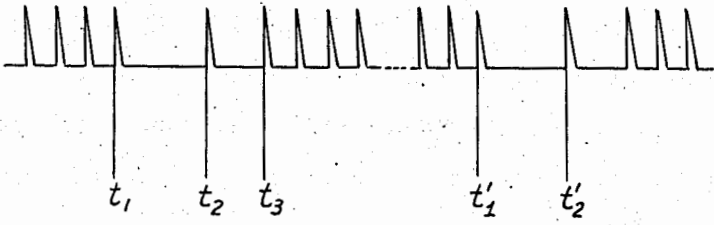


Рис. 1.

без специальных затрат машинного времени на эксперимент с камерой Вильсона. Это обстоятельство в заметной степени снимает вопрос о необходимости использования быстродействующей камеры Вильсона, так как эксперимент может вестись в течение всего времени работы ускорителя в ФИАНе, камера работает с ускорителем по 18-20 часов в сутки. Для осуществления такого режима работы синхротрона была разработана электронная схема управления и синхронизации, которая будет описана ниже.

2. Очистка пучка γ -излучения и ввод его в камеру Вильсона.

Интенсивность потока излучения синхротрона ФИАН при энергии 265 Мэв составляет $\sim 2 \cdot 10^{11}$ Мэв/см² мин на расстоянии 10 м от мишени, а поток энергии в одном импульсе на том же расстоянии составляет $\sim 7 \cdot 10^7$ Мэв/см². При такой большой интенсивности на пути пучка в воздухе, в стенках коллиматора и, особенно, в стенках камеры образуется большое количество электронно-позитронных пар, которые создают в камере сплошной туман. В связи с этим нами были приняты следующие меры, резко уменьшившие фон электронов и позитронов. 1) В камеру Вильсона пучок вводился через отверстие в боковом стекле, закрытое органической пленкой толщиной 70 мк. При диаметре 30 мм такая пленка выдерживает давление 3,5-4 ат. Способ крепления пленки в боковом стекле камеры показан на рис. 2. 2) Пучок коллимировался так, чтобы он не попадал на края входного отверстия в боковом стекле, причем свинцовый коллиматор толщиной 15 см был установлен на расстоянии 3,5 м от камеры. (Расположение коллиматора рядом с камерой привело бы к заметному загрязнению пучка γ -квантов электронами и позитро-

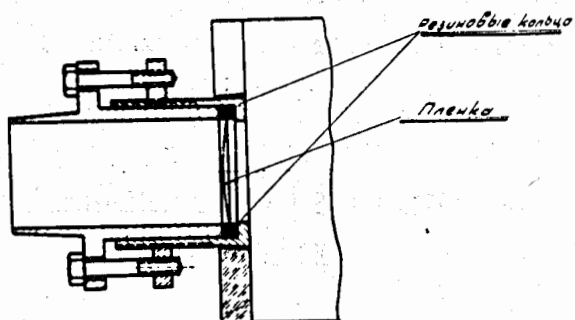


Рис 2.

нами). 3) Для удаления из пучка электронов и позитронов, возникающих на краях отверстия коллиматора, а также в различных мишенях, помещенных в пучке перед коллиматором другими экспериментаторами, непосредственно за коллиматором был установлен очищающий магнит. 4) Наконец, для удаления из пучка электронов и позитронов, образованных в столбе воздуха перед камерой, между коллиматором и камерой помещалась труба, из которой откачивался воздух.

Перечисленные меры позволили уменьшить поток электронов и позитронов, сопровождающих пучок γ - квантов, в общей сложности приблизительно на 3 порядка, а в частности : пункты 1+2) - в 300 + 600 раз, 3) - в 1,5 раза, 4) - в 2 раза.

На рис. 3 приведены фотографии пучка в камере Вильсона, наполненной гелием, с применением мер очистки пучка (а) и без них (б), сделанные одна за другой при одинаковой интенсивности γ -излучения.

3. Качество работы камеры Вильсона в пучке γ -излучения.

При выполнении перечисленных выше мероприятий на установке могут быть получены хорошие снимки с отчетливо видимыми следами релятивистских частиц. Следует, однако, заметить, что качество работы камеры сильно зависит от интенсивности импульса излучения. Максимальная величина интенсивности, при которой камера еще дает хорошие следы, определяется способностью камеры после рабочего расширения очищаться от множества мельчайших капелек, возникающих при прохождении пучка γ - лучей.



Рис 3а.



Рис 38.

Очищение камеры от фона тумана происходит весьма различно, в зависимости от того, применяется ли очищающее медленное расширение. Без медленного очищающего расширения максимальная допустимая интенсивность в $30 + 50$ раз меньше, чем при работе с медленным расширением. При этом в камере появляется фон тумана, исчезающий лишь через $5 + 6$ расширений после включения интенсивности. Введение в цикл работы камеры медленного расширения длительностью $10-12$ сек обеспечивает полное очищение камеры.

Благодаря всем перечисленным выше мерам по коллимации и очистке пучка γ - квантов от электронного сопровождения, а также в результате применения медленного расширения оказалось возможным довести поток энергии в импульсе излучения до 10^8 Мэв при длительности цикла $30-35$ сек., причем камера настраивалась на регистрацию релятивистских частиц. Если же ориентироваться на регистрацию сильно-ионизирующих частиц и работать с пониженной чувствительностью камеры, то интенсивность может быть увеличена еще в $5 + 10$ раз.

На рис. 4 приведена фотография пучка в камере Вильсона при потоке излучения 10^8 Мэв.

4. Схема управления и синхронизации

Схема управления работой камеры Вильсона и синхронизации ее процессов с работой синхротрона осуществляет следующие операции: 1) $1,5 - 2$ сек. до расширения камеры прекращает излучение синхротрона, 2) выключает электрическое поле камеры Вильсона и производит расширение и вслед за этим включает одиночный импульс излучения синхротрона, 3) производит вспышку импульсных ламп, 4) вклю-

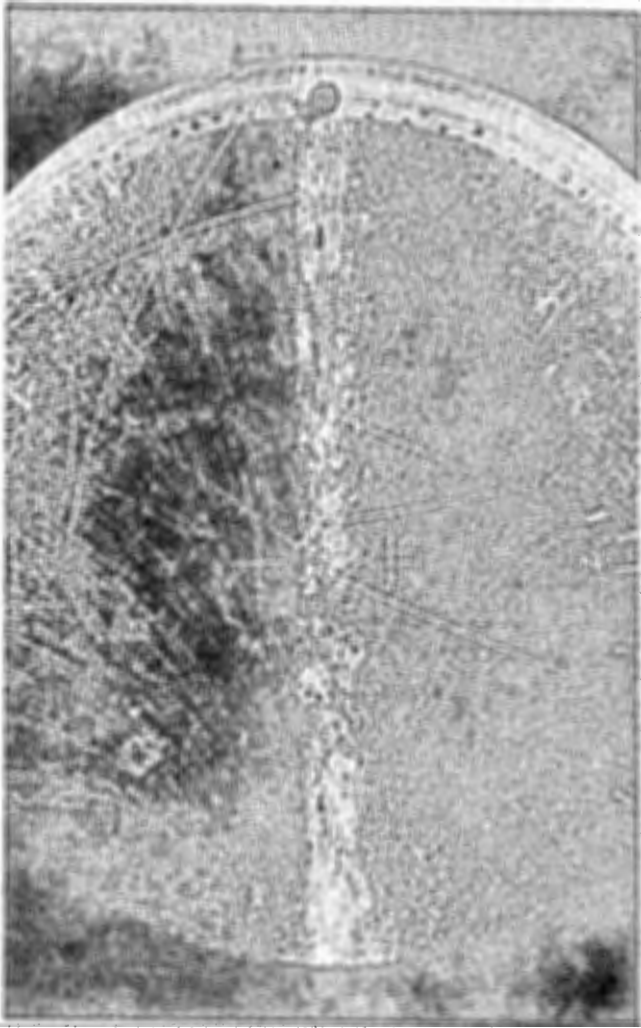


Рис 4.

чает непрерывное излучение синхротрона, 5) производит медленное расширение в камере Вильсона и переводит пленку в фотоаппарате.

Кроме того, схема перед одиночным импульсом γ -излучения включает установку, записывающую его амплитуду. Некоторые из перечисленных операций должны быть выполнены в строго фиксированные моменты времени и в совершенно определенной последовательности. К числу таких "точных" операций относятся расширение в камере Вильсона, выделение одиночного импульса излучения, и, наконец, поджиг импульсных ламп. В схеме, управляющей этими процессами, временные интервалы задаются одновибраторами на лампах 6Н8. Остальные операции не требуют высокой точности во времени и для управления ими используются цепочки RC и электромагнитные реле (см. ниже).

На рис. 5 изображена блок-схема устройства, осуществляющего описанный выше режим синхротрона и управление "точными" операциями камеры Вильсона. Это устройство включается в схему управления синхротрона последовательно между формирующим устройством, управляющим работой импульсного генератора инжектора, и самим генератором. Импульсы от пермаллового датчика, управляющего работой инжектора, помещенного в зазоре магнита синхротрона, поступают на вход схемы, дополнительно формируются блоком 1 и подаются на запуск одновибратора 2. Продифференцированные импульсы одновибратора снимаются либо с анода А (без сдвига фазы), либо с анода Б (со сдвигом фазы 250 мксек). Эти импульсы, обработанные в блоке 3, подаются на вход импульсного генератора и производят инжекцию либо в правильной фазе (если они снимаются с точки А),

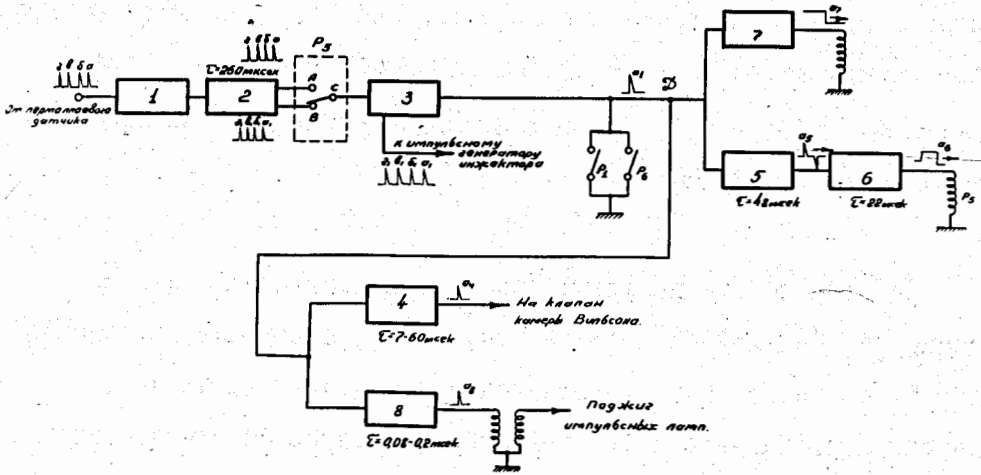


Рис. 5

Схема устройства, осуществляющего синхронизацию
работы камеры Вилбсона и синхротрона.

либо с задержкой на 250 мксек (если они снимаются с точки В). В последнем случае излучение не возникает, так как электроны не захватываются на бетатронную орбиту. Обычно поляризованное реле P_5 находится в положении А, так что импульсы проходят без изменения фазы и синхротрон "непрерывно" излучает. За 2 сек до расширения срабатывает реле P_5 и на импульсный генератор подаются импульсы с точки В, смещенные по фазе. При этом излучение синхротрона прекращается и наступает пауза, необходимая для очищения объема камеры от ионов. Затем срабатывает реле P_1 , не пропуская импульсы на последующую часть схемы.

При этом первый импульс, (после срабатывания реле P_1), например, a_1 (сдвинутый по фазе импульс а), поступает на одновибратор 5, осуществляющий дополнительную задержку на 48 мсек (импульс a_5). Импульс a_5 в свою очередь запускает одновибратор 6 ($T \sim 22$ мсек), в аноде которого стоит другая обмотка реле P_5 . В результате реле P_5 срабатывает и на время ~ 20 мсек соединяет точку С с точкой А (после чего опять возвращается в положение В). Так как частота излучения синхротрона ФИАН равна 50 сек^{-1} , то за это время в точку А приходит импульс г, который произведет инжекцию в правильной фазе. Синхротрон даст при этом одиночный импульс излучения. Импульс a_1 поступает, кроме того, на блоки 4 и 8, которые формируют сигналы с варьируемыми задержками. Импульс тока a_4 с блока 4, возникающий при разрядке конденсатора 20 мкф через тиратрон, подается на электромагнитный клапан камеры Вильсона и производит расширение. Величина задержки подбирается экспериментально таким образом, чтобы импульс излучения проходил через камеру после того, как закончится расширение.

Импульс высокого напряжения с блока 8, возникающий на вторичной обмотке автомобильной обмотки при разрядке конденсатора 2,0 мкф через первичную обмотку и тиратрон, поджигает импульсные лампы, освещающие камеру. Задержка поджига относительно момента прохождения импульса излучения подбирается экспериментально: оптимальной оказалась задержка 50 + 70 мсек, при задержке 25 мсек следы релятивистских частиц почти исчезают.

Импульс a_I поступает также на блок 7, который через время 4 мсек после импульса a_I включает поляризованное реле P_6 . Контакт реле P_6 снова закорачивает на землю точку \mathcal{N} и не пропускает импульсы, следующие за a_I на блоки 4,5,7,8.

Итак, все точные процессы камеры Вильсона запускаются от импульса а, а однократное излучение синхротрона производится импульсом г.