

С 3(04)

С-56

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P-230

МАТЕРИАЛЫ

совещания по камерам Вильсона, диффузионным и
пузырьковым камерам

Выпуск II

Диффузионные камеры

г. Дубна, 1958 год

С 3(04)
С-56

МАТЕРИАЛЫ
совещания по камерам Вильсона, диффузионным и
пузырьковым камерам

Выпуск II

Диффузионные камеры

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Настоящий выпуск подготовлен к печати

Р.М. СУЛЯЕВЫМ.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
1. Диффузионная камера. В.К. Ляпидевский	3
2. Определение содержания спирта в объеме диффузионной камеры. М.В. Стабников, Г.В. Стульников	46
3. Исследование влияния пластин на чувстви- тельный слой диффузионной камеры. А.П. Комар, М.В. Стабников	61
4. Большая диффузионная камера. Ю.Д. Зернин, А.М. Гальпер, В.И. Мороз, Е.П. Устенко	76 ✓
5. Диффузионная камера высокого давления в импульсном магнитном поле. М.С. Козодаев, М.М. Кулюкин, Р.М. Суляев, А.И. Филиппов, Ю.А. Щербakov	80
6. 25-ти атмосферная диффузионная камера в магнитном поле. Ю.А. Будагов, С. Виктор, В.П. Желепов, П.Ф. Ермолов, В.И. Москалев	105
7. Проект большой диффузионной камеры высокого давления в импульсном магнитном поле. Ю.П. Вахрушин, М.С. Козодаев, Э.В. Козубский, Б.В. Рождественский, Р.М. Суляев, А.П. Филиппов	116
8. Работа диффузионной камеры при давлениях до 100 атм. А. Эккардт, Ф. Швабе, Э. Грейнер	122

ДИФФУЗИОННАЯ КАМЕРА

В.К. Ляпидевский

(Московский инженерно-физический институт)

Метод регистрации ионизирующих частиц с помощью конденсации капель на ионах является одним из основных в экспериментальной ядерной физике. В основе метода лежит тот факт, что рост капель до видимых размеров на заряженных центрах происходит при меньшем пересыщении, чем на нейтральных.

В хорошо известной камере Вильсона пересыщение, необходимое для конденсации капель на ионах достигается путем адиабатического расширения смеси газа и пара. Однако камера Вильсона обладает рядом недостатков, ограничивающих возможности метода. Основными из них являются: большое время нечувствительности после расширения, сложность конструкции, чувствительность к загрязнению нейтральными в электрическом отношении центрами конденсации. Последнее существенно усложняет наладку и эксплуатацию камеры с расширением. Большое время нечувствительности после расширения затрудняет использование камеры Вильсона совместно с ускорителями.

Потребность в приборе, свободном от недостатков, свойственных камере Вильсона, привела к поискам методов создания пересыщения, отличающихся от метода адиабатического расширения.

В ряде работ были предприняты попытки создания камеры с непрерывной чувствительностью.

В работе ¹ описывается камера, в которой пересыщение достигается в процессе встречной диффузии паров воды и соляной кислоты. Однако удовлетворительных результатов в такой камерой получено не было.

В работе ² сообщается о построении так называемой диффузионной камеры, в которой пересыщение возникает в процессе диффузии пара через неконденсирующийся газ от нагреваемой горизонтальной поверхности к охлаждаемой.

Первые удовлетворительные фотографии следов частиц были получены в диффузионной камере только в 1951-1952 году. С тех пор число работ, выполненных с помощью диффузионной камеры, а также посвященных исследованию физических процессов, протекающих в ней, непрерывно растет. Повышенный интерес к диффузионной камере объясняется тем, что она не только в значительной мере свободна от недостатков, присущих камере Вильсона, но и обладает рядом особенностей, позволяющих расширить область применения этого метода регистрации частиц.

Физические процессы в диффузионной камере

Диффузионная камера представляет собой замкнутый сосуд, заполненный смесью газа и пара (см.рис.1). Вблизи верхней и нижней поверхностей имеются источники пара. Если температура

T_1 верхней крышки камеры не равна температуре T_2 , ее нижней крышки, то в объеме камеры будут протекать следующие процессы:

1. Неизотермическая диффузия пара через газ от нагреваемой поверхности к охлаждаемой.

2. Теплопередача через смесь газа и пара от нагреваемой поверхности к охлаждаемой.

3. Образование и диффузия нейтральных и заряженных центров конденсации.

4. Конденсация пара и рост капель на нейтральных и заряженных центрах.

5. Движение капель в поле тяжести.

6. В ряде случаев в объеме камеры существует конвекция.

Полной теории диффузионной камеры, ввиду сложности протекающих в ней процессов, не существует. Все авторы при построении теории делают ряд более или менее произвольных допущений.

В работе Амелина ³ предполагается, что поле температур и поле парциальных давлений в объеме камеры определяются одномерными уравнениями изотермической диффузии и теплопроводности. Другие процессы не учитываются. В этих предположениях распределение температуры и парциальных давлений линейно.

Несколько лучшее приближение представляет собой расчет, приводимый в работе Лангсдорфа ⁴, где учтена зависимость коэффициентов диффузии и теплопроводности от температуры.

На рис.2 и 3 представлены кривые температурного распределения и кривые парциального давления для двух различных потоков пара, при условии, что конденсация в объеме камеры не происходит. Увеличение потока пара вызывает рост нелинейности температурного распределения и увеличивает парциальное давление в объеме камеры. На рис.4 соответственно приведены кривые пересыщения. Штрих-пунктирные линии соответствуют пересыщению, при котором начинается рост капель на ионах (S_1) и пересыщению, при котором образуется большое число капель на нейтральных центрах (S_2).

Как видно из рисунка 4, пересыщение вблизи дна камеры превышает S_1 . Вблизи охлаждаемой поверхности образуется чувствительный слой. Границы чувствительного слоя определяются пересечением кривой S_x с кривой S_1 . (Точки А и В на кривой 2). В камере с конденсацией в объеме кривая пересыщения будет иметь другой вид.

Влияние конденсации в объеме камеры на температурное распределение вычислялось в работе ⁵. По оценке авторов температурное распределение должно сильно зависеть от числа центров конденсации. Чем больше центров конденсации в чувствительном слое, тем больше нелинейность температурного распределения. Расчеты, приведенные в работе ⁶, также показывают, что влияние конденсации на температурное распределение весьма велико.

Экспериментально влияние конденсации на распределение температуры изучалось в работе ⁷. С этой целью температурное распределение в действующей камере сравнивалось с температурным распределением в той же камере, находящейся в том же температурном режиме, но без конденсации в ее объеме. Камера со стационарно закрепленными в ее объеме термометрами наполнялась атмосферным воздухом, при давлении равном одной атмосфере, причем источник пара отсутствовал. По истечении нескольких минут влага, содержащаяся в воздухе, конденсировалась и оседала на дно. Конденсация в камере прекращалась. Показания термометров в объеме камеры, регистрировались после полного прекращения конденсации. Затем в желоб, служащий источником пара, наливался этиловый спирт. Через несколько минут в объеме камеры начинается конденсация и рост капель на ионах и незаряженных центрах. Измерения показали, что конденсация в объеме камеры практически не изменяет температурного распределения. Температура в каждой точке объема в процессе конденсации изменяется, не более, чем на $1 - 2^{\circ}$ С. Было установлено также, что изменение числа заряженных центров конденсации в широких пределах не влияет на температурное распределение в ее объеме.

Этот экспериментальный факт указывает на то, что теория, не учитывающая теплообмена со стенками камеры, дает неверные результаты.

Рядом исследователей ^{7,8} было обнаружено, что температурное распределение в объеме камеры резко нелинейно. Правильное

объяснение этому было дано в работе ⁷, авторы которой показали, что температурное распределение в объеме камеры повторяет температурное распределение по ее стенкам.

На рис.5 приведены кривые температурного распределения в объеме камеры, наполненной воздухом и парами этилового спирта при общем давлении равном одной атмосфере. Кривые 1 и 2 получены при омывании стен камеры комнатным воздухом. Видно, что распределение температуры в объеме камеры мало отличается от распределения температуры по стенкам, причем температура стенки в каждом горизонтальном сечении несколько выше, чем температура в центре камеры. При омывании стен камеры охлажденным воздухом температурное распределение резко меняется. (Кривые 3 и 4). В этом случае температура стенки в каждом горизонтальном сечении камеры несколько ниже, чем в центре. Более детально исследование горизонтального распределения температуры описано в ⁹. Измерение температуры производилось с помощью подвижных термопар, перемещающихся параллельно плоскости дна от стенки к центру камеры. Характер кривых горизонтального распределения температуры в камере, омываемой комнатным и охлажденным воздухом, показаны на рис.6 и рис.7 соответственно.

Около нагреваемых комнатным воздухом стен газ движется снизу вверх. При охлаждении стен поток газа меняет направление на обратное. Очевидно, что существует какой-то промежуточный режим работы камеры, когда распределение температуры по стенке совпадает с распределением температуры в газе и конвекция отсутствует.

При изменении температурного распределения по стенкам камеры в ее объеме изменяется скорость и направление конвекционных токов. Эксперименты, детально описанные в работе ⁹, показали, что конвекция в объеме камеры имеет осевую симметрию и не приводит к неоднородности пересыщения в чувствительном слое. Скорость конвекции в рабочем объеме (при различных температурных распределениях) сравнима со скоростью падения капель. Поэтому движение газа не вызывает заметного искажения следа частицы за время его регистрации.

Таким образом было установлено, что температурное распределение в объеме камеры можно регулировать без нарушения ее работы ^{7,9}.

Результаты исследования распределения температуры в объеме камеры, наполненной воздухом при атмосферном давлении, могут быть распространены на другие газы и давления. Как было показано в ^{9,10} регулирование температурного распределения в объеме камеры путем задания необходимого распределения по стенкам возможно во всех случаях, когда произведение чисел Грасгофа G_z и Прандля R_z не меньше; чем 10^6 . При малых давлениях газа роль конвекции уменьшается и температурное распределение в объеме камеры может заметно отличаться от распределения температуры по стенкам. При этом влияние конденсации становится заметным.

Конвективное движение газа в объеме камеры оказывает также существенное влияние на распределение парциальных давлений.

Поле парциальных давлений в объеме действующей диффузионной камеры исследовалось двумя методами: по поглощению смесью пара и газа ультрафиолетового излучения ¹¹ и методом расширений ¹².

Исследования показали, что выше зоны конденсации парциальное давление мало меняется с высотой. На рис.8 приведена типичная кривая распределения парциальных давлений в камере с резко нелинейным распределением температуры. Неизменность парциального давления в верхних сечениях, по-видимому, обусловлена интенсивным перемешиванием смеси газа и пара. Опыт показывает, что изменение температурного распределения (если при этом не изменяется направление конвекционных токов) не изменяет характера кривой парциальных давлений, причем парциальное давление выше зоны конденсации практически остается неизменным. Вместе с тем изменение температурного распределения влечет за собой резкое изменение соответствующего распределения давления насыщенных паров. Вследствие этого в объеме камеры изменяется распределение пересыщений. Это в свою очередь изменяет условия конденсации, так как число активных центров конденсации является функцией пересыщения. Поэтому изменение температурного распределения существенно отражается на кривой парциальных давлений в зоне конденсации и независимое регулирование поля парциальных давлений оказывается невозможным. Это обстоятельство существенно усложняет проблему получения определенного пересыщения в объеме камеры путем задания температурного распределения в ее объеме.

Следует отметить, что диффузионная камера благодаря действию механизма саморегулирования пересыщения может работать в очень большом диапазоне температурных распределений. Если температурное распределение выбрано так, что пересыщение в объеме камеры в какой-то момент времени значительно превышает

S_2 (как на кривой - I рис.4), то в чувствительном слое начинается самопроизвольная конденсация пара на незаряженных центрах. Пересыщение падает. Это приводит к уменьшению числа активных центров конденсации и скорости роста капель. Расход пара уменьшается и пересыщение растет. Вследствие этого пересыщение в объеме камеры не может длительное время превышать S_2 . В ряде случаев процесс саморегулирования носит ясно выраженный пульсирующий характер ⁹. В чувствительном слое возникают периодические изменения плотности туманного фона. Этот эффект можно значительно уменьшить или совершенно устранить путем соответствующего изменения температурного распределения. В камерах низкого давления (когда $G_2 P_2 < 10^6$) изменения плотности туманного фона во времени носят более интенсивный характер, что, по-видимому, связано с влиянием конденсации на температурное распределение.

Оптимальное температурное распределение в камере данной конструкции может быть определено экспериментальным путем. Установленный режим будет оптимальным для различных газов, давлений и интенсивностей облучения при условии, что $G_2 P_2 \geq 10^6$ и $B = const$, где B - параметр, введенный Шаттом ⁶

$$B = \mu_0 \mathcal{D}_0^{-\frac{1}{3}} \rho^{\frac{1}{3}} (n_0 \alpha z \rho)^{\frac{4}{3}}$$

где μ_0 - кинематическая вязкость при 273° и нормальном давлении

\mathcal{D}_0 - коэффициент диффузии пара в газе при нормальном давлении и температуре 273°

n_0 - число ионов, образующихся в 1 см^3 воздуха в 1 сек. при давлении в одну атмосферу под действием облучения со средней интенсивностью - J .

α - число атомов в молекуле газа

z - атомный номер газа.

Теория Шатта не учитывает влияния нейтральных центров конденсации. Вводя соответствующую поправку Бивен¹³, получил формулу, учитывающую как нейтральные, так и заряженные центры конденсации.

$$B_{\alpha} = m \cdot \omega \cdot \rho^{-\frac{1}{3}} [n \cdot \alpha z \rho + 14,5 e^{0,116 t}]^{\frac{4}{3}}$$

где t - наивысшая температура пара в камере в градусах Цельсия (обычно температура источника пара).

Экспериментальное исследование, описанное в работах^{9,10} показало, что формулы Шатта и Бивена в тех случаях, когда при заполнении камеры другим газом (или изменении давления) изменяется режим конвективного теплообмена в объеме камеры, температурное распределение или поток пара, не соответствуют действительности. В частности результаты исследования камер с атмосферным давлением и выше ($G_2 P_2 > 10^6$) не могут быть распространены на камеры низкого давления, где $G_2 P_2 < 10^6$.

Исследование работы камер различной конструкции, наполненных воздухом при атмосферном давлении, при различных распределениях температуры описано в⁹.

При изменении температурного распределения изменяется высота чувствительного слоя h . Как видно из рис. 9 увеличение h связано с уменьшением градиента температуры. Опыт показывает, что при малых градиентах температуры в чувствительном слое, пересыщение падает и камера перестает работать при интенсивностях облучения сравнимых с естественным фоном. При увеличении высоты чувствительного слоя число центров конденсации в его нижних сечениях возрастает за счет капель, падающих сверху. Это приводит к уменьшению пересыщения в нижних сечениях чувствительной области. Вблизи дна появляется зона нечувствительности. Высота этой зоны может достигать нескольких см. Вследствие этих ограничений обычно высота чувствительного слоя в диффузионной камере не превышает 6-8 см.

При уменьшении высоты чувствительного слоя и увеличении градиента температуры ионная нагрузка, при которой камера может работать непрерывно, растет. В некоторых режимах диффузионная камера может непрерывно регистрировать излучение при фоне, превышающем в сотни раз фон космического излучения I_4 .

После прохождения заряженной частицы через чувствительный слой в нем возникает область с пересыщением меньше S_1 , имеющая форму цилиндра, диаметр которого зависит от ионизирующей способности частицы и количества пара в данном сечении. Время восстановления пересыщения после прохождения одиночной частицы равно нескольким секундам. При большом числе частиц некоторые из них пересекают

области, в которых пересыщение не успело восстановиться и образуют прерывистые следы. Если через чувствительный слой проходит пучок, состоящий из большого числа частиц, пересыщение может упасть существенно ниже величины S_1 , при этом полное время восстановления пересыщения возрастает до 10-15 сек. Чем больше число ионов одновременно образуется в чувствительном слое, тем ниже падает пересыщение и тем больше время восстановления. Время восстановления может быть сокращено путем увеличения потока пара ¹⁵.

При облучении всего объема камеры центры конденсации возникают не только в чувствительном слое, но и в вышележащих сечениях. Перемещаясь в объеме камеры и достигая верхней границы чувствительного слоя, эти центры конденсации образуют более или менее равномерный капельный фон. При большой концентрации ионов возможно падение пересыщения в чувствительном слое камеры ниже величины S_1 . Время нечувствительности зависит от природы пара. Это указывает на то, что, по-видимому, центрами конденсации являются не ионы, а заряженные капли диффундирующие в чувствительный слой из вышележащих сечений.

Заряженные центры конденсации могут быть убраны из объема камеры, расположенного выше чувствительного слоя, с помощью электрического поля, создаваемого между крышкой, служащей одним электродом, и вторым электродом, расположенным вблизи верхней границы чувствительного слоя.

При загрязнении незаряженными центрами конденсации очищение объема камеры происходит в результате переноса их в чувствительный слой с последующим падением образовавшихся капель на дно.

При очень большом числе центров, скорость их убирания ограничена потоком пара. При небольшом числе, когда расход пара на конденсацию капель меньше потока пара, время нечувствительности определяется скоростью переноса центров в чувствительный слой. Поэтому время нечувствительности сильно зависит от характера движения газа в объеме камеры и от ее конструктивных особенностей. Камера простой конфигурации с резко нелинейным температурным распределением после заполнения ее неочищенным комнатным воздухом имеет время нечувствительности порядка 2 минут. При выпрямлении кривой температурного распределения скорость конвекции уменьшается и время нечувствительности растет, достигая в ряде случаев 20 и более минут. Существенно отметить, что, если в камере нет постоянно действующих источников центров конденсации, ее объем более или менее быстро самоочищается. Эта способность диффузионной камеры отчетливо характеризует ее эксплуатационные качества и выявляет одно из основных преимуществ диффузионной камеры по сравнению с камерой Вильсона.

В диффузионной камере плотность смеси непостоянна по высоте и является функцией как температуры, так и процентного состава. В том случае, когда молекулярный вес газа меньше молекулярного веса пара, это может привести к тому, что плотность смеси будет уменьшаться по направлению сверху вниз, и в камере возникнет особый вид конвекции. Между крышкой и дном образуется система вертикальных конвекционных токов (ячеистая структура).

При больших давлениях газа, когда давление паров пренебрежимо мало по сравнению с общим давлением, изменение состава смеси в процентном отношении невелико и изменение плотности с высотой обусловлено в основном температурным фактором. Увеличение давления газа, либо уменьшение парциального давления пара способствует стабилизации газа в камере с направлением диффузии сверху вниз. Точно также действует увеличение молекулярного веса газа или уменьшение молекулярного веса пара. Известно, что камеры, наполненные водородом или гелием, работают стабильно только при общем давлении, равном нескольким атмосферам ^{I6} (температура источника пара 10-15⁰C).

При понижении температуры верхней крышки парциальное давление пара резко снижается, что позволяет работать с легкими газами при давлениях меньше атмосферного ^{I7}. Очевидно, что при этом для сохранения необходимого распределения температуры в объеме камеры следует понижать температуру дна.

Камеры с нагреваемым дном и охлаждаемой крышкой описаны в 18,19,20. Данные по исследованию работы таких камер, в частности, данные о температурном распределении в объеме камеры приведены в 9,21.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИФФУЗИОННОЙ КАМЕРЫ

Охлаждение дна камеры

Температура дна, при которой камера работает, удовлетворительно в значительной мере определяется природой пара. Обычно в диффузионной камере применяются пары метилового и этилового спирта. Для этих паров температура дна должна быть ниже -40°C .

Наиболее простым является способ охлаждения дна непосредственным контактом с CO_2 . Твердая углекислота, находящаяся в контейнере, поджимается ко дну с помощью пружины. Этот метод дает вполне удовлетворительные результаты при работе с камерами, имеющими стенки из плохо проводящих материалов. В металлических камерах поток тепла по стенкам довольно велик. Например, в камере со стальными стенками толщиной 6 мм и диаметром 430 мм при градиенте температуры $6^{\circ}\text{C}/\text{см}$ необходим поток тепла 50 кал/сек^{22} . При этом, скорость испарения твердой углекислоты достигает 1 литра/сек, что приводит в образованию теплоизолирующей прослойки газа. Это в свою очередь вызывает неравномерное охлаждение дна. Несколько лучшие результаты можно получить при охлаждении дна смесью твердой углекислоты с ацетоном 23,15 . В контейнер, приваренный ко дну, загружается охлаждающая смесь, находящаяся в контакте с нижней поверхностью дна, что обеспечивает его более равномерное охлаждение. Однако и в этом случае выделение большого количества газа, при больших потоках тепла, уменьшает общую

поверхность соприкосновения с охлаждающей смесью, что препятствует достижению низких температур.

Для охлаждения дна камеры до более низких температур, используется жидкий азот. Дно камеры охлаждается либо с помощью теплопровода, находящегося в сосуде Дьюара¹⁷, либо путем пропускания жидкого азота через змеевик, укрепленный на дне^{9,12}.

В диффузионных камерах, работающих совместно с ускорителями, обычно применяется охлаждающая система, состоящая из теплообменника (или холодильной машины) и змеевика, укрепленного непосредственно на дне камеры. Охлаждающая жидкость (обычно ацетон или спирт) с помощью насоса прогоняется через теплообменник (обычно бак, заполненный смесью твердой углекислоты с ацетоном) и затем через змеевик, укрепленный на дне камеры. Температура может регулироваться путем изменения давления паров над смесью. Это позволяет охлаждать дно камеры до температуры порядка -100°C ²². В работе²² приведены расчеты, могущие быть полезными при проектировании циркуляционной системы охлаждения камеры.

Специфические трудности возникают при охлаждении камер с прозрачным дном. Одна из таких камер описана в²⁴.

Стенки камеры

Стенки диффузионной камеры выполняют две различные функции. Во-первых, стенки являются частью оболочки, которая в случае наполнения камеры газами при различных давлениях должна быть герметична.

и достаточно прочна. Во-вторых, стенки камеры задают граничные температуры и, следовательно, существенным образом влияют на распределение температуры в объеме камеры.

Для того, чтобы в объеме камеры отсутствовали местные конвекционные токи, нарушающие ее нормальную работу, температура стенки в любом горизонтальном сечении должна быть постоянна. В камерах со стенками из прозрачных материалов, где не требуется окон для освещения, это условие легко может быть выполнено. В отличие от камер со сплошными стенками, металлические камеры должны иметь окна для освещения и впуска частиц. В таких камерах поток тепла по стенке от крышки ко дну в различных сечениях встречает на своем пути различные сопротивления. Это приводит к тому, что вертикальное распределение температуры по стенке в различных сечениях - различно. Существование горизонтальной составляющей температурного градиента приводит к возникновению конвекционных токов, которые легко обнаружить по образованию полос тумана, длительное время не меняющих своего месторасположения. В результате конвекции в объеме камеры устанавливается промежуточное температурное распределение, отличающееся от температурного распределения по стенкам.

С целью устранения разности температур в любом горизонтальном сечении камеры, можно использовать источники холода и тепла, размещая их с внешней стороны стенок. Значительно проще, однако, для задания поля температур помещать внутрь

камеры специальную оболочку ^{9,15,25}. С этой целью внутрь металлической камеры помещается цилиндр из прозрачного материала с основанием из красной меди. Температура на нижней границе цилиндра задается температурой медного диска, а на верхней - температурой медного жёлоба, содержащего испаряющуюся жидкость. С внешней стороны цилиндр омывается газом, осуществляющим перенос тепла между различными элементами камеры. Измерения, выполненные с помощью скользящей по стенке цилиндра термопары показали, что горизонтальная составляющая температурного градиента не превышает $1-2^{\circ}\text{C}$. Трудности, связанные с необходимостью выравнивания температуры по стенкам металлической камеры с окнами, могут быть в значительной степени преодолены, если освещение осуществлять через окно в верхней крышке с помощью зеркал, помещенных в объеме камеры ⁹. В этом случае окна в боковых стенках отсутствуют. Наличие окон в боковых стенках нежелательно также и по соображениям прочности. В области больших градиентов температур в сочлененных деталях, выполненных из материалов с различными коэффициентами расширения, возникают внутренние натяжения. Это особенно опасно в камерах высокого давления, где возможно возникновение течи из-за нарушения уплотнения в результате многократной деформации в процессе охлаждения и нагревания камеры. Устранение течи и разработка устройств, уменьшающих возможность ее образования в камерах с окнами, усложняют эксплуатацию прибора. ¹⁵

Источник пара

В качестве источника пара в камерах с направлением диффузии сверху вниз, обычно применяются желоба, крепящиеся к верхней крышке, в которые наливается рабочая жидкость. Вблизи крышки упругость пара уменьшается по мере удаления от желоба. Для получения вблизи верхней крышки однородного пересыщения, равного единице, в качестве источника пара можно использовать испаряющуюся с нижней поверхности жидкость, поддерживаемую при постоянной температуре ⁹. В этом случае, крышка представляет собой сосуд с газонепроницаемыми стенками и дном в виде пористой перегородки. Более простая конструкция испарителя описана ранее ²⁶. К нижней поверхности металлической крышки прикреплялась хорошо смачиваемая материя. Так как во время работы камеры происходит испарение жидкости с поверхности источника, необходимо устройство для поддержания на постоянном уровне как влажности, так и температуры источника. Источники пара в виде жёлоба обладают двумя существенными недостатками. Во-первых, они требуют периодического пополнения рабочей жидкости. В больших камерах, работающих при повышенном или пониженном давлении газа, для пополнения рабочей жидкости необходимы специальные устройства ¹⁵, что усложняет конструкцию камеры и ее эксплуатацию. Во-вторых, в случае применения в качестве источника пара смеси различных жидкостей, в процессе работы происходит изменение состава смеси, а, следовательно, и изменение условий работы камеры. Поэтому в диффузионных.

камерах, обычно применяются чистые спирты. Известно, однако, что смеси дают лучшие результаты. Если камера имеет несколько несообщающихся между собой жёлобов, то возможно, используя несколько чистых жидкостей, работать со смесью паров. Однако в этом случае недостаток, связанный с необходимостью использования специальных устройств для пополнения рабочих жидкостей, усугубляется.

В 1952 году была предложена диффузионная камера ²⁷ с непрерывно действующим источником пара, не имеющая указанных недостатков. Подача жидкости от охлаждаемого дна к нагреваемой крышке осуществляется непрерывно по капиллярным каналам, для чего стенки сосуда изнутри выложены пористым материалом. Рабочая жидкость, наливаемая на дно камеры, поднимается под действием капиллярных сил по пористым стенкам и затем, испаряясь, диффундирует в объем камеры. Этот процесс происходит непрерывно, пока поддерживается необходимая разность температур между крышкой и дном. В процессе работы состав смеси остается постоянным. Исследование структуры чувствительного слоя с помощью газового разряда ⁹, а также методом расширений ¹² в камере с непрерывно действующим источником пара ²⁸ показывает, что пересыщение в чувствительном слое мало зависит от горизонтальной координаты. Распределение парциальных давлений в объеме камеры с непрерывно действующим источником пара имеет такой же характер, как в камере с обычно применяемым источником пара в виде жёлоба.

Окна, прорезанные в пористой пластинке для освещения объема камеры, не вызывают неоднородности чувствительного слоя.

В камере с непрерывно действующим источником пара капельный фон, как правило, имеет меньшую плотность и более однороден, чем в камере с источником пара в виде жёлоба, находящегося вблизи верхней крышки. Это, по-видимому, связано с тем обстоятельством, что обычно в камерах с жёлобом температура источника пара на несколько градусов выше температуры омывающего его газа. Эта разность температур особенно велика в камерах, где осуществляется дополнительный подогрев источника пара, как, например, в ¹³. При омывании такого источника газом, поступающим из нижних сечений, возникающие центры конденсации переносятся в чувствительный слой, образуя туманный фон. В случае неравномерного нагрева крышки или стен камеры, в ее объеме возникают местные конвекционные токи, в результате чего капельный фон приобретает соответствующую структуру. Токи охлажденного газа, имеющие направление сверху вниз, попадая в чувствительный слой, образуют туманные полосы, почти не меняющие свою форму и месторасположение в течение длительного времени. В тех случаях, когда источник пара имеет более низкую температуру, чем газ вблизи верхней крышки (как, например, при непрерывно действующем источнике), это явление выражено в значительно меньшей степени.

Непрерывно действующий источник пара может применяться и в камерах больших размеров (как, например, в камере с площадью дна

60x 90 см², демонстрировавшейся на Всесоюзной промышленной выставке 1956 года).

Как уже упоминалось, при повышении температуры источника пара растет число нейтральных центров, и, следовательно, капельный фон. По-видимому, при температурах в объеме камеры превышающих 60°С получить следы ионизирующих частиц удовлетворительного качества не представляется возможным. При температурах порядка 80°С камера вообще перестает регистрировать излучение.

Освещение объема камеры

Объем камеры обычно освещается сбоку через прозрачные стенки или, если камера металлическая, через окна в стенках. В некоторых случаях освещение рабочего объема камеры осуществляется с помощью зеркал через окно в верхней крышке⁹.

Для предохранения от обмерзания или запотевания наружной поверхности окон, сделанных в боковых стенках, применяются воздушные теплоизолирующие прослойки^{29,30}. При этой температуре внешних поверхностей омываемых комнатным воздухом, обычно выше точки росы. В некоторых случаях для предотвращения конденсации внешние стенки обогреваются. Если последние занимают лишь часть боковой поверхности камеры, то это может привести к возникновению местных конвекционных токов.

Для предотвращения запотевания внешней поверхности окон в металлических камерах обычно применяются специальные кожуха,

изолирующие окна от комнатного воздуха¹⁵ . Воздух в объеме кожуха осушается. Внутри кожуха монтируется осветительная лампа с системой линз.

Световой поток, вообще говоря, взаимодействует со смесью газа и пара в объеме камеры. Это может в ряде случаев привести к увеличению капельного фона, ухудшению качества следов и уменьшению предельно-допустимой ионной нагрузки. При освещении камеры импульсными и ртутными лампами в ней могут возникнуть нейтральные центры конденсации¹⁵ . Благодаря большому времени жизни нейтральные центры способны накапливаться в объеме камеры. В результате этого процесса капельный фон в камере растет с течением времени и при длительной непрерывной работе может стать настолько большим, что регистрация ионизирующих частиц будет затруднена. В некоторых случаях нефильтованное освещение объема камеры с помощью импульсных ламп может привести к длительному нарушению ее нормальной работы и к полной потере чувствительности.

Другое действие света заключается в нагревании стен камеры, что приводит к изменению температурного распределения. При равномерном освещении объема камеры и предотвращении разогревания стен длительное непрерывное освещение от ламп накаливания не вызывает заметных нарушений ее работы. Например, камера для проекции следов ионизирующих частиц на экране работает непрерывно при световом потоке 2000 люмен²⁴ .

Особенности управления

Диффузионная камера может управляться как внешними, так и внутренними 31 счетчиками. При работе с ускорителями управление диффузионной камерой обычно осуществляется от самого ускорителя 32 . Установка частоты повторения, а также синхронизация очищающего поля камеры, пучка циклотрона, вспышки света и перевода пленки осуществляется с помощью схемы управления. Последовательность операций и характерные интервалы времени между ними приведены на рис. 10, заимствованном из цитированной работы 32 .

В диффузионной камере рост капель на ионах начинается непосредственно после прохождения частицы, в то время как в камере Вильсона между моментом прохождения частицы и моментом образования необходимого пересыщения проходит некоторый промежуток времени, в течение которого ионы диффундируют от места своего образования. Это приводит к тому, что следы частиц в диффузионной камере имеют лучшее качество, чем в управляемой от счетчиков камере Вильсона. Следует также иметь в виду, что в диффузионной камере отсутствуют искажения следов, вызываемые движением газа, связанным с процессом расширения в камере Вильсона. Сама система управления диффузионной камерой значительно проще соответствующей системы управления камерой с расширением.

Благодаря непрерывности действия можно осуществить управление диффузионной камерой с помощью фотоумножителя (ФЭУ) "просматривающего" рабочий объем. Свет, рассеянный следом частицы, попадает

в ФЭУ, на выходе последнего появляется электрический импульс, позволяющий запустить систему управления. Необходимым условием для осуществления такого управления является требование, чтобы флуктуации света, рассеянного капельным фоном, были существенно меньше светового импульса, даваемого регистрируемой частицей. Такие условия легко осуществить при регистрации ливней, образующихся частицами высокой энергии, а также сильно ионизирующих частиц, например, α -частиц. В краткой заметке ³³ сообщается о возможности управления диффузионной камерой от фотоэлемента.

Управление камеры с помощью ФЭУ может оказаться весьма перспективным, например, при регистрации широких атмосферных ливней, или событий, сопровождающихся возникновением сильно ионизирующих частиц в самом объеме диффузионной камеры.

Применение пластин в диффузионной камере

При исследовании взаимодействия частиц высокой энергии с веществом в ряде случаев желательно помещение в рабочий объем камеры поглощающих пластин. Помещение твердого тела в объем диффузионной камеры и связанное с этим изменение условий переноса тепла и вещества может существенно изменить режим работы камеры.

При постановке в объеме камеры пластин малой толщины из плохо теплопроводящих материалов ее влияние на температурное распределение в объеме камеры невелико. (Температурное распределение по пластинке будет задаваться температурным распределением в газе камеры). Аналогичные условия возникают при использовании составных пластин термически изолированных друг от друга. Например, в работе ³⁴ было показано, что изготовленный таким образом свинцовый фильтр не нарушал теплового режима камеры.

При использовании открытых пластин, выполненных из материалов с хорошей теплопроводностью, температурное распределение по пластинке необходимо задавать принудительно путем соответствующего размещения источников холода и тепла. В этом случае влияние пластинки на температурное распределение в объеме камеры существенно.

У поверхности твердого тела пересыщение не может быть больше I, поэтому вблизи пластинки, помещенной в объем камеры, возникает зона нечувствительности. Это обстоятельство является основным препятствием, ограничивающим применение диффузионных камер с пластинками.

В работе ³⁵ исследуются различные способы размещения пластин, а также факторы, влияющие на величину зоны нечувствительности вблизи пластинки.

Величина зоны нечувствительности определялась с помощью источников α и β частиц. Как показывает анализ фотографий

следа и его изображения, выполненный в работе ³⁵, зона нечувствительности вблизи плексигласовой пластинки толщиной 6 мм имеет форму, показанную на рис. II. Профиль чувствительной области можно получить, фотографируя объем камеры непосредственно после расширения или газового разряда ⁹. При этом, если объем камеры освещается узким пучком света ⁹, на фотографии отчетливо видна зона нечувствительности вблизи стен, благодаря отсутствию в ней тумана.

Величина зоны нечувствительности зависит от величины потока пара. При увеличении последнего высота чувствительного слоя растет и величина зоны нечувствительности уменьшается. Существенное влияние на величину зоны нечувствительности оказывает характер движения газа в объеме камеры. Зона нечувствительности вблизи поверхности твердого тела может быть существенно уменьшена (до 1-2 мм) при обдувании ее газом с большим содержанием пара, имеющим более высокую, чем поверхность, температуру. Такой режим легко осуществить в диффузионной камере с большой горизонтальной составляющей градиента температуры.

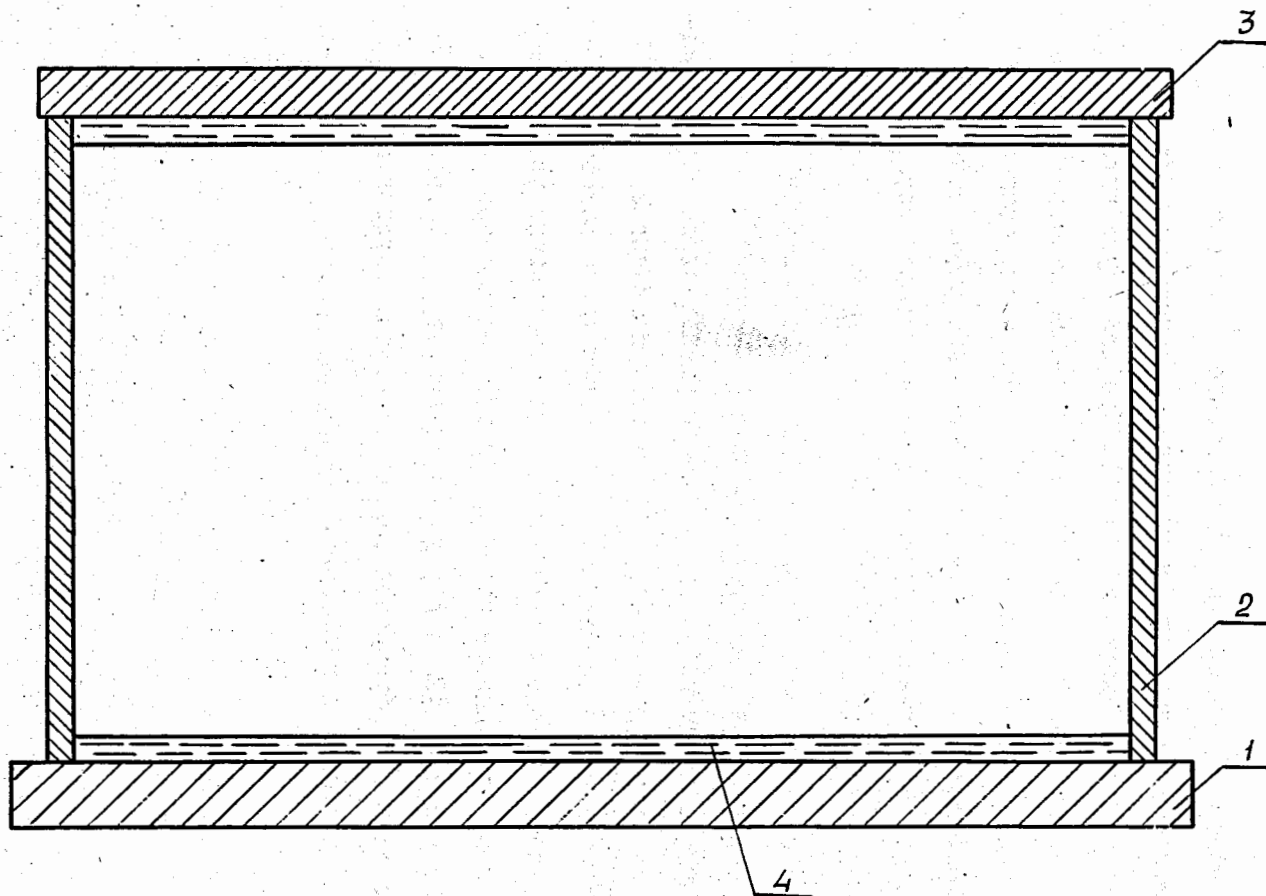


Рис. I.

Схема камеры. 1- дно, 2- стенки, 3 - крышка, 4 - рабочая жидкость.

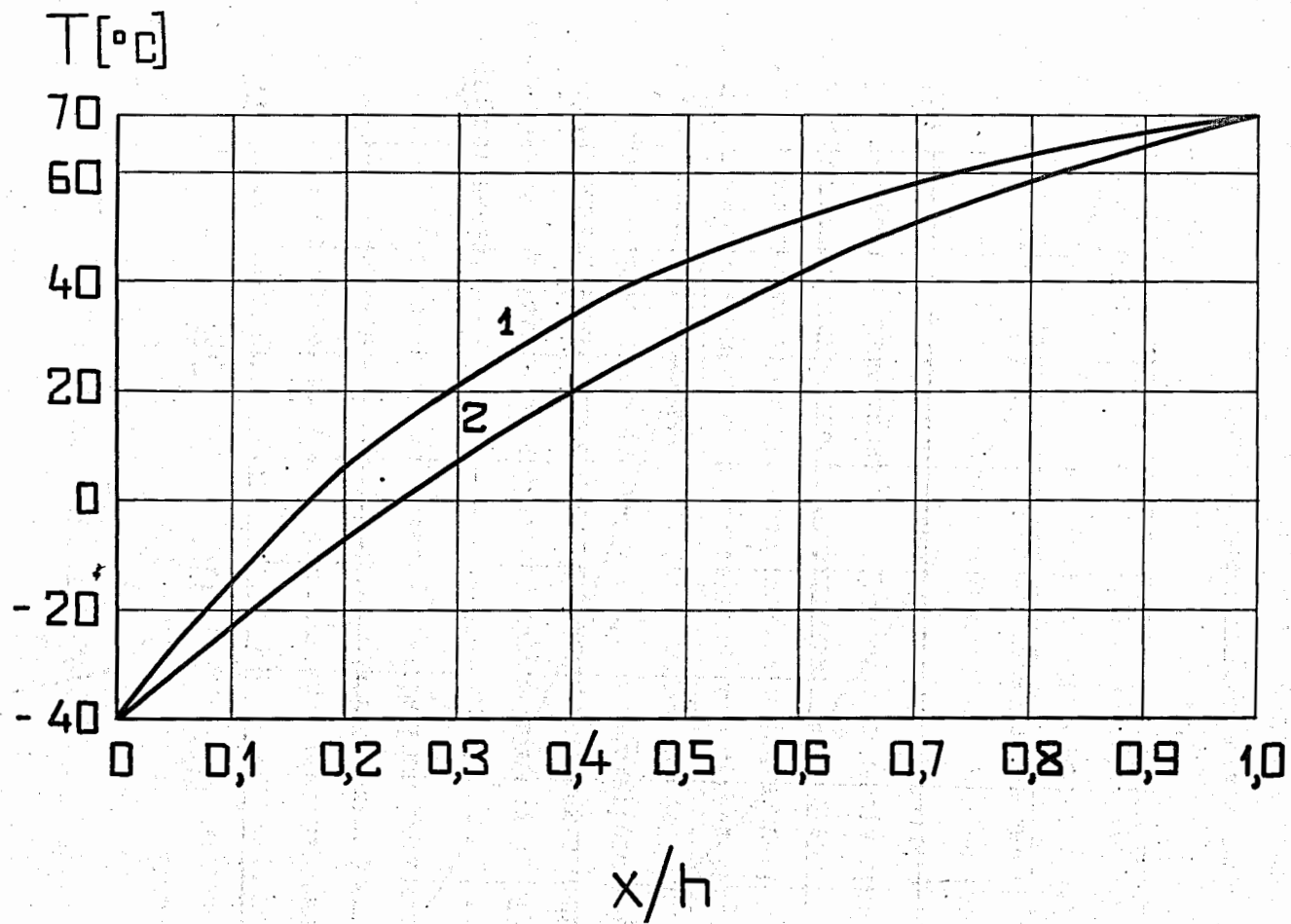


Рис. 2.

Вычисленные распределения температуры в объеме камеры без конденсации, наполненной CH_3OH и ω_2 . Кривая 1 - $6,86 \cdot 10^{-6}$ г/см² сек; кривая 2 - $2,56 \cdot 10^{-6}$ г/см² сек.

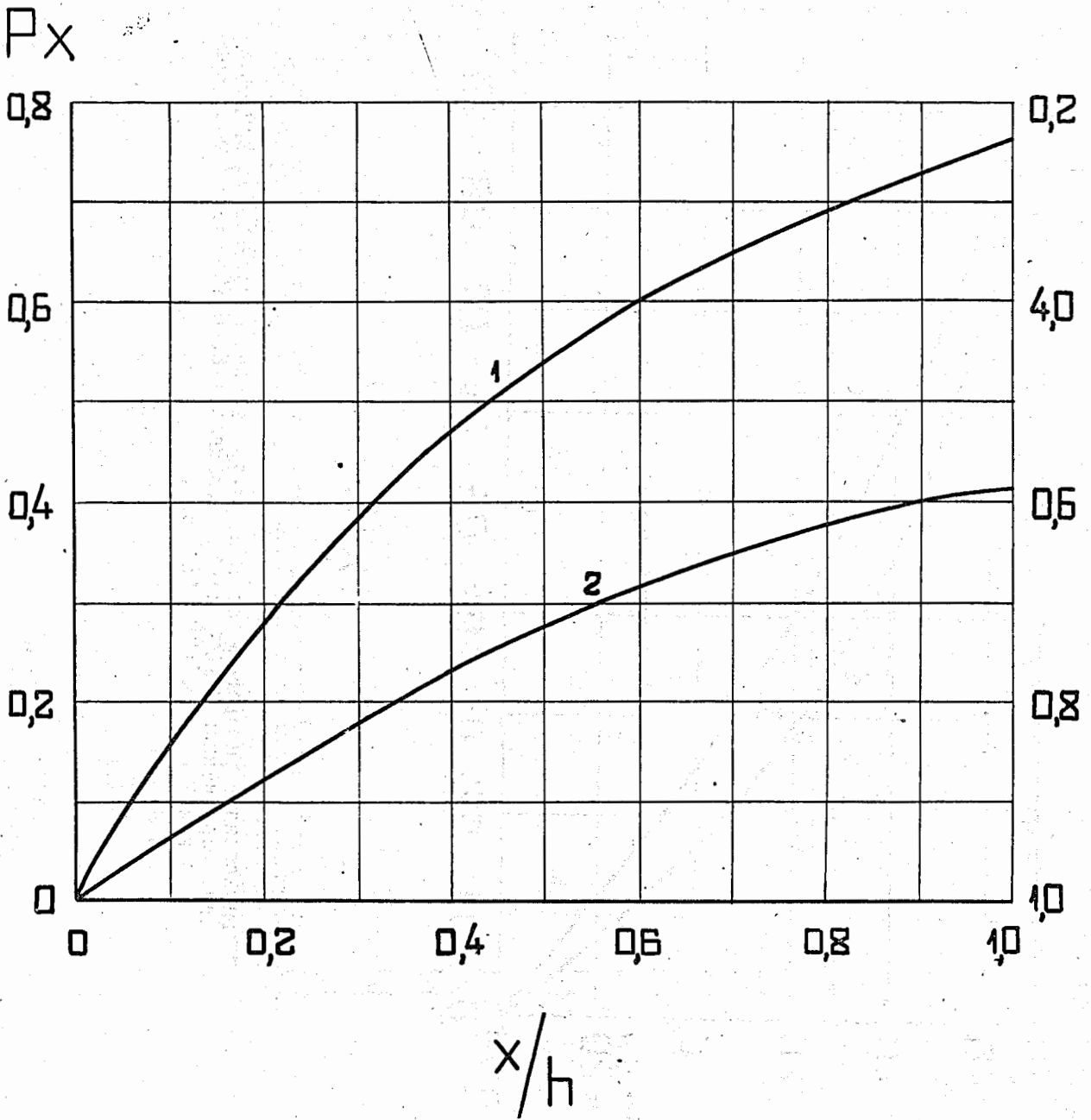


Рис. 3.

Вычисленные распределения парциальных давлений (для тех же условий, что на рис. 2).

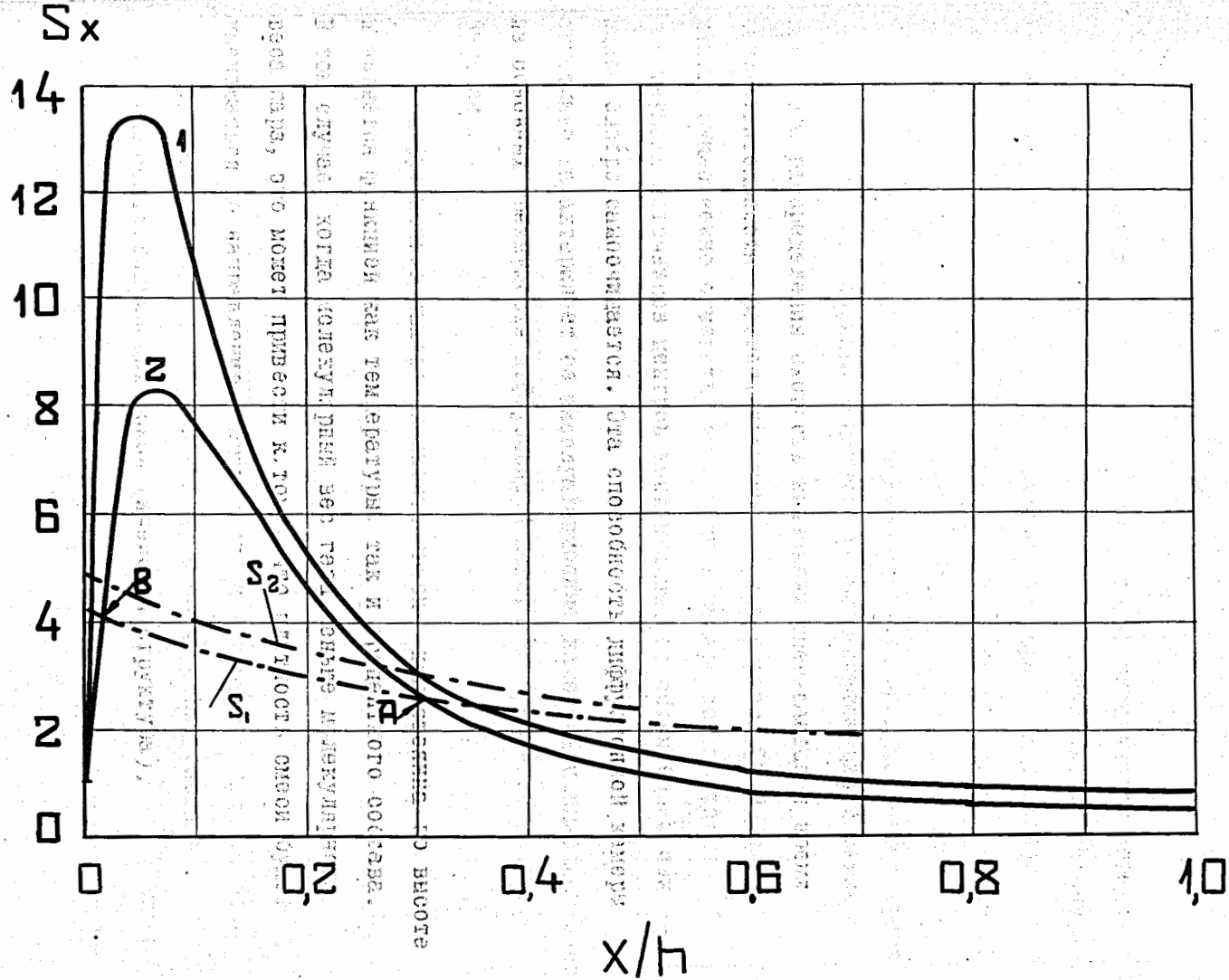


Рис. 4.

Распределение пересыщений в объеме камеры. Кривая S_1 - граница образования тумана. Кривая S_2 - граница конденсации на ионах. А и В - верхняя и нижняя граница чувствительного слоя.

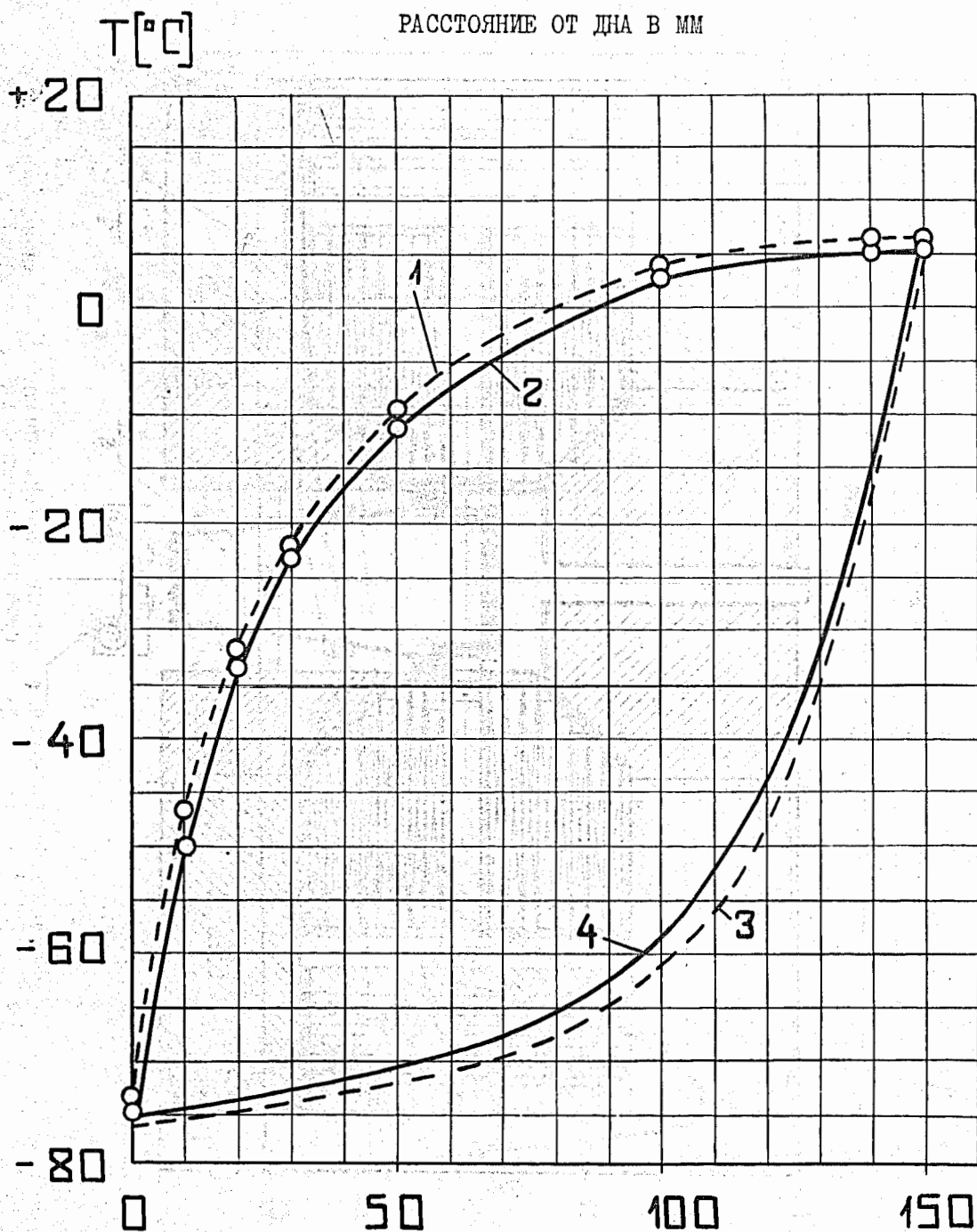


Рис. 5.

Кривые температурного распределения по стенкам (пунктирные кривые 1 и 3) и в объеме камеры (кривые 2 и 4). Кривые 1 и 2 получены в камере со стеклянными стенками, омываемыми комнатным воздухом, кривые 3 и 4 получены в той же камере при охлаждении стенок.

$T [^{\circ}C]$

РАССТОЯНИЕ ОТ СТЕНКИ В ММ

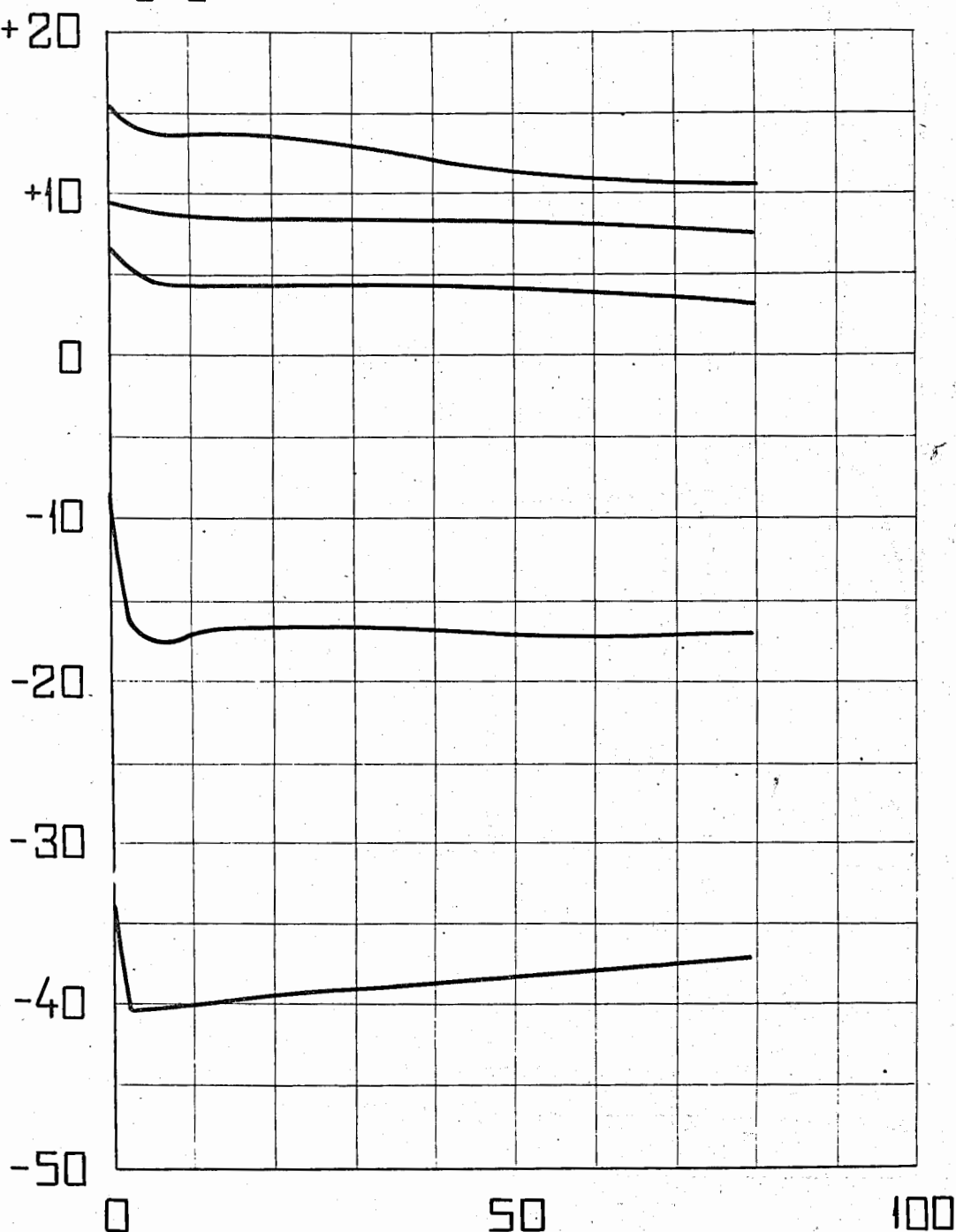


Рис. 6.

Горизонтальное распределение температуры в камере, омываемой комнатным воздухом.

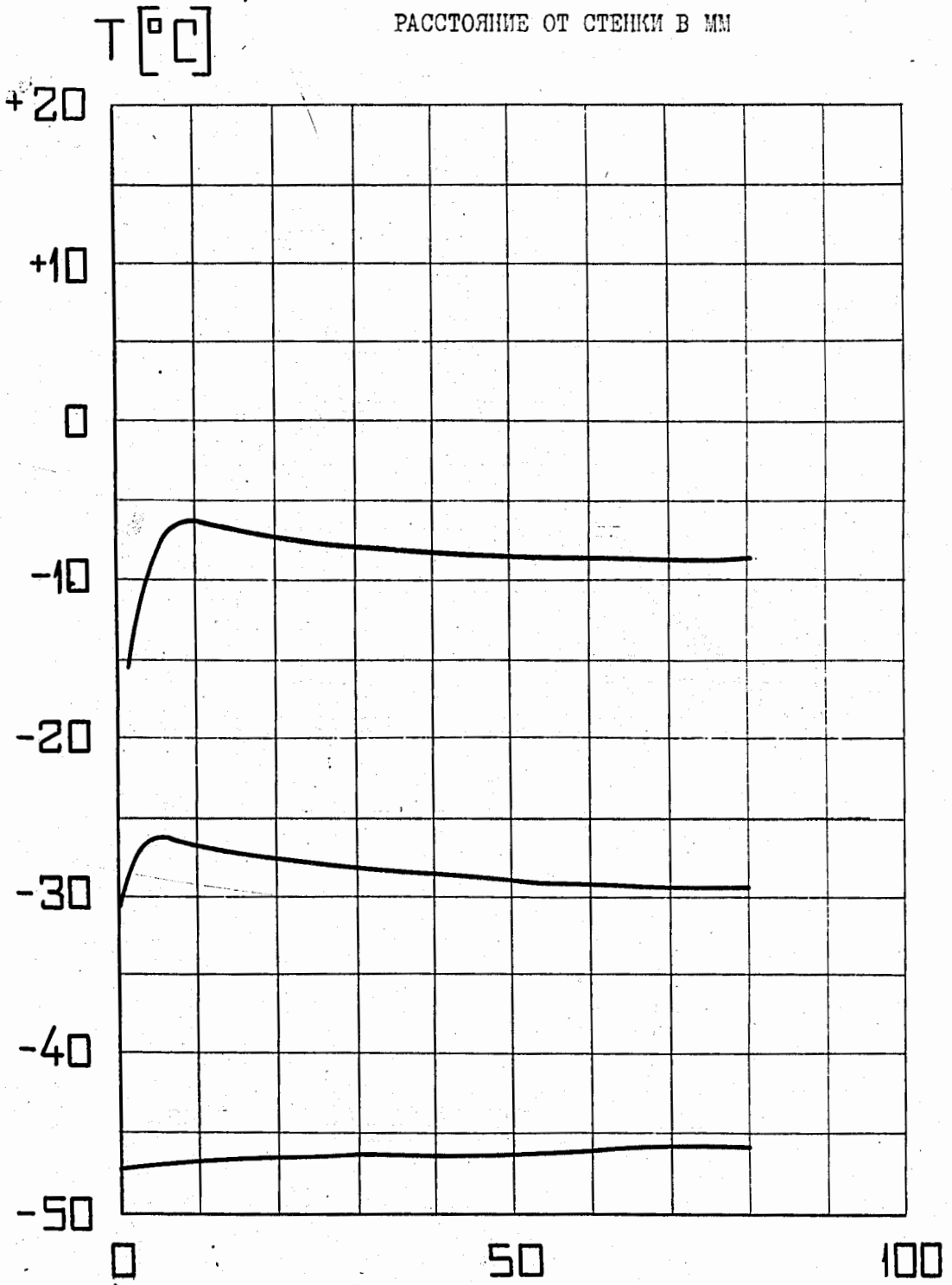


Рис. 7.

Горизонтальное распределение температуры
в камере с охлаждаемыми стенками.

РАССТОЯНИЕ ОТ ДНА В ММ

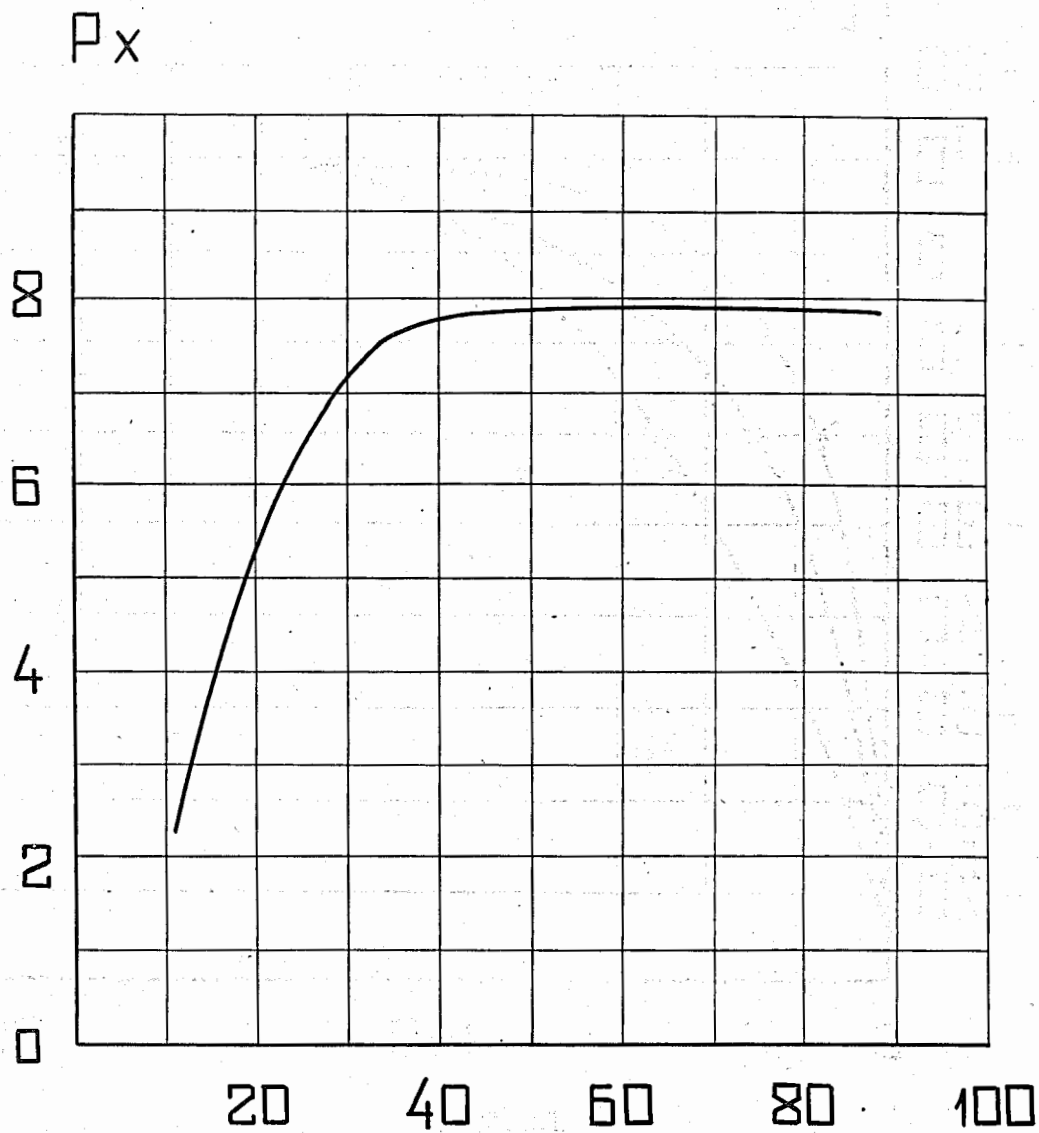


Рис. 8.

Распределение парциальных давлений в камере с нелинейным распределением температуры.

РАССТОЯНИЕ ОТ ДНА В ММ

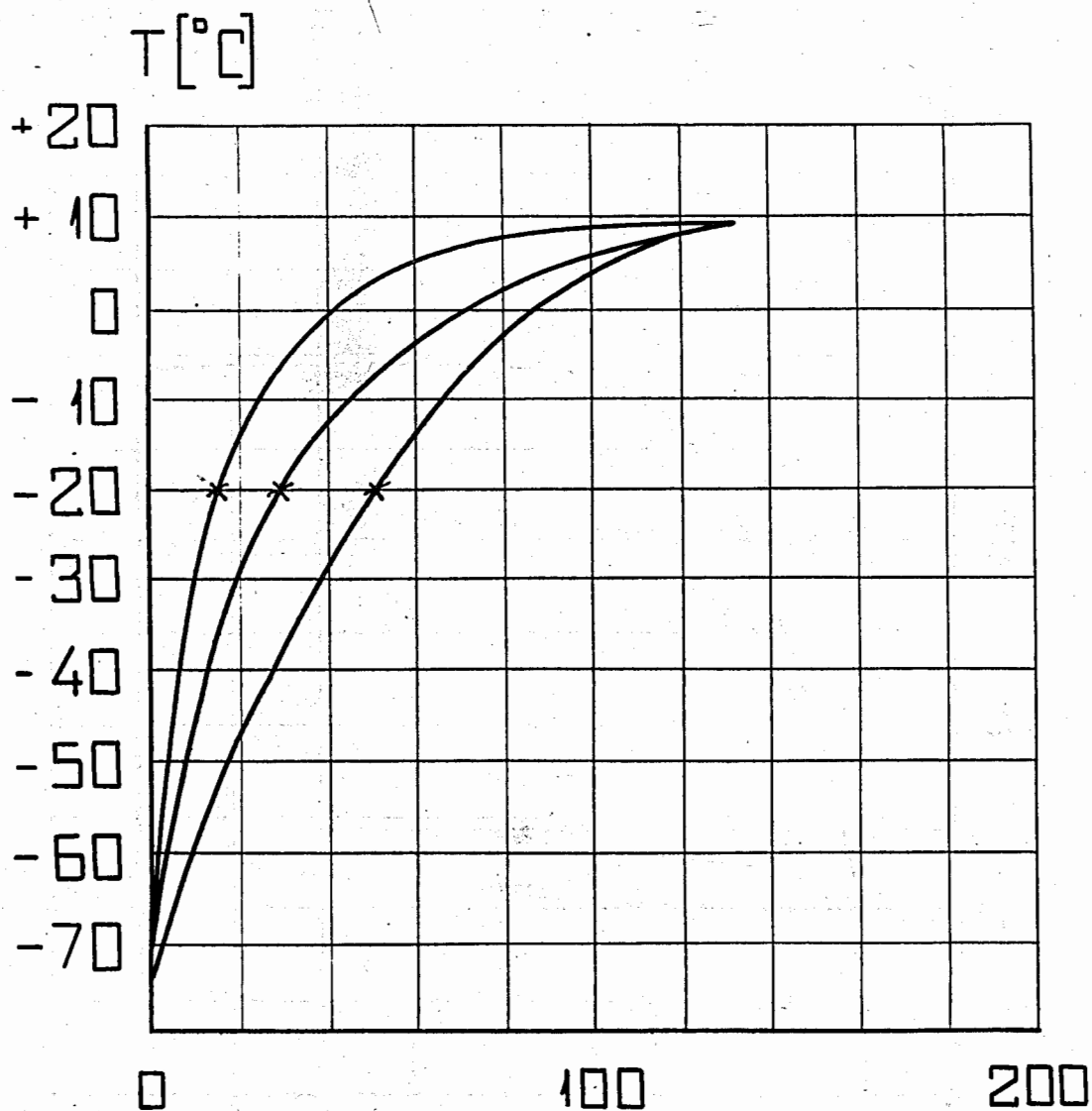


Рис.9.

Температурное распределение в объеме камеры. Звездочкой указана температура, соответствующая верхней границе чувствительного слоя.

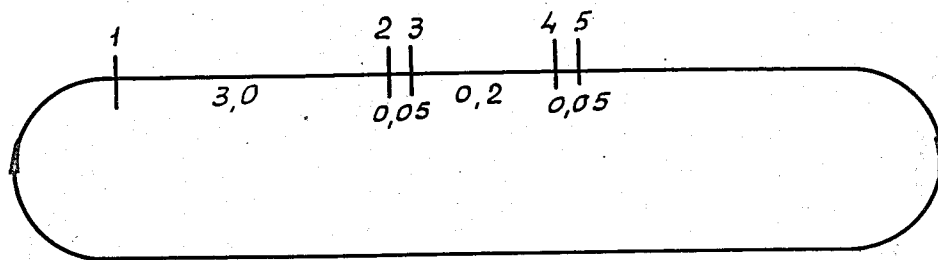


Рис. 10.

Схема рабочего цикла диффузионной камеры.
Приведены характерные времена в секундах.

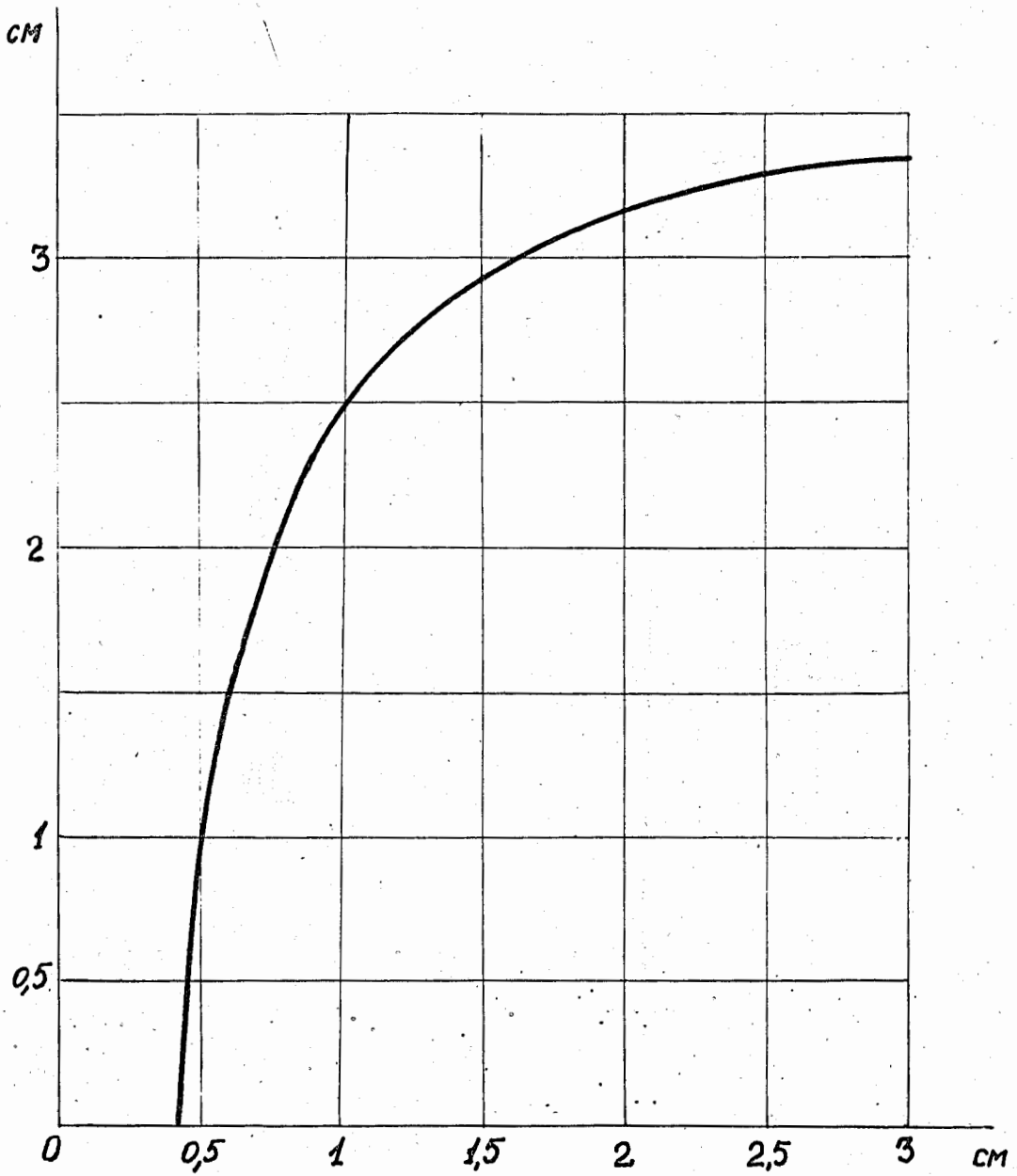


Рис. II.

Профиль чувствительного слоя вблизи пластинки,
помещенной в объем камеры.

Л и т е р а т у р а

1. R.E. Vollrath Rev. Sci. Instr. 7 409 (1936)
2. A. Langsdorf Phys. Rev., 49, 422 (1936)
3. А.Г.Амелин. Теоретические основы образования тумана в химических производствах. (1951).
4. A.Langsdorf Rev.Sci.Instr. 10,91 (1939)
5. C.Succu und G.Tagliaferri Nuovo Cimento v IX 1092 (1952)
6. R.P. Shutt. Rev. Sci. Instr. 22, 730 (1951)
7. В.К.Ляпидевский, Ю.А.Щербаков, ЖЭТФ 27,103 (1954).
8. H.L. Morrison and G.I. Plain Rev.Sci.Instr. 23(1952)
9. В.К.Ляпидевский. Диссертация МИФИ (1956).
10. В.К.Ляпидевский, О.П.Астахов, ПТЭ № I, 43 (1957).
11. В.К.Ляпидевский, В.М.Мартишин ПТЭ № I, 48 (1957).
12. В.К.Ляпидевский ЖЭТФ, 29,2 (1955).
13. A.R. Bevan J.Sci.Instr. 31,45-49 (1954)
14. В.К.Ляпидевский. Доклад на всесоюзной научно-технической конференции по применению радиоактивности и стабильных изотопов и излучению в народном хозяйстве и науке.
15. Р.М.Суляев. Диссертация МИФИ (1956).
16. D.H. Miller E.C.Fowler and R.P. Shutt Phys.Rev. 82, 317 (1951)
17. W.I. Choyke and C.E. Nielsen Rev.Sci. Instr. v23 N 6 307-309 (1952).
18. O.H. Wedle and C.E. Nielsen Phys.Rev. 81, 324 (1951)

19. C.E. Nielsen T.S. Needels and O.H. Weddle Rev.Sci. Instr. 22, 673 (1951).
20. Harteck P. und Hertz G. Naturwissenschaften 39 206-207 (1952).
21. В.К.Ляпидевский, О.П.Астахов ПТЭ № 3, 39 (1956).
22. M.H. Alston, A.V. Greve and W.H. Evans Rev.Sci. Instr. v25 N 6 547 (1954).
23. Nucleonics февраль 1951 стр.82.
24. В.К.Ляпидевский ПТЭ № 3, 103 (1957).
25. М.С.Козодаев, Р.М.Суляев, А.Филиппов, Д.А.Щербаков, ДАН 107,236 (1956).
26. E.W. Cowan Rev. Sci. Instr. 21, 991 (1950)
27. В.К.Ляпидевский. Авторское свидетельство № 1000754 (1952).
28. В.К.Ляпидевский ПТЭ № 3,40 (1956).
29. E.M. Munyon and I.D. Kurbatov RSI v23 (1952)
30. W.I. Choyke and Carl E.Nielsen R.S.I. v 23 307-309 (1952)
31. M.M. Block W.W. Brown and G.G. Slaughter Bull.Am.Phys.Soc. Jan.-Febr. (1952)
32. Fowler E.C., Fowler W.B., Shutt R.P., Thorndike A.M. and Wittemore W.L., Phys.Rev. 91 135-149 (1953)
33. D.C. Marshall D. Brown Rev. Sci.Instr. v24 N 9 881 (1953).
34. Rogozinski A.I. Phys. et radium 16 N 2 166(1955).
35. О.П.Гордеев. Дипломная работа МИФИ (1955).

Д и с к у с с и я

Ю.Д.Зернин.

Камеры каких размеров исследовались?

В.К.Ляпидевский.

Этот вопрос связан с моделированием камер. Исследование работы камер различных размеров и при различных давлениях показало, что во всех случаях, когда произведение числа Прандля и Грасгофа больше 10^6 , основную роль играет конвективный теплообмен со стенками, т.е. для камер, работающих при атмосферном давлении или для камер, работающих при давлении больше атмосферного, пересыщение в объеме камеры можно регулировать путем изменения температурного распределения по ее стенкам.

П.Ф.Ермолов.

Производилась ли оценка скорости движения газа в камере с линейным распределением температуры?

В.К.Ляпидевский.

При линейном распределении температуры скорость движения газа может быть очень мала. Но надо иметь в виду, что практически осуществить камеру, в которой не было бы движения газа, вряд ли возможно. Дело в том, что изменения условий конденсации в объеме камеры вызывает изменение скорости движения газа, потому что при конденсации выделяется довольно большое количество тепла.

В.Т.Смолянкин.

Какова наибольшая глубина чувствительного слоя?

В.К.Ляпидевский.

Описанные в литературе камеры имеют глубину чувствительного слоя не более 10-12 см. По-видимому, в хорошо работающей камере высота чувствительного слоя не должна превышать 6 см.

В отдельных случаях можно увеличить глубину чувствительного слоя, но мне кажется, что при этом вряд ли камера будет достаточно хорошо работать.

Н.А.Добротин.

Значит вы считаете, что невозможно получить глубину чувствительного слоя в камере порядка метра?

В.К.Ляпидевский.

Я ограничился сейчас только рассмотрением наиболее широко применяющихся в настоящее время диффузионных камер с охлаждаемым дном и нагреваемой крышкой. Известно, однако, что существуют различные модификацию камер, в частности, есть камеры с охлаждаемой крышкой и нагреваемым дном. Возможны и камеры, в которых создается принудительное движение газа. Я думаю, что в ряде специальных случаев можно построить камеру с вертикальным расположением чувствительного слоя, но такая камера будет существенно отличаться от обычной диффузионной камеры.

А.П.Андреев.

Вы приводили измерения распределения температуры по высоте в камерах. Какие меры принимались к тому, чтобы можно было измерить истинное распределение температуры для газопаровой смеси, а не температуры жидкости, которая могла оказаться на вашем индикаторе.

В.К.Ляпидевский.

Температурное распределение в объеме камеры измерялось многими авторами, причем Морисон и Плайн в своей работе 1952 года дали анализ возможных ошибок. Оценки, которым вполне можно доверять, показали, что влияние конденсации на показания измерительного прибора незначительно.

Есть и прямые опыты, которые показывают, что влияние конденсации не существенно. Если мы измеряем температурное распределение в камере наполненной чистым газом, то конденсация, отсутствует и влияние конденсации равно нулю. Затем измерения проводятся в камере наполненной смесью газа и пара. Опыт показывает, что температура в каждой точке объема камеры не существенно изменяется при конденсации пара, т.е. влияние конденсации пренебрежимо мало.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СПИРТА В ОБЪЕМЕ
ДИФФУЗИОННОЙ КАМЕРЫ

М.В.Стабников, Г.В.Стульников

(Ленинградский физико-технический институт АН СССР)

В качестве источников пара для диффузионной камеры используются разнообразные рабочие жидкости. Решение ряда задач с помощью диффузионной камеры затрудняется отсутствием данных о содержании рабочей жидкости в чувствительном слое диффузионной камеры.

Имеющиеся работы не решают этого вопроса. В настоящей заметке описываются результаты измерений содержания метилового спирта в объеме камеры как в области выше чувствительного слоя, так и в чувствительном слое.

Для исследования использовалась диффузионная камера, изображенная на рис. I.

Устройство камеры ясно из чертежа. Диаметр камеры был равен 380 мм. Охлаждение дна осуществлялось путем прокачивания паров жидкого азота через спираль, профрезерованную в латунном дне камеры. Подогрев верха производился электрическим нагревателем, расположенным на крышке камеры. Система регулирования поддерживала постоянную температуру верха с точностью до $0,3^{\circ}\text{C}$ и дна камеры с точностью до 1°C . Камера работала с воздушным наполнением на

метиловом спирте при общем давлении равном атмосферному.

Измерения производились на работающей камере с высотой чувствительного слоя около 60 мм. Температурное распределение в камере дано на рис.2.

Измерение содержания спирта производилось отдельно в верхней части диффузионной камеры, где пересыщение меньше единицы и в нижней части, где пересыщение больше единицы.

Для измерения в верхней части использовался "психрометрический" способ определения содержания рабочей жидкости с помощью конденсационной камеры. Конструкция конденсационной камеры изображена на рис.3.

Через пробник, находящийся внутри камеры, в верхней ее части, смесь воздуха со спиртом медленно просасывалась через объем конденсационной камеры. Температура конденсационной камеры постепенно понижалась путем прокачивания через кожух охлаждающей жидкости (ацетон). При достижении конденсационной камерой температуры, при которой пары метилового спирта в конденсационной камере оказываются насыщенными, серебряное зеркало, помещенное внутри конденсационной камеры, запотеваает, что легко обнаружить, наблюдая отражение света от него. Зная температуру "точки росы" и температуру смеси газа и пара на уровне пробника в диффузионной камере, можно определить содержание спирта в месте нахождения пробника. Так как пробник мог перемещаться в верхней части камеры, то измерения таким способом были произведены вплоть до уровня, где пары оказались

насыщенными $S = 1$. (S - коэффициент пересыщения в данном месте камеры). В области, где пересыщение $S > 1$ этот способ определения количества спирта оказался непригодным.

Для контроля полученных данных из верхней части камеры было изъято некоторое количество смеси газа и паров спирта, пары были выморожены и количество их определено взвешиванием. Полученные данные совпали с результатами психрометрических измерений.

Анализ возможных ошибок, а также измерения содержания спирта с помощью конденсационной камеры в объеме, где его количество было известно заранее, показали, что точность психрометрического метода - три процента.

Измерение содержания спирта в чувствительном слое производилось нефелометрическим способом. Схема устройства показана на рис. I.

Через специальный коллиматор, чувствительный к излучению, объем диффузионной камеры облучался мощным пучком β - лучей от препарата S_2^{80} , что приводило к конденсации пересыщенного пара и образованию тумана. После того, как туман достаточно развился, но не начал еще оседать, он освещался через боковое стекло лентообразным пучком света от импульсной лампы ИПК-400 и производилось фотографирование тумана в рассеянном свете. Полученный снимок фотометрировался на микрофотометре и строилась зависимость

$$D = f(h)$$

где D - оптическая плотность почернения пленки,
 h - высота над дном камеры. При увеличении интервала времени
между подсветкой β - пучком и фотографированием сверх 0,4 сек.

$D = f(h)$ остается неизменной. Известно соотношение:

$$D = A \lg H, \quad \text{где } H = I \cdot t$$

A - пост. для данного фотоматериала

I - интенсивность падающего света

t - время экспозиции при фотографировании.

Так как при фотографировании t для всего кадра одинаково,

то $D = A + A \lg I$

Отсюда $I = B \cdot 10^{D/A}$,

$$B = 10^{-\frac{A'}{A}} \text{ (постоянная)}$$

Для света, рассеянного туманом, верно соотношение полученное

Тольменом $I = K \frac{c}{d}$

K - постоянная

c - плотность тумана (весовая концентрация)

d - диаметр капель тумана.

Тогда: $\frac{Kc}{d} = B \cdot 10^{D/A}$

Полагаем, что $d = \sqrt[3]{\frac{c}{n} \frac{2\gamma}{4\pi E}} = K_1 \sqrt[3]{c}$

где E - плотность спирта

n - число центров конденсации в 1 см^3 ,

т.е. число капель в I см³ - считаем постоянным, тогда

$$\frac{Kc}{K\sqrt{c}} = B^{2/A}$$
$$C = B_1 \cdot 10^{3/2} \cdot 2/A$$

где B_1 - постоянная.

Эта формула дает распределение плотности пересыщенного материала по высоте в диффузионной камере. Необходимо, однако, найти две постоянные: "А" и "В".

"А" определяется для нашей пленки из зависимости $D = A \lg H$; и равно 0,647.

Для определения "С" необходимо знать значение $c(h)$ и соответственно $D(h)$ на той же высоте.

Величина $c(h)$ определялась следующим образом. При работе диффузионной камеры в чувствительном слое четко видна граница спонтанного образования капель на нейтральных центрах. Пересыщение на этой границе измерено в работе Франка и Герца.

Зная температуру газа и пара на этой высоте и пересыщение, можно определить $c(h)$ - количество пересыщенного материала в данном месте. Так как $D(h)$ нам на данной высоте также известно, то мы можем получить значение постоянной "В".

В чувствительном слое нам известно количество материала, находящегося в насыщенном состоянии (рис.4, кривая I); мы можем найти количество материала, находящегося там же в пересыщенном состоянии и в виде капель, зная ход $D(h)$

Таким образом мы можем найти общее количество материала в чувствительном слое на разной высоте от дна (рис.4, кривая П). Кривая содержания материала в нижней части камеры служит продолжением кривой содержания материала в верхней части.

Была произведена оценка возможной ошибки при использовании нефелометрической методики.

Анализ показал, что вероятная ошибка не превысит $\pm 15\%$.

Был произведен контроль полученных данных путем непосредственного определения содержания спирта в чувствительном слое. Для анализа из чувствительного слоя были взяты пробы смеси, спирт из них был поглощен водой, а затем количество его было определено калориметрическим способом. В пределах ошибки данные двух способов совпали.

Точность измерения содержания спирта путем непосредственного отбора и последующего калориметрического анализа равна $\pm 14\%$.

Нефелометрическим способом было оценено количество метилового спирта, находящегося в чувствительном слое в виде капель.

Для этого чувствительный слой диффузионной камеры фотографировался описанным способом без подсветки β -пучком, а затем с подсветкой. Сравнивая полученные таким образом данные, можно определить содержание капель на разных высотах от дна в диффузионной камере. Это количество составляет значительно меньше 12% от общего содержания спирта в чувствительном слое. Наибольшее число капель находится в нижней части чувствительного слоя.

Из полученных данных было установлено, что наибольшее число молекул спирта в верхней части чувствительного слоя составляет приблизительно 8 % от общего числа молекул.

По полученным данным была построена кривая распределения пересыщения в работающей диффузионной камере (рис.5).

При построении этой кривой были учтены капли, находящиеся в чувствительном слое.

На этом же графике нанесена кривая зависимости критического пересыщения от температуры, полученная в работе Франка и Герца. Из графика видно, что в чувствительном слое камеры на высоте ниже 5 см от дна пересыщение может превысить критическое.

В итоге проделанной работы разработана методика для измерения количества рабочей жидкости при $S < I$ и $S > I$. Приведена оценка точности предлагаемой методики, определено содержание метилового спирта на разных высотах от дна в диффузионной камере. Показано, что наибольшее количество молекул спирта составляет около 8% от общего числа молекул в чувствительном слое при данном режиме. Оценено количество рабочей жидкости, находящейся в чувствительном слое в виде мелких капель.

Отмечена возможность существования в диффузионной камере паров метилового спирта при пересыщении несколько большем критического.

В заключение авторы выражают благодарность А.П.Комару за советы и внимание, С.Е.Бреслеру за интерес к работе и С.П.Мельникову за помощь в наладке установки.

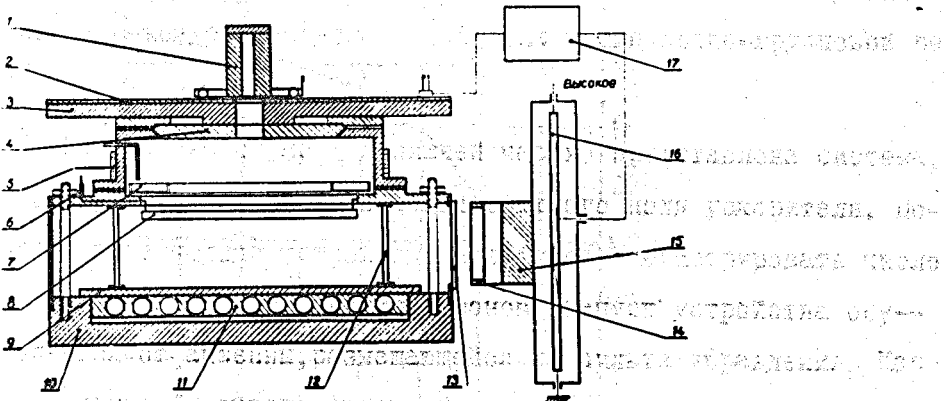


Рис. I. Схема диффузионной камеры.

- I - подвижный контейнер с препаратом S_2^{30}
- 2,3-плита коллиматора
- 4 - верхнее стекло камеры
- 5 - электрический нагреватель
- 6 - высоковольтный ввод
- 7 - лоток для рабочей жидкости
- 8 - кольцо очищающего поля
- 9, II - дно камеры
- I0 - текстолитовый кожух дна
- I2 - боковые стеклянные стенки камеры
- I3 - стекло влагоизоляционного кожуха
- I4, I5 - коллиматор
- I6 - импульсная лампа типа ИПК-400
- I7 - высоковольтный выпрямитель

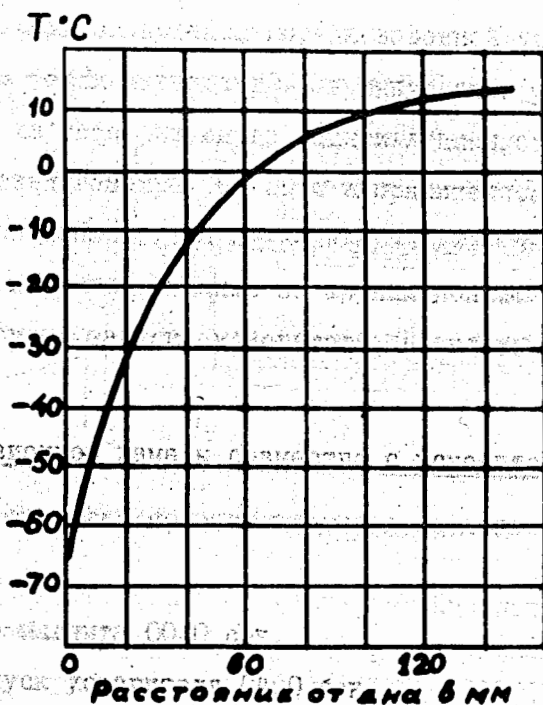


Рис. 2. Кривая распределения температуры в диффузионной камере.

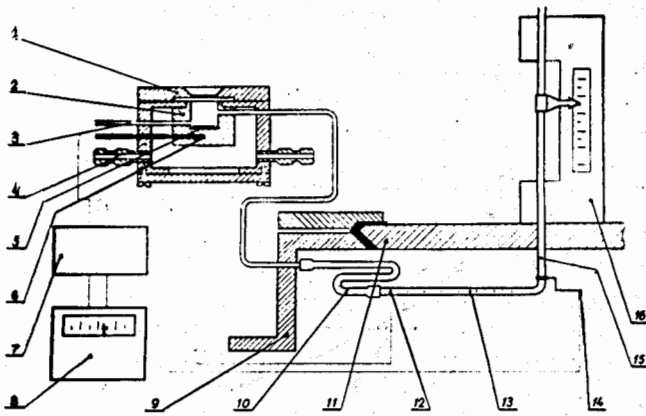


Рис.3. Схема конденсационной камеры.
Диаметр камеры 80 мм.

- I - крышка конденсационной камеры с отверстием для наблюдения
- 2 - конденсационная камера
- 3 - трубка для отсасывания пробы
- 4 - вводы для охлаждающей смеси
- 5 - серебряная полированная пластинка
- 6 - канал для ввода термопары
- 7 - мост типа ППТВ для измерения термоэлектродвижущей силы медно-константановых термопар
- 8 - гальванометр
- 9 - верхняя крышка диффузионной камеры
- 10 - гибкий шланг
- 11 - верхнее стекло диффузионной камеры
- 12, 14 - термопары
- 13, 15 - пробник и держатель
- 16 - стойка со шкалой

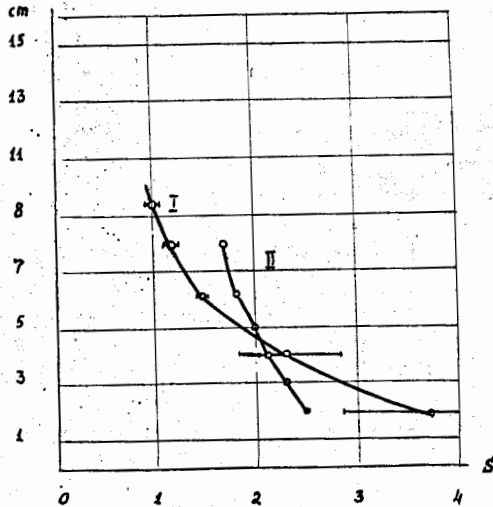


Рис. 4. - Кривая содержания метилового спирта на разной высоте от дна в диффузионной камере.

I - зависимость $Q = f(T/h)$

Q - количество спирта на данной высоте, соответствующее пересыщению $S = 1$

T - температура на данной высоте от дна в диффузионной камере.

II - распределение количества спирта по высоте в диффузионной камере. Верхняя ее часть (выше пунктира) получена психрометрическим способом, а нижняя (ниже пунктира) - нефелометрическим способом.

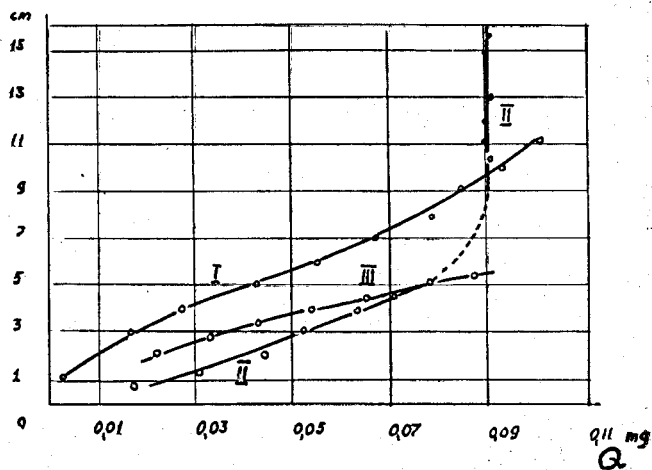


Рис. 5 .

- I. Зависимость пересыщения от расстояния до дна в диффузионной камере.
- II. Зависимость критического пересыщения от расстояния до дна в диффузионной камере.

Д И С К У С С И Я

А.Н.Горбунов.

Каково соотношение между количеством спирта и газа в чувствительном слое?

М.В.Стабников.

Количество спирта в чувствительном слое неодинаково. Цифры можно получить из графика рис.4.

Ю.А.Цербаков.

Каким соотношением между числом капель различного диаметра Вы пользовались?

М.В.Стабников.

Мы считаем, что на одной и той же высоте диаметр капель одинаков и определяется плотностью спирта на данной высоте. Плотность же капель по всей высоте постоянна.

В.К.Ляпидевский.

Как оценивалось общее количество спирта, содержащееся в фоновых каплях?

М.В.Стабников.

Это делалось путем сравнения распределений почернений по высоте, полученных в условиях облучения камеры β -частицами и без облучения. Я хочу подчеркнуть, что приводимые цифры носят одиночный характер. Сейчас эти опыты продолжаются и через некоторое время можно будет дать точное распределение капель по чувствительному слою.

В.К.Ляпидевский.

По данным Стабникова пересыщение в чувствительном слое камеры существенно больше критического, т.е. больше пересыщения, при котором начинается спонтанный рост на незаряженных центрах.

Эти данные противоречат мнению, высказываемому в частности Д.Вильсоном, что в объеме диффузионной камеры пересыщение не может значительно превышать пересыщение, при котором начинается рост капель на заряженных центрах. Действительно, в процессе конденсации и роста капель должно наступить какое-то равновесное состояние двухфазной системы, причем пересыщение, по-видимому, не должно превышать границы образования тумана. В ряде случаев, в частности, при низких давлениях газа в камере, возможен нестабильный режим, когда имеют место периодические колебания величины и плотности капельного фона.

При определении величины пересыщения в чувствительном слое описанным методом возможны большие ошибки при определении средней температуры отбираемой пробы смеси газа и пара, а, следовательно, и ошибки в оценке величины пересыщения.

Если пересыщение в камере может быть длительное время, значительно больше критического, то путем увеличения потока пара или соответствующего изменения температурного распределения можно увеличить предельную полную нагрузку, при которой камера может работать без существенного увеличения капельного фона. В противном случае увеличение потока пара (или соответствующее изменение температурного распределения) должно привести к увеличению капельного фона в объеме камеры.

М.В.Стабников.

Я не согласен с В.К.Ляпидевским. Пересыщение в чувствительном слое может превышать критическое, т.е. такое, при котором образуется один незаряженный центр в 1 см^3 в одну секунду. Если образуется не один, а два центра, то пересыщение больше критического. Вблизи дна камеры образуется не 1-2, а десятки центров конденсации. Значит в нижних сечениях чувствительного слоя пересыщение еще больше.

Ляпидевский предполагает, что имеет место некоторое равновесное состояние двух фаз. Причем пересыщение не может быть больше величины, при которой образуется сплошной туман. По-моему, это не верно. Пересыщение может превысить критическое, если мало центров. Известно, что капля, на которой конденсируется пар нагревается. Поэтому скорость роста капли замедляется. Возможно благодаря этому эффекту пересыщение может превысить критическое.

По-видимому, имеется определенная разница между критическим пересыщением в камере Вильсона и критическим пересыщением в диффузионной камере. В камере Вильсона происходит встряска, газа и образование сплошного тумана. В диффузионной камере как пересыщение так и число центров конденсации растет постепенно.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИН НА ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ
СЛОЙ ДИФФУЗИОННОЙ КАМЕРЫ

А.П.Комар, М.В.Стабников

(Ленинградский физико-технический институт АН СССР)

За последние несколько лет диффузионная камера прочно вошла в обиход физических лабораторий. Интенсивное изучение этой камеры позволило превратить камеру в надежный физический прибор.

Хорошо известно, что при изучении различных превращений заряженных частиц и ядерных реакций в обычные камеры вводятся перегородки и пластины из различных материалов. При введении пластин в диффузионную камеру чувствительный объем сильно деформируется, появляются области нечувствительности, отдельные части треков частиц становятся незаметными или же сильно искажаются. Использование камеры становится невозможным. Из литературы нам известна одна попытка введения пластин в диффузионную камеру (Рогозинский), однако эту попытку нельзя считать удачной.

Мы поставили перед собой задачу: разработать такие способы введения пластин в камеру, которые не приводили бы к нарушению нормального процесса образования треков частиц.

Особое внимание было обращено на разработку способов введения пластин в камеру для случая облучения объема камеры пульсирующими излучениями ускорителей. Результаты работ в этом

направлении опубликованы. Пластинка-мишень вводилась в диффузионную камеру периодически. Работа ускорителя была синхронизована с работой механизма, опускающего пластинку-мишень.

Однако указанным способом невозможно вводить толстые пластинки, не вызывая при этом серьезные искажения чувствительного слоя. Вводить толстые пластинки мы пытались иным способом.

Для решения поставленной задачи было проделано значительное число экспериментов. Часть их результатов приводится в данной работе.

Нами разработан простой и удобный способ визуального и фотографического наблюдения локального измерения состояния пересыщенных паров в диффузионной камере. Облучая объем камеры пучком β -частиц препарата S_2^{90} , мы вызываем практически сплошной туман в камере, густота которого определяется только условиями конденсации, т.е. числом центров конденсации и величиной пересыщения пара в данном участке объема камеры. Фотографируя картину рассеяния света на этом тумане, мы можем качественно (а иногда и количественно) проследить за самыми незначительными изменениями условий локальной конденсации рабочего пара и определить границы чувствительного объема камеры.

На рис. I показан схематический чертеж диффузионной камеры, с помощью которой были получены все приведенные в данной статье результаты. Конструкция этой камеры подобна ранее описанной. На этом рисунке показана схема приспособления для облучения камеры β -излучением.

Освещение объема камеры видимым светом для фотографирования осуществлялось импульсной лампой ИИК-400, а фотографирование производилось по направлению нормали к плоскости чертежа.

Диффузионная камера работала на метиловом спирте с воздушным наполнением. Общее давление было равно атмосферному.

На рис.2 приведена фотография чувствительного слоя в камере после подсветки β - пучком. Пластины в камере не было. Высота чувствительного слоя 5,5 см.

При введении внутрь диффузионной камеры пластины из того или иного материала, на ней начинается конденсация пересыщенных паров.

Так как по поверхности введенной пластины устанавливается температурное распределение, в общем случае отличное от такового в окружающем газе, то в рабочем объеме возникают конвективные потоки. Если они будут достаточно сильными, то чувствительный слой может быть полностью разрушен.

Для введения пластины внутрь диффузионной камеры без нарушения чувствительного слоя необходимо иметь температурное распределение на пластине, несущественно отличающееся от распределения в газе. Это нужно для того, чтобы не возникли сильные конвективные потоки. Помимо этого необходимо предотвратить конденсацию на пластине, или ослабить ее влияние.

Для исследований влияния поверхностных покрытий пластин на конденсацию использовался текстолитовый брусок (8x70x70 мм),

установленный на дно в центре нашей диффузионной камеры. Измерения показали, что по пластине такого размера в нашей диффузионной камере устанавливалось такое же температурное распределение, как и в прилегающем слое газа.

Покрытие поверхностей пластин было разнообразное, однако характер нарушения чувствительного слоя (рис.3) оставался почти постоянным. Поверхностные загрязнения и заряды не позволили избавиться от конденсации на поверхности введенных пластин. Было рассмотрено изменение нечувствительного зазора при изменении давления от 0,1 до 4 атмосфер, а также влияние увеличения градиента температуры в окружающем текстолитовую пластину газе. В обоих случаях нечувствительный зазор уменьшался.

Металлические пластины, помещенные внутрь камеры, приводят к образованию мощных конвективных потоков, которые выводят камеру из режима.

На рис.4 показана алюминиевая пластина в чувствительном слое. Снимок сделан без подсветки β - пучком. Видно множество мелких капель в конвективном потоке вдоль пластины. Фотографирование с подсветкой β -пучком показало, что чувствительный слой полностью отсутствует.

Было обнаружено, что чувствительный слой подходит вплотную к пластине, изготовленной из льда. Если на свинцовую пластину надеть металлический чехол и изолировать его от пластины, то слой в своей верхней части приблизится к пластине; однако в нижней части, у дна, конвективный поток заставлял чувствительный слой

отступать от пластины на 2-2,5 см. Нечто подобное получается, если использовать свинцовую пластину с горизонтальным разрезом, как это предложено в работе Рогозинского (см.рис.5а и рис.5б).

Были получены температурные распределения для ледяной пластины рис.6а и для пластины с разрезом рис.6б.

Очевидно, что характер распределений температуры одинаков.

При таких распределениях температуры должны существовать конвективные потоки. Характер потоков был изучен путем фотографирования мелких взвесей в конвективном потоке газа в районе пластины. Были исследованы потоки около пластин, температурные распределения по которым могли задаваться специальными подогревателями в пластине, и был выяснен характер желательного конвективного потока в районе пластины.

Для создания вдоль пластины нужного перемешивания газа и вместе с тем предотвращения мощного конвективного потока вдоль пластины оказалось наиболее целесообразно использовать пластину, изображенную на рис.5в.

На рис.7 дано распределение чувствительного слоя в районе такой пластины.

Видно, что нечувствительный зазор мал.

В нижней части чувствительного слоя, у дна, конвективный поток не заметен.

В итоге проделанной работы установлены причины, вызывающие нарушение чувствительного слоя при введении в диффузионную камеру пластин. Испытаны разнообразные покрытия пластин с целью предотвращения конденсации. Исследованы распределения температур в районе пластин и возмущающие конвективные потоки.

Показано, что пластина из льда (15x70x70мм) не вызывает нарушений чувствительного слоя.

Предложен способ введения в диффузионную камеру толстых металлических пластин также без нарушения чувствительного слоя.

В заключение авторы благодарят В.Н.Дынькова за предложение конструкций нескольких приборов и Д.Л.Яшина за помощь в работе.

Д и с к у с с и я

В.К.Ляпидевский.

В Московском инженерно-физическом институте также проводились работы по исследованию возможности введения пластин в чувствительный объем диффузионной камеры. Следует различать два случая введения пластины: I - пластина выполнена из материала с плохой теплопроводностью. В этом случае установка пластины не изменяет существенно режима работы камеры. Величина зоны нечувствительности вблизи пластины невелика. В нижних сечениях - 2-3 мм, несколько выше там, где развиваются конвективные токи, она доходит до 8 мм. Такой режим можно осуществить и при установке металлической пластины, если температурное распределение по ней будет мало отличаться от температурного распределения по стенкам камеры.

Для точного определения величины зоны нечувствительности вблизи пластины целесообразно пользоваться стереофотографиями следов частиц, проходящих на разной высоте через пластину. Однако при этом

существование зоны нечувствительности является неустранимым дефектом при введении пластин, поскольку введение их в зону пересыщения неизбежно вызовет конденсацию, причем материал пластины не играет существенной роли.

Идея другого способа введения пластин основана на использовании конвекционных токов, возникающих за счет того, что температурное распределение по пластине сильно отличается от распределения температур по стенкам камеры. При обдувании поверхности с низкой температурой зона нечувствительности может уменьшаться до величины порядка 0,5 мм.

Нами исследовались камеры с очень большой скоростью движения газа. Было установлено, что величина зоны нечувствительности вблизи пластин, около которых газ быстро движется, составляет доли миллиметра.

М.В.Стабников.

Я сомневаюсь в возможности получения вблизи пластины из одинакового со стенками камеры материала зоны нечувствительности в несколько миллиметров. Оценки этой зоны по фотографиям следов частиц, проходящих через пластину, могут оказаться ошибочными.

В связи со способом введения металлических пластин в объем диффузионной камеры, о котором говорил В.К.Ляпидевский, я хотел бы сказать об идее Духина и Дерягина, работающих в Одессе. Стенки камеры они предлагают сделать из отдельных витков, имеющих разную температуру. Через камеру проходит поток газа и пара.

При перемешивании этой смеси в районе стенок образуется некоторое устойчивое пересыщение, которое распространяется на всю камеру.

Такое пересыщение нам представляется возможным; работы в этом направлении ведутся. Если камера будет с перфорированными стенками, аналогично пластинам, о которых я говорил, и будет определенная система подсветки, то можно будет построить камеру с большой высотой чувствительного слоя в вертикальном направлении. Такая камера должна представлять интерес для космиков. Мы сейчас пытаемся сделать эту камеру.

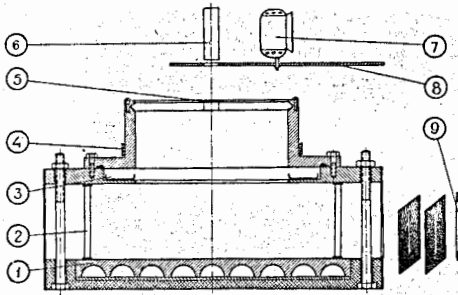


Рис. 1. Схематический чертеж диффузионной камеры.

- 1 - Латунное дно камеры
- 2 - Боковое цилиндрическое стекло диаметром 350 мм
- 3 - Лоток для рабочей жидкости
- 4 - Электрический нагреватель
- 5 - отверстие в верхнем стекле, закрытое фольгой для ввода β -пучка в камеру
- 6 - Контейнер с препаратом S_z^{30}
- 7-8 - Обтюратор для импульсной засветки объема камеры пучком β -лучей
- 9 - Импульсная лампа ИПК-400



Рис. 2. Фотографии чувствительного слоя в камере после подсветки β - пучком. Заметна неоднородность чувствительного слоя. Высота его 5,5 см.

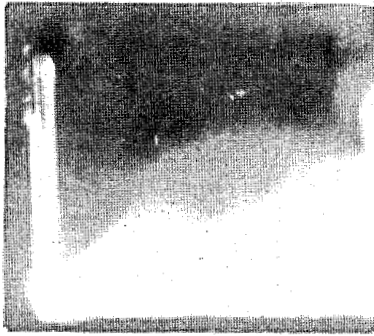


Рис. 3. Распределение чувствительного слоя в районе текстолитовой пластины. В нижней части слоя нечувствительный зазор уменьшается. Размер пластины (8x70x70) мм³.

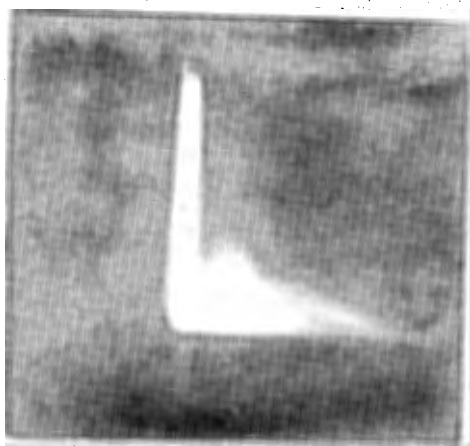


Рис. 4. Конвективный поток, нарушающий работу
диффузионной камеры в районе алюминиевой
пластины. Размер пластины $10 \times 70 \times 70$ мм³.

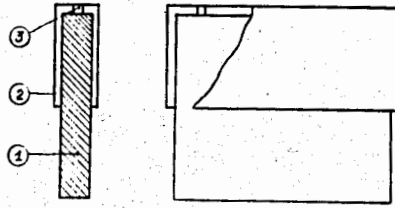


Рис. 5 а.

1. Свинцовая пластина (8x70x70)мм³
2. Чехол из красной меди, толщина 0,3 мм.
Размер чехла (14x40x77)мм³
3. Теплоизоляционная прокладка.

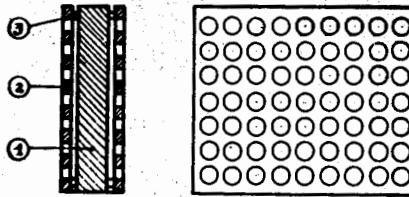


Рис. 5б.

1. Свинцовая пластина (10x70x70) мм³ с горизонтальным разрезом.
2. Стеклокные обкладки (2x70x70)мм³
3. Вкладыш из текстолита, толщина 2 мм.

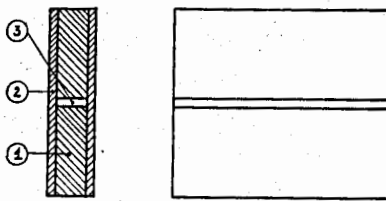


Рис. 5в.

1. Свинцовая пластина (8x70x70)мм³
2. Обкладка из текстолита, толщина 2,5 мм с отверстиями \varnothing 5 мм.
3. Теплоизоляционная прокладка, толщина 1,0 мм.

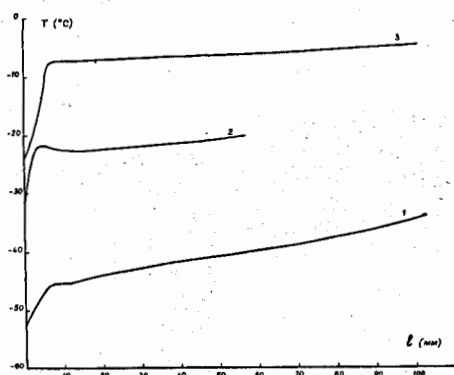


Рис. 6а. Распределение температуры в районе ледяной пластины (15x70x70)мм. Пластина установлена в центре камеры.

l - расстояние от пластины в горизонтальной плоскости.

T - температура в °С.

1. На расстоянии 4 мм от дна камеры

2. На расстоянии 19 мм от дна камеры

3. На расстоянии 46 мм от дна камеры.

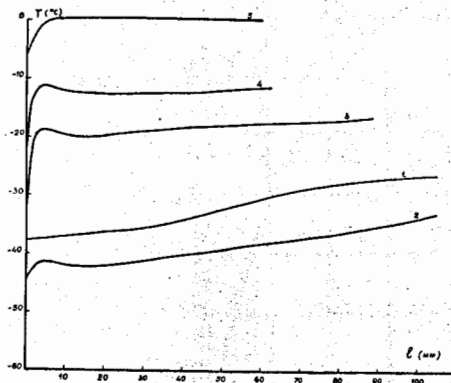


Рис.66. Распределение температуры в районе пластины с горизонтальным разрезом. Пластина установлена в центре камеры.

e - расстояние от пластины в горизонтальной плоскости.

T - температура в $^{\circ}\text{C}$.

1. На расстоянии 4 мм от дна (пластины в камере нет)
2. На расстоянии 4 мм от дна с пластиной
3. На расстоянии 24 мм от дна
4. На расстоянии 33 мм от дна
5. На расстоянии 59 мм от дна

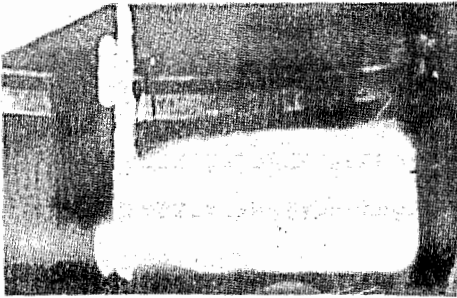


Рис.7. Распределение чувствительного слоя в районе пластины, изображенной на рис.5в.

БОЛЬШАЯ ДИФФУЗИОННАЯ КАМЕРА

А.М.Гальпер, Ю.Д. Зернин, В.И.Мороз, Е.П. Устенко

(Объединенный институт ядерных исследований)

По предложению В.И.Векслера, М.А.Маркова и В.И.Чувило в Лаборатории высрких энергий Объединенного института ядерных исследований создана большая диффузионная камера, которая предназначена для исследования процессов распада нестабильных частиц.

Рабочая область диффузионной камеры представляет собой прямоугольный параллелепипед размерами $2000 \times 1200 \times 70 \text{ мм}^3$. Камера рассчитана на работу при атмосферном давлении и заполнении азотом, воздухом.

На дно камеры налит подкрашенный в черный цвет метиловый спирт, в который погружен испаритель залитого типа фреонового холодильного агрегата АК-ФДС-1. Испаритель состоит из 51-й трубки, которые объединены двумя коллекторами. Конструкция его позволяет производить охлаждение камеры раствором углекислоты в спирте и азотом.

Метиловый спирт испаряется только из желоба, расположенного по периметру камеры.

Камера освещается двумя встречными параллельными пучками света, образованными 6-ю осветителями с квазипараболическими

отражающими поверхностями. В качестве источников света используются импульсные лампы ИПС-4000. Рабочий объем фотографируется двумя переделанными аэрофотоаппаратами на пленку шириной 190 мм.

Управление режимом и процессами камеры автоматизировано и осуществляется с пульта.

Камера может быть помещена в поле магнита.

Д и с к у с с и я

Ю.А.Щербаков.

Есть ли у Вас фотографии?

В.И.Мороз.

В процессе наладки камеры мы получили ряд фотографий следов космических частиц. Длина некоторых следов доходила до 1,2 - 1,3 м.

Ю.А.Щербаков.

Какова толщина верхнего стекла и как вы оцениваете неточности в измерениях из-за его прогиба?

В.И.Мороз.

Прогиб стекла мы не измеряли, но на глаз он меньше 5 - 6 мм. Толщина верхнего стекла 8 мм.

Что касается точности измерения, я могу лишь заметить, что если прогиб стекла не меняется в процессе работы, то в измерениях он может быть **точно** учтен.

В.К.Ляпидевский.

Первый вопрос у меня по конструкции камеры: как было выполнено уплотнение в нижней части камеры?

Второй вопрос: каким образом поддерживалась температура верхнего стекла на постоянном уровне? В большой камере, построенной в Московском инженерно-физическом институте, к сожалению, пришлось для этой цели делать двойное верхнее стекло.

Наконец, третий вопрос: какова высота чувствительного слоя и каково температурное распределение в камере?

В.И.Мороз.

Боковое стекло вставляется в желобок, установленный на дне камеры с помощью винтов, смазанных вакуумной замазкой. Такая система обеспечивает надежную плотность в течение 50-100 охлаждений.

Для поддержания температуры верхнего стекла нам также пришлось поставить два стекла, между которыми была натянута электронагревательная спираль. Подогрев верхнего стекла регулировался с помощью соответствующего прибора.

Высота рабочей области по оценке щупающим лучом также, как это делается в Инженерно-физическом институте, составляет 70 мм. Правда, в некоторых режимах мы получали слой значительно больше. Качество следов при этом было плохое.

Количественными измерениями температурного распределения в камере мы не располагаем.

Вопрос. Нет ли у вас опыта работы с пластинами внутри камеры?

В.И.Мороз.

С пластинами внутри камеры мы начали работать. Однако, эти эксперименты находятся еще в начальной стадии. Была испробована пластина из стекла, т.е. из того же материала, что и стенка камеры. Сначала пластина была установлена таким образом, что ее нижний обрез был приподнят над поверхностью спирта на 2-3 мм. В этом случае около пластины расположенной поперек всей камеры, наблюдалась весьма большая область нечувствительности - приблизительно 50 мм. Кроме того, вблизи этой области были заметны конвективные токи, нарушавшие работу камеры. После того, как были обеспечен тепловой контакт между пластиной и дном камеры, область нечувствительности вблизи пластины уменьшилась до 20 мм. В дальнейшем мы намерены изменять температурное распределение по высоте пластины.

ДИФФУЗИОННАЯ КАМЕРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

И.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.И.Суляев, А.И.Филиппов,
Ю.А.Щербаков

(Объединенный институт ядерных исследований)

В настоящее время диффузионные камеры стали широко применяться при проведении исследований на ускорителях. Они оказались достаточно эффективными приборами для изучения процессов взаимодействия нуклонов и мезонов с отдельными нуклонами и легкими ядрами.

В данной работе описывается установка с диффузионной камерой в магнитном поле, используемая для изучения взаимодействия протонов и мезонов с ядрами легких элементов. В описываемой конструкции камеры, в отличие от других камер, задание необходимого температурного распределения в чувствительном слое производится с помощью внутреннего плексигласового цилиндра. Это позволяет существенно снизить величину горизонтальных градиентов, являющихся главными источниками нежелательных конвекций в камере. Уменьшение конвективных искажений следов приводит к повышению точности в измерениях импульсов частиц. Благодаря сильному выравнивающему действию плексигласового цилиндра оказалось возможным уменьшить расстояние между боковой границей чувствительного слоя и внешними стенками камеры и тем самым улучшить коэффициент использования рабочего объема магнита. В окнах для освещения рабочего объема камеры были применены цилиндрические

стекла. Такая конструкция окон позволяет извлекать камеру из магнита без его разборки и дает возможность использовать магнит-соленоид с небольшим зазором между катушками, что существенно облегчает задачу получения больших напряженностей магнитного поля при сохранении хорошей его равномерности и экономичности магнита по питанию.

Установка состоит из магнита-соленоида МС-4, системы откачки и наполнения камеры, пульта управления, в котором размещаются блоки управления ускорителем, камерой и магнитом. Общий вид установки вместе с очищающим поток частиц магнитом СП-57 показан на рис. 1.

Импульсный магнит МС-4

Для создания магнитного поля в чувствительном объеме камеры был применен магнит-соленоид МС-4 (рис. 2). Магнит может работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме.

Магнитное поле создается двумя катушками, имеющими секционированные обмотки из медных трубок. Внутренний диаметр обоймы катушек 462 мм. Зазор между катушками в магните может изменяться в пределах от 50 мм до 100 мм путем замены вкладышей под верхней плитой ярма. Охлаждение обмоток производится дистиллированной водой под давлением 5 атм.

Магнитопровод набран из шихтованного железа. В верхней плите магнитопровода имеется отверстие по размеру внутреннего диаметра обоймы катушки. В нижнюю катушку вставлен железный вкладыш, на который опирается кожух камеры. В этом вкладыше имеется отверстие диаметром 100 мм для выхода труб магистрали охлаждения камеры.

Питание магнита осуществляется от генератора ГП-300-1000. Пиковое значение тока через магнит в импульсном режиме при частоте следования импульсов 15 сек и длине плато 1,5-2 сек составляет 850 ампер. На рис. 3 представлена форма импульса тока через магнит, записанная самопишущим потенциометром ЭПП-09. В системе питания предусмотрена стабилизация тока магнита как в непрерывном, так и в импульсном режиме с точностью 0,5%. Схема стабилизации позволяет получить достаточно быстрое нарастание тока путем форсирования возбуждения и в то же время получить плоскую вершину импульса без релаксаций. Напряженность поля в импульсном режиме при токе 850 ампер составляет 16.000 э. (в центре медианной плоскости магнита). В непрерывном режиме рабочее значение тока составляет 530а, что обеспечивает напряженность поля 11.200 э.

На рис.3 приведены кривые, характеризующие распределение напряженности магнитного поля по радиусу от центра медианной плоскости. На этом же рисунке показана кривая намагничивания. В рабочей области магнита (диаметр области 300мм, глубина 50мм) максимальное отклонение поля на краях чувствительного слоя от среднего значения не превышает $\pm 4\%$.

В магните МС-4 предусмотрено дополнительное водяное охлаждение щек катушек, обращенных к зазору, а также внутренних обойм катушек. Длительные испытания магнита показали, что температура секций обмоток как в импульсном, так и в непрерывном режиме не превышает 40°C .

Магнит снабжен приспособлениями, позволяющими легко передвигать его по рельсам, а также производить установку по высоте для совмещения середины чувствительного слоя камеры с плоскостью входа пучка. К магниту приварено консольное основание, на котором размещается система охлаждения и распределительный шкаф установки. При таком размещении аппаратуры возможно передвижение всей установки без разборки системы охлаждения камеры и отсоединения кабельных подводок.

Для извлечения камеры из магнита при ее разборке на магните имеется небольшое подъемное устройство.

Конструкция диффузионной камеры.

Камера имеет внутренний рабочий объем диаметром 300мм и может наполняться легкими газами (H_2, D_2, He) до давления в 25 атмосфер (в охлажденном состоянии). Схематический чертеж камеры приведен на рис. 4.

Корпус камеры I изготовлен из болванки нержавеющей стали ЗЯИТ, что позволило сократить длину сварочных швов в частях камеры с большими температурами градиентами. К нижней части корпуса припаян змеевик 2, по которому циркулирует охлажденный ацетон. В корпусе камеры размещается также резервуар 4, в котором собирается конденсирующийся в объеме камеры метиловый спирт, использующийся в качестве рабочей жидкости. Располагающийся на дне камеры медный диск 5 служит для выравнивания температуры по дну. Его поверхность зачернена электролитическим способом. В окнах для освещения размером $300 \times 50 \text{ мм}^2$

применялись цилиндрические плексигласовые стекла 6 толщиной 25мм. Уплотнение стекол осуществляется на круглых резиновых прокладках под действием внутреннего давления с предварительным поджатием стекол винтами. Несмотря на размягчающее воздействие, которое оказывают на плексиглас пары метилового спирта, стекла успешно эксплуатировались без замены в течение нескольких месяцев.

На медном диске устанавливается плексигласовый цилиндр 7 внутренним диаметром 300 мм, высотой 100мм и с толщиной стенок 8-10 мм, служащий для создания в чувствительном слое необходимого температурного градиента. Для обеспечения хорошего теплового контакта цилиндра с диском в процессе охлаждения он прижимается сверху с помощью кольца 8, снабженного пружинами. Это кольцо служит также для выравнивания температурного распределения в верхней части корпуса камеры и для крепления на нем изоляторов сетки 9, являющейся электродом очищающего электрического поля.

Источником пара в камере служил метиловый спирт, заливавшийся в массивное медное кольцо 10, на внутренней части которого имелся желоб емкостью 700 см^3 и открытой поверхностью 320 см^2 . По внешнему периметру кольца размещался электрический нагреватель, позволяющий поддерживать определенную температуру источника пара. В некоторых случаях для увеличения потока пара в желоб со спиртом ставился цилиндр из фильтровального картона 18,

Верхняя часть камеры для удобства сборки была выполнена из двух частей - I2 и I3. На боковой стенке детали I2 крепились восемь электрических вводов I9, а также отдельно располагавшийся ввод напряжения очищающего электрического поля I4. На крыше детали I3 имелось три окна диаметром 25мм, закрытых стеклами II толщиной 25 мм. Уплотнение стекол осуществлялось под действием внутреннего давления в камере. Два окна служили для фотографирования, а третье - для визуального наблюдения.

Для поддержания соответствующего температурного распределения по объему камеры во фланцах имелись электрические нагреватели I7. Уплотнение в местах соединений при сборке камеры осуществлялось прокладками из вакуумной резины. Корпус камеры имел тепловую изоляцию из мипоры 20.

Для уменьшения притока тепла корпус камеры был подвешен так, что вся нагрузка воспринималась стенками кожуха I5, опиравшегося на нижний полюс магнита. В кожухе имелись два окна, закрытые тонкими плексигласовыми стеклами 2I. Пространство между ними и стеклами корпуса камеры было герметизировано и обезвожено, что позволило избежать запотевания стекол в процессе эксплуатации установки.

Для охлаждения дна камеры применялась циркуляционная система, состоящая из теплообменника и насоса с дополнительным резервуаром для хладоносителя. На рис. 5 представлена схема охлаждения, откачки и наполнения камеры.

Теплообменник представляет собой резервуар из нержавеющей стали объемом около 150 литров, внутри которого размещается змеевик из двух параллельных секций длиной 6м. каждая. Резервуар был теплоизолирован мипорой, заполнявшей пространство между кожухом, из тонкой листовой стали, и стенками резервуара. В центральной части теплообменника размещается крыльчатая мешалка приводившаяся в действие электромотором и служившая для интенсификации теплообмена. Мешалка и змеевик были прикрыты решеткой, на которую в процессе работы загружался сухой лед. Теплообменник заполнялся этиловым спиртом. Объем теплообменника позволял производить загрузку 150 кг. льда, что обеспечивало непрерывную работу камеры в течение более 12 часов.

В качестве хладоносителя применялся ацетон. Циркуляция ацетона по трубопроводам системы охлаждения осуществлялась с помощью шестеренчатого насоса, размещавшегося в небольшом резервуаре, заполненном ацетоном. Это позволило избежать сложности в уплотнениях и смазке системы, работающей при низкой температуре. Насос вращался электродвигателем мощностью 0,5 квт., соединявшимся с ним клиноременной передачей. Перепад давления на змеевике камеры при температуре -72°C составлял 0,7 - 1,0 атм.

На том же рис. 5 показана схема устройства для перекачки метилового спирта. Система позволяла производить перекачку спирта без вскрытия камеры. Сброс давления газа в камере за один цикл перекачки составлял около 0,2 атм.

Уровень спирта в желобе контролировался с помощью двух электродов, погруженных в спирт на различную глубину и включенных в цепь последовательно с микроамперметрами.

Наполнение газом производилось с предварительной откачкой объема форвакуумным насосом и двукратной промывкой его наполняемым газом. Очистка газа производилась двумя ловушками 3, 4. Давление газа в камере контролировалось с точностью 1%.

Для контроля температуры в различных точках камеры в процессе ее работы применялись термомпары. Температуры фиксировались самопишущим потенциометром ЭПП-09 на 6 точек, подкорректированным на пределы измерений: от -80°C до $+30^{\circ}\text{C}$. Точность измерения температуры составляла $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Температурное распределение в камере.

Распределение температур в газе, а также по различным конструктивным элементам внутреннего объема камеры является одним из решающих факторов, определяющих высоту чувствительного слоя, допустимую ионную загрузку, отсутствие нежелательных конвекций. В данной конструкции размеры стеклянного цилиндра и условия его теплообмена с металлической оболочкой были выбраны так, чтобы обеспечить в нижней части камеры градиент температур, необходимый для создания чувствительного слоя нужной высоты.

Минимальный градиент, необходимый для нормальной работы камеры, может быть найден из соотношения, полученного Шаттом и Бивеном

$$\frac{dT}{dx} = 3,3 \log_{10} \left\{ n \cdot \tau \cdot P^{\frac{1}{3}} \left[n \cdot \tau \cdot P + 145 \exp(0,116t) \right]^{\frac{4}{3}} \right\} + 8,2$$

где μ - вязкость газа, \mathcal{D} - коэффициент диффузии,
 t - наивысшая температура в объеме камеры, n_0 - удельная ион-
ная нагрузка (число ионов в см^3), τ , Z и P - число атомов
в молекуле, атомный номер ее и давление газа, наполняющего
камеру.

В реальных условиях работы нашей камеры с синхроциклотроном
было найдено $n_0 \approx 12$ ионов/ см^2 сек при давлении водорода в камере
20 атм. Из приведенного соотношения для $\frac{dT}{dx}$ получаем $7,7^\circ\text{C}/\text{см}$.
В случае наполнения камеры гелием до 20 атм - $8,9^\circ\text{C}/\text{см}$.

С помощью термпар неподвижно закрепленных на разных высо-
тах от дна камеры были проведены измерения вертикального темпера-
турного распределения в камере, наполненной водородом под давле-
нием 20 атмосфер. Полученные результаты приведены на рис. 6.
Температурный градиент на верхней границе чувствительного слоя (5-
6 см от дна камеры) оказался равным $8^\circ\text{C}/\text{см}$. Исследования темпера-
турного распределения в горизонтальных плоскостях рабочего объема
камеры показали, что средние горизонтальные градиенты температур
в различных сечениях не превышают $0,3^\circ\text{C}/\text{см}$. Так как основное
изменение температуры происходит в непосредственной близости от
стенок (II), то в рабочей области градиенты будут иметь меньшие
значения.

Освещение и фотографирование следов в камере.

Освещение чувствительного объема камеры производилось дву-
мя импульсными лампами ИШК-600. Формирование параллельных пуч-
ков света осуществлялось конденсорами из цилиндрических линз.

Высоковольтный импульс поджига подавался на цилиндрический хромированный отражатель, закреплявшийся непосредственно на импульсной лампе. Испульсные лампы работали в зазоре магнита в поле около 12000 э. Для предотвращения разрушения перед каждой лампой имелась жесткая пластина со щелью, служившая в качестве опоры. Направление тока через лампу выбиралось так, чтобы при изгибе деформации лампы ограничивались опорой.

Питание импульсных ламп осуществлялось от двух высоковольтных выпрямителей ЭПА-130. Каждый выпрямитель заряжал группу конденсаторов емкостью 160 мкф до напряжения 2-2,5 кв.

Для визуального наблюдения следов частиц в каждом осветителе размещались лампы накаливания (по 15 шт., общей мощностью 135 вт). С помощью опускающихся зеркал свет от них через конденсоры направлялся в камеру. Фотографирование следов частиц в камере производилось стереофотоаппаратом ГОИ (модель ФТЕ-8), с расстояния 830 мм при диафрагме $I : 7$ на пленку типа "Панхром X" чувствительностью $S_{0.45}$ от 750 до 1200 ед. ГОСТ. В аппарате была применена новая система перетяжки пленки с кассетами на 30 м. Механизм перетяжки действовал от пневматического привода. В аппарате имелись устройства для нумерации кадров на пленке, счетчик кадров, сигнализация окончания пленки, блокировавшая схему управления диффузионной камерой.

Аппаратура управления установкой.

Для управления диффузионной камерой была разработана специальная аппаратура, блок-схема которой приведена на рис. 7. Основная часть приборов регулировки и контроля сосредоточена на пульте и стойке управления.

Поскольку диффузионную камеру невозможно эксплуатировать в условиях большой непрерывной ионной нагрузки, то при проведении экспериментов применялся одноимпульсный режим работы синхроциклотрона. Синхронное управление работой ускорителя, импульсного магнита и диффузионной камеры производилось специальным блоком, принципиальная схема которого приведена на рис. 8.

Мультивибратор, собранный на лампе L_1 , задает период (от 5 до 40 сек.) между последовательными запусками установки. Его импульсы могут быть синхронизованы с импульсами от фотодатчика на вариаторе частоты синхроциклотрона. Одновибратор на лампах L_2 и L_3 обеспечивает включение магнита, а также включение высокочастотного поля ускорителя в момент, когда ток магнита выйдет на плато. Одновибратор на лампе L_4 подает на запертый тиратрон L_5 прямоугольные импульсы различной продолжительности. Одновременно с этого одновибратора снимается импульс для запуска исполнительного устройства диффузионной камеры. Тиратронный генератор на лампе L_5 дает импульсы с частотой несколько большей, чем частота импульсов от фотодатчика (100 гц). В зависимости от продолжительности импульса одновибратора (L_4) генератор выдает один или группу импульсов, поступающих на манипулятор синхроциклотрона. Этот блок приспособлен также для одновременного обслу-

живания работы нескольких диффузионных камер и камеры Вильсона. При этом для камеры Вильсона может быть обеспечен как одноимпульсный режим работы ускорителя, так и импульсно-групповой режим.

На этой же схеме (в нижней части) представлена система, контролирующая включение высокочастотного поля ускорителя. Небольшое пересчетное устройство позволяет регистрировать число импульсов, выданных синхроциклотроном. Запуск устройства осуществляется от антенны, размещающейся на пульте управления. Каскад на лампе L_9 обеспечивает обратную связь с задающим генератором, что позволяет производить точную установку необходимого количества импульсов в одной группе.

Принципиальная схема блока исполнительных устройств камеры показана на рис. 9. Схема состоит из трех основных частей. Первая часть, А, включает в себя каскады формирования входного запускающего импульса, а также внутренней и внешней блокировки. Во второй части, Б, содержатся: каскад формирования импульса поджига ламп ИПК-600 с определенным временем задержки относительно запускающего импульса; одновибратор с реле, выдающий импульс тока на клапан пневматического механизма перетяжки пленки, генератор высокого напряжения для очищающего поля с импульсным выключением. Последняя часть, В, состоит из генератора, служащего для проверки схемы и обеспечения ее автономной работы без блока I, а также из контрольного интенсиметра, выполняющего к тому же функции измерителя времени задержки между запускающим импульсом и моментом поджига импульсных ламп.

На отдельной стойке была размещена аппаратура (блоки II, I2), осуществлявшая контроль за интенсивностью, даваемой ускорителем, а также контроль за током магнита МС-4 в импульсном режиме. Эта аппаратура состояла из интегрирующего сцинтилляционного счетчика IO, электронного потенциометра ЭПН-09 и выпрямителя, питающего счетчик. Непрерывная запись тока позволяла следить за своевременностью включения магнита, а также за точным попаданием импульса, отмечающего момент запуска ускорителя, на плато кривой изменения тока.

Работа диффузионной камеры совместно с ускорителем.

При эксплуатации установки применялась следующая последовательность операций:

1. Включение импульсного магнита 00,0 сек.
2. Выдача сигнала на запуск ускорителя 04,0 сек.
3. Запуск блока исполнительных устройств камеры 04,0 сек.
4. Снятие электрического очищающего поля 04,0 сек.
5. Вход частиц в камеру 04,01 сек.
6. Поджиг импульсных ламп 04,40 сек.
7. Выключение магнита 04,45 сек.
8. Включение очищающего электрического поля 04,70 сек.
9. Включение клапана перетяжки пленки 04,50 сек.
10. Окончание перетяжки пленки 05,30 сек.

Как уже указывалось выше, импульсный магнит позволял работать с током 850 А при цикле 15 сек. При такой продолжительности цикла диффузионная камера хорошо работала с водородом при давлении 20 атм. и с гелием при давлении в 17 атм., когда через

камеру пропускалось 15-20 частиц. Высота чувствительного слоя составляла 5-6 см. Ширина области нечувствительности вблизи стенок не превышала 0,5 см. При небольшой ионной загрузке камеры высота слоя достигала 7-7,5 см. В некоторых случаях в камере наблюдался отрыв чувствительного слоя от дна на 1-1,5 см, что обуславливалось истощением пара из-за высокой ионной нагрузки. Тщательная защита камеры от фонового излучения и увеличение потока пара позволили избежать образования вблизи дна такой области нечувствительности.

В работе Шатта и др. отмечалось влияние импульсного магнитного поля на работу диффузионной камеры. В данной установке камера наполнялась газами (H_2 , He) без предварительной очистки от возможных примесей кислорода. Несмотря на это, в чувствительном объеме не наблюдалось возникновения конвективных токов. Даже при работе с воздухом при атмосферном давлении не было заметно каких-либо нарушений в работе камеры. Такая устойчивость работы камеры, по-видимому, может быть объяснена хорошей однородностью магнитного поля по объему камеры в импульсном режиме.

Как показали наблюдения, сорта стекла, содержавшие соли калия, давали сильный фон из следов электронов. Проведенные оценки для некоторых сортов стекол показали, что основным источником фона является радиоактивный K^{40} . Магнитное поле сильно локализует следы фоновых электронов в центральной части камеры, однако вблизи от стенок образуется нечувствительная зона шириной 2-3 см. На рис. 10 приведена фотография следов частиц, полученная с этой установкой.

Авторы благодарят В. Сороко, К.А. Байчера, И.А.Штырина, П.Т. Павлова за помощь в проектировании и изготовлении установки. Основные монтажные и наладочные работы были проведены А.Г. Потехиным и Г.П.Зориним, за что пользуемся случаем выразить им свою благодарность.

Д и с к у с с и я .

Вопрос.

Каково будет соотношение интенсивности при однократном, групповом и накопительном режимах?

М.М. Кулюкин.

Интенсивность в групповом режиме пропорциональна числу импульсов. Относительно накопительного режима лучше могла бы ответить Т.Н. Томилина, которая специально занималась изучением этого режима.

Т.Н. Томилина.

Были сделаны только предварительные эксперименты, из которых следует, что интенсивность одиночного импульса в накопительном режиме примерно в 2 раза меньше, чем суммарная интенсивность. Например, при шестикратном накоплении на промежуточном радиусе интенсивность будет в 3 раза больше по сравнению с интенсивностью одиночного цикла.

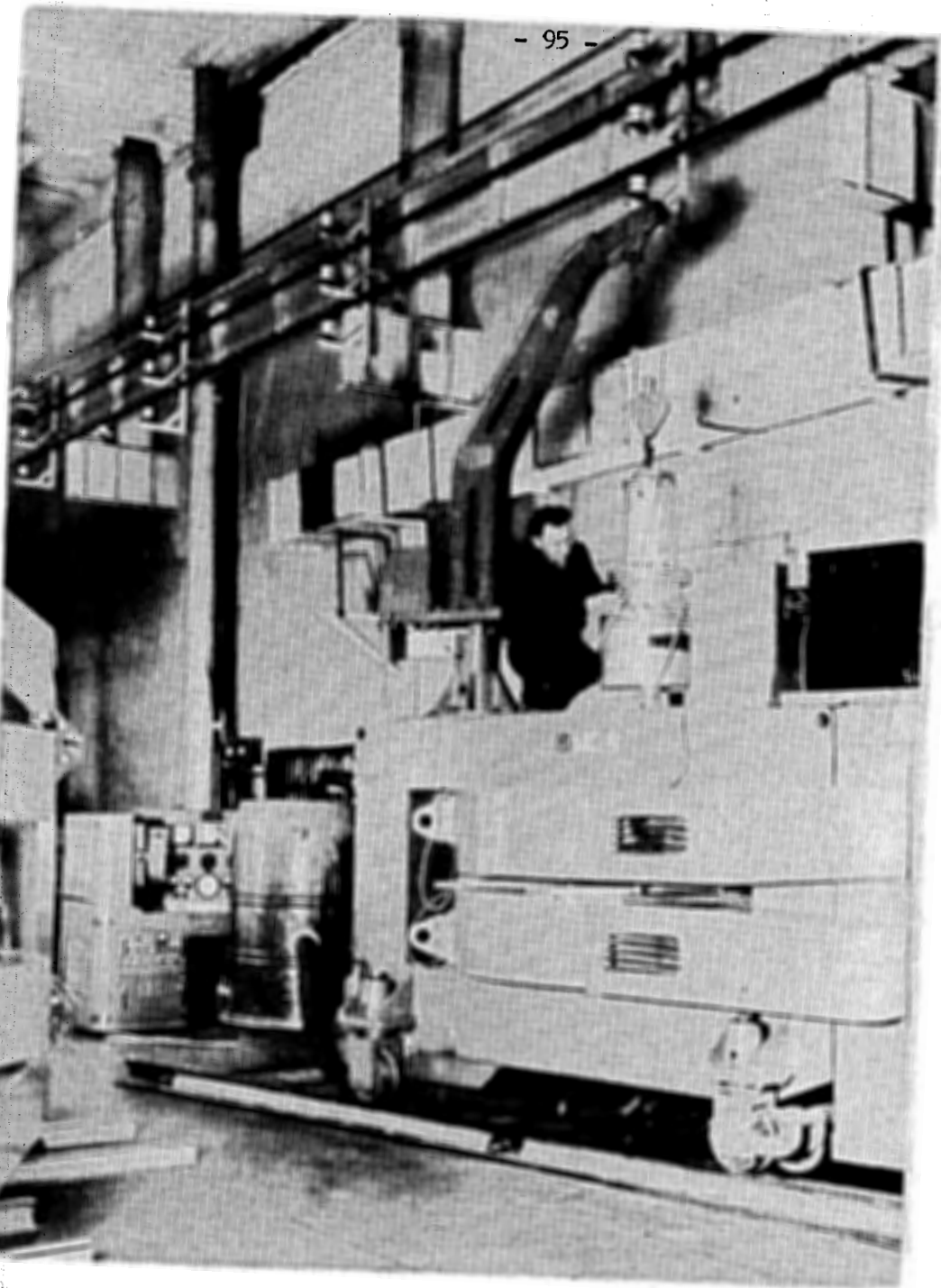


Рис. I

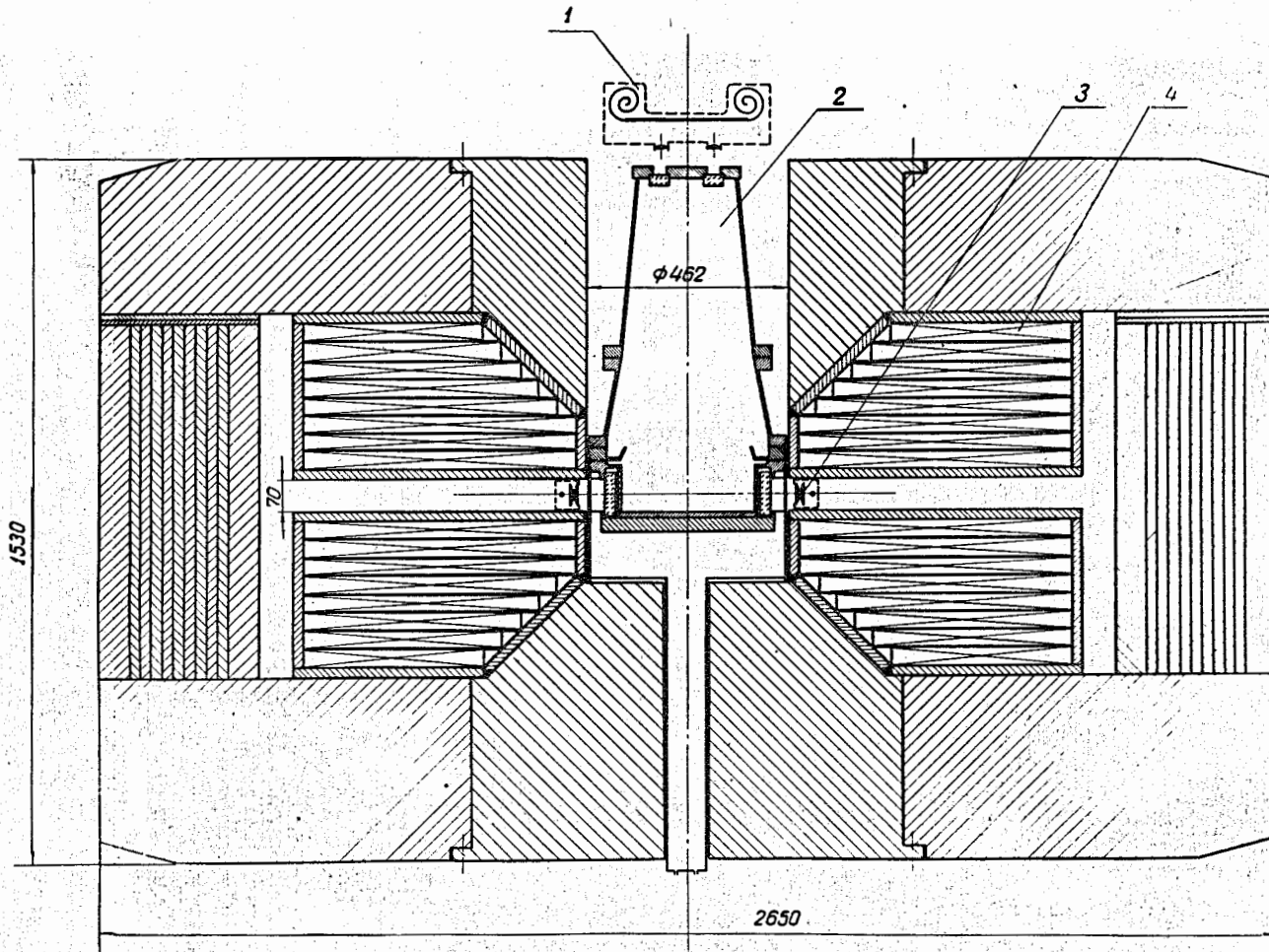


Рис.2

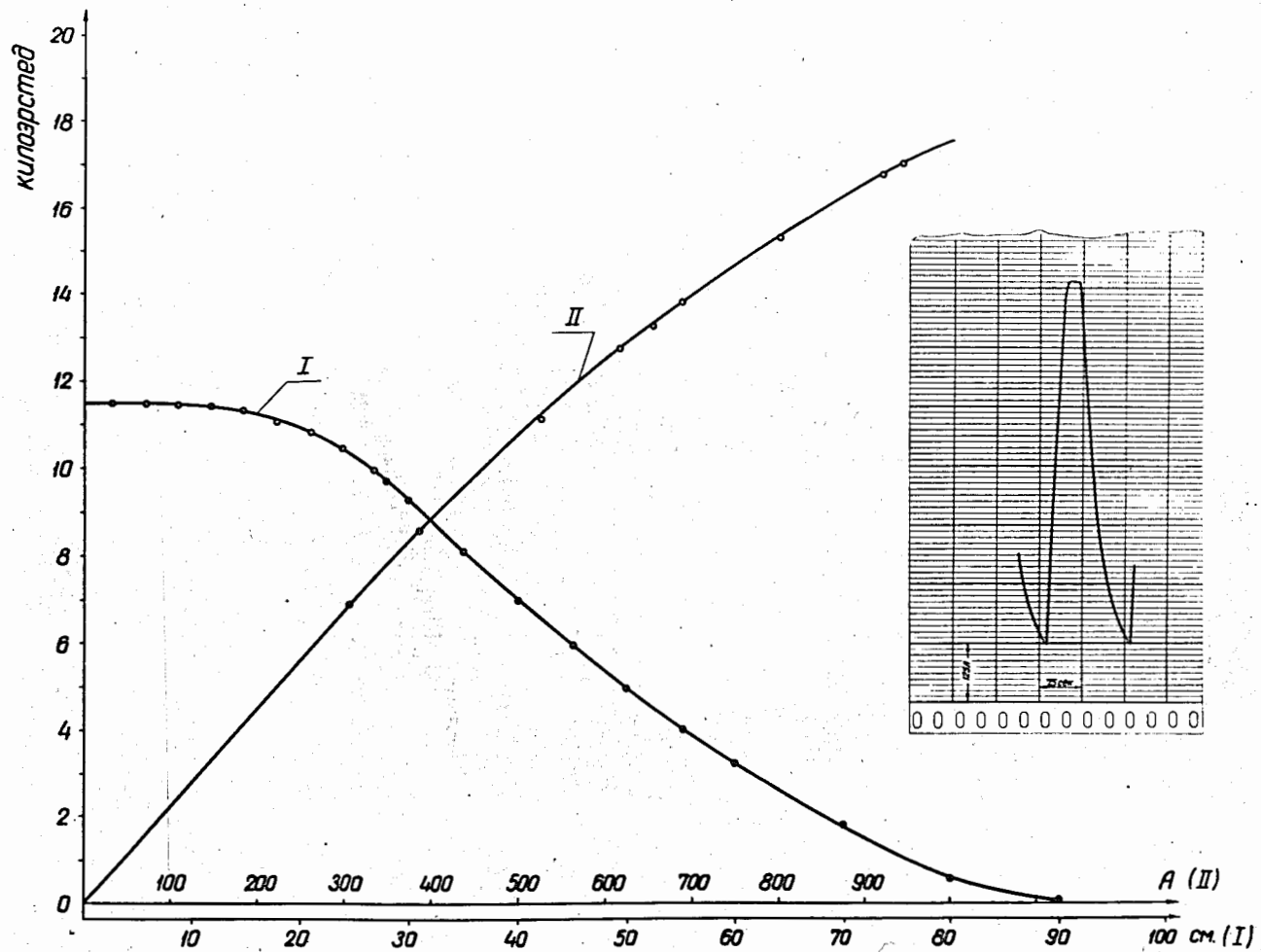


Рис.3

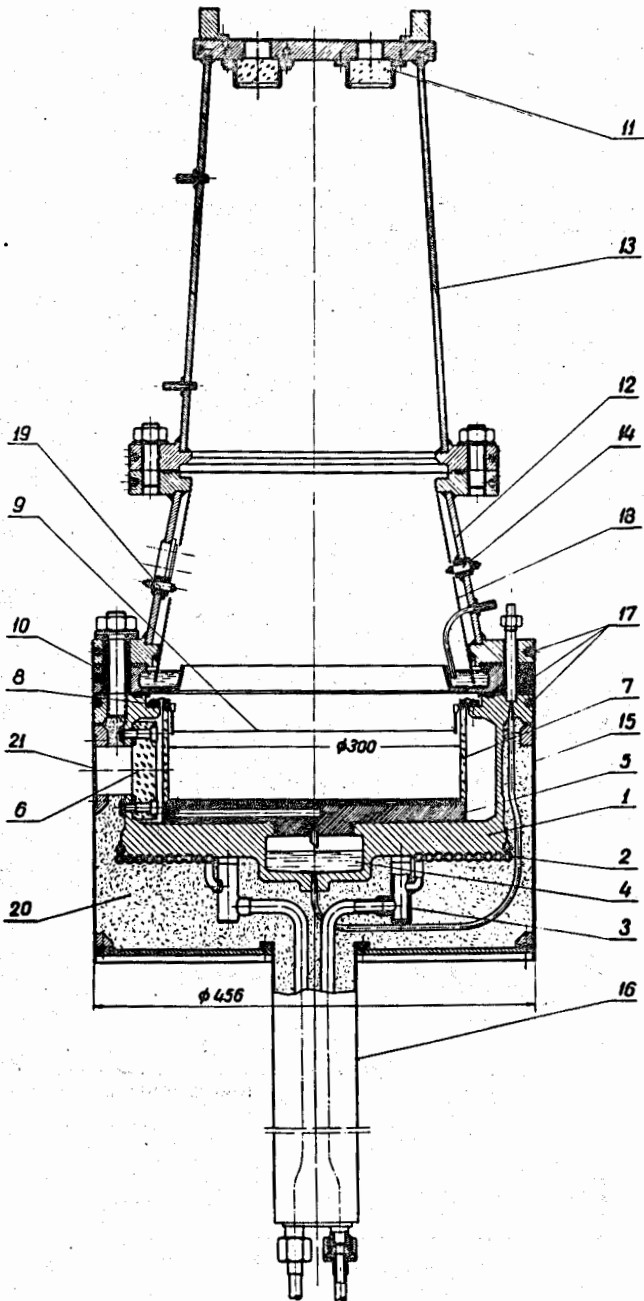


Рис. 4

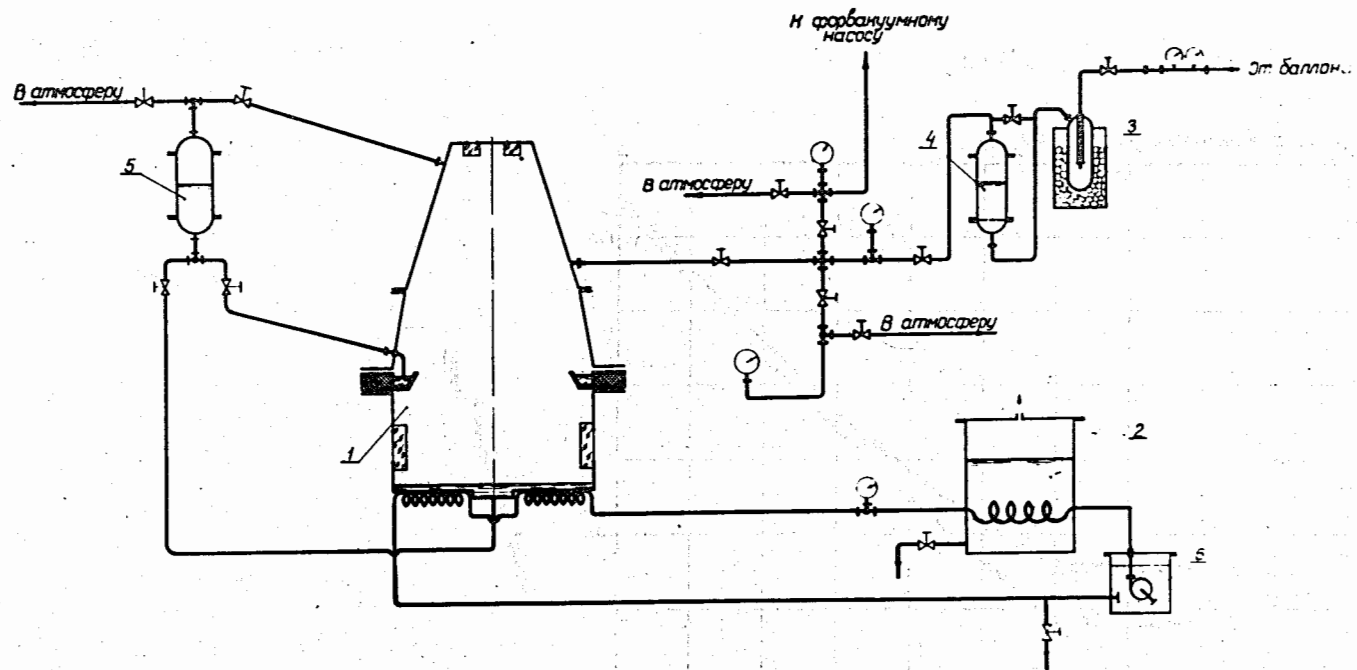


Рис. 5

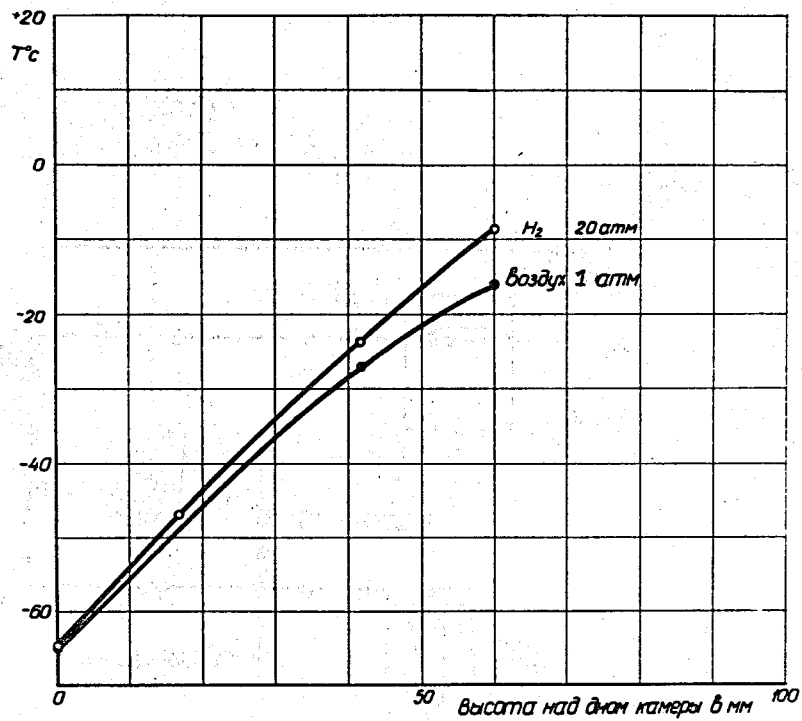


Рис.6

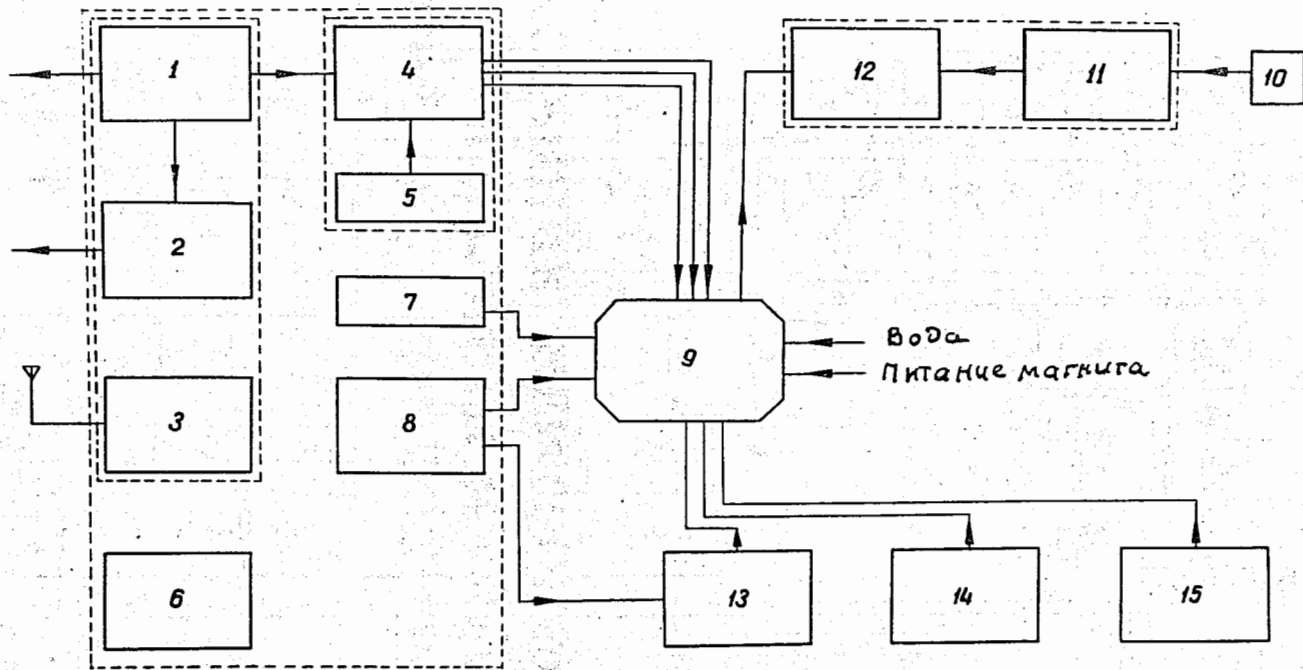


Рис.7

СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДИФфуЗИОННОЙ КАМЕРОЙ

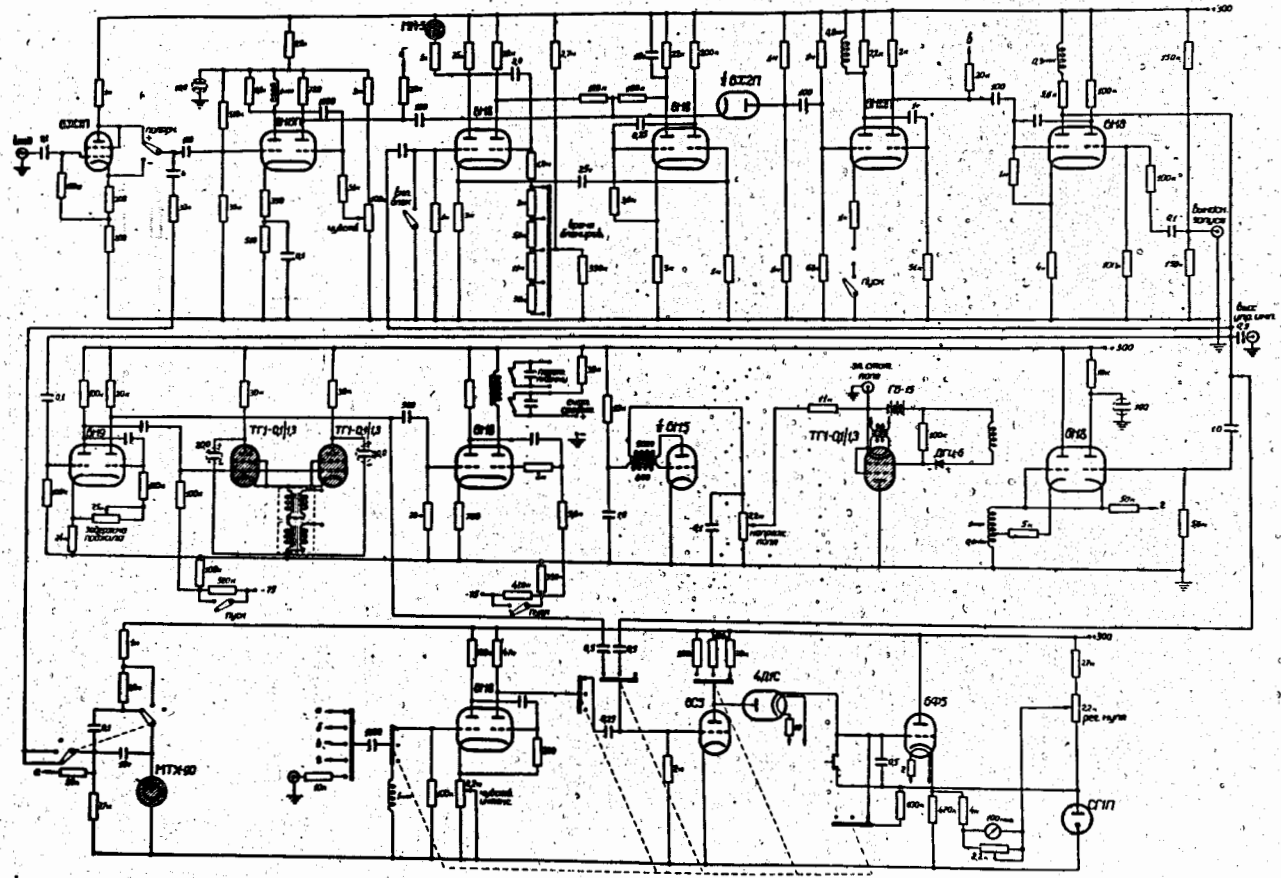


Рис. 9

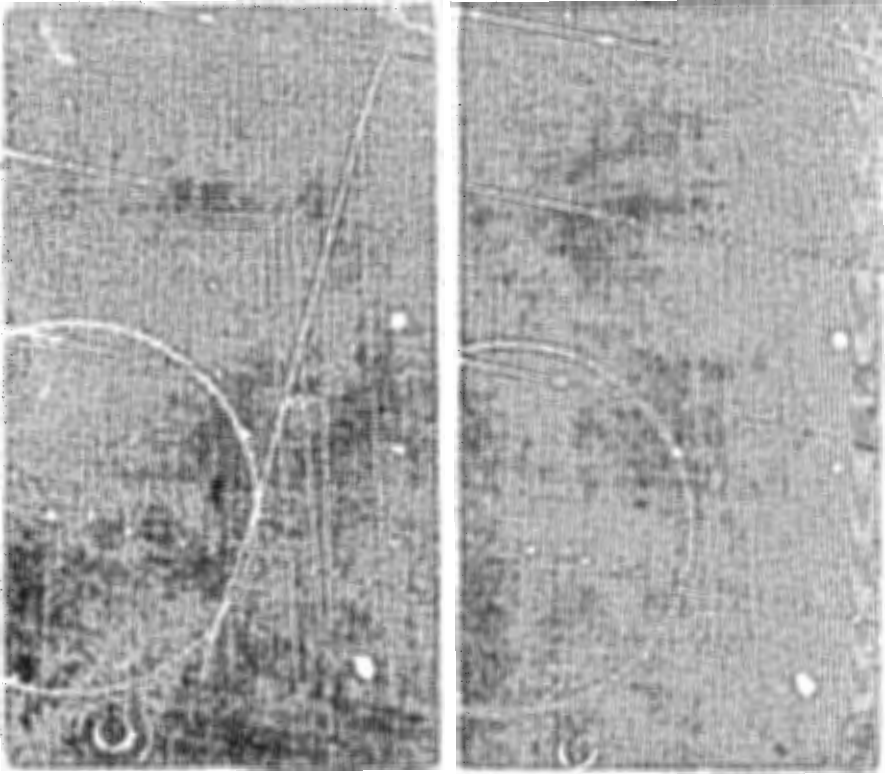


Рис.10

25-ТИ АТМОСФЕРНАЯ ДИФФУЗИОННАЯ КАМЕРА В МАГНИТНОМ
ПОЛЕ

Ю.А.Будагов, С.Виктор, В.П.Джелепов, П.Ф.Ермолов,
В.И.Москалев

(Объединенный институт ядерных исследований)

Диффузионная камера построена для работы с легкими газами (H_2, D_2, He) в пучках частиц высоких энергий, получаемых от синхроциклотрона и синхрофазотрона Объединенного института ядерных исследований.

§ I. Конструкция камеры

На рис. I показан схематический чертеж камеры. Она представляет собой сосуд, изготовленный из нержавеющей стали и состоящий из 2-х частей: нижней, основной, части камеры, по боковым стенкам которой задается температурный градиент, и "крышки" (корпуса 2 и 3). "Крышка" отделена от нижней части текстолитовым кольцом (9). Болты, стягивающие корпуса (1) и (2), отделены от корпуса (2) текстолитовыми прокладками и втулками. Камера теплоизолирована от окружающего воздуха. Эти приспособления, а также наличие системы нагревателей (13), позволяют изменять температурный градиент по боковым стенкам камеры, а следовательно, и в чувствительном слое, оставляя температуру дна и "крышки" постоянными.

Боковые окна для освещения, закрытые плексигласовыми стеклами (4), отнесены от рабочего объема камеры и расположены на концах прямоугольных выступов длиной 150 мм. Это позволило максимально увеличить рабочий диаметр камеры при заданном диаметре отверстия в верхнем полюсе магнита. (Внутренний диаметр камеры 380 мм, диаметр отверстия в верхнем полюсе магнита - 460 мм). Для устранения влияния боковых окон на температурное распределение в чувствительном объеме на внутренних концах выступов расположены перегородки из стеклянных пластин (5).

Ко дну камеры (6) припаян охлаждающий змеевик (19) из медных трубок с внутренним диаметром 8 мм. На дне находится анодированный медный диск (7), покрытый слоем черной краски, который служит для выравнивания температуры по дну и создания фона для фотографирования. Через ввод (14) на электрод электрического очищающего поля (8) подается отрицательный потенциал 1100 в. В нижнем фланце корпуса (2) сделан небольшой желоб (10) для метилового спирта емкостью 250 см³, в который опущены концы фитилей (12), служащие для увеличения поверхности испарения. Желоб поддерживается при необходимой температуре при помощи воды, прогоняемой из термостата по трубкам (12). Фотографирование производится через окна в верхнем корпусе камеры, которые закрыты стеклами (16) толщиной 25 мм. Контроль температуры различных участков камеры осуществляется при помощи медно-константановых термопар (17).

§ 2. Магнит

На рис.2 показан схематический чертеж разреза магнита и расположение камеры в нем. Магнит типа МС-4А подобен магниту МС-4.

Некоторые особенности в его конструкции связаны с конструкцией камеры. Он также, как и магнит МС-4, рассчитан на работу в двух режимах питания - импульсном и непрерывном. При работе в импульсном режиме при максимальном токе 840 А напряженность в центре зазора высотой 130 мм составляет 16000 эрстед, в непрерывном режиме при токе 570 А - 12300 эрстед. Неоднородность магнитного поля по радиусу чувствительного объема составляет 3%, по высоте - 3,5%. (Спад поля по радиусу и неоднородность по высоте измерены при $H = 6000$ эрстед, - поле, при котором ведется работа с мезонами $E = 150$ Мэв).

§ 3. Некоторое вспомогательное оборудование

Дно камеры охлаждается ацетоном, который в свою очередь охлаждается смесью сухого льда с этиловым спиртом. Ацетон перегоняется по змеевикам теплообменника и камеры шестеренным насосом Ш-12 при расходе 12 л/мин и избыточном давлении 10 атм. При этом от камеры отводится тепло в 400 ккал/час, и дно охлаждается до температуры - 70°C.

Камера освещается двумя импульсными лампами ИПС-500. В момент вспышки через каждую лампу происходит разряд емкости в 200 μF , заряженный до напряжения 2000 в. Свет от каждой лампы формируется в параллельный пучок стеклянными параболическими рефлекторами ($F = 36$ мм, $\ell = 300$ мм, $h = 70$ мм). Лампы обдуваются охлажденным воздухом, при этом их срок службы достигает 2-х тысяч вспышек.

Фотографирование производится на 35-мм пленку "Панхром-10-1000" стереофотоаппаратом с объективами "Гелиос-37" ($2\beta = 27^\circ$, $f = 62$ мм, база 120 мм) с высоты 980 мм. Объективы "Гелиос-37" исправлены на дисторсию при фотографировании через стекло толщиной 25 мм и имеют разрешение - 50 лин/мм в центре поля зрения. При фотографировании обычно использовалась диафрагма 5,6 или 8.

Управление временным циклом работы камеры осуществляется при помощи электронной схемы. Схема управления камерой выполняет следующие основные операции: 1. включение и выключение электрического очищающего поля; 2. поджиг импульсных ламп; 3. перетяжку фотопленки; 4. блокирование схемы на время между запускающими импульсами от схемы совместного запуска камеры и ускорителя. Необходимые временные задержки осуществляются одновибраторными схемами.

Схема синхронизованного запуска камеры и ускорителя вырабатывает импульсы, которые одновременно включают схему управления камерой и высокочастотное напряжение на дуант синхроциклотрона. Длительность этих импульсов определяет количество циклов ускорения, т.е. в конечном счете, интенсивность фотографируемого пучка, а интервал между ними - цикл работы камеры и ускорителя. Синхронизация импульсов, запускающих ускоритель, с частотой вращения вариатора осуществляется при помощи импульсов фотодатчика вариатора.

§ 4. Работа камеры с водородом в пучке Π^- -мезонов с энергией 150 Мэв

Камера наполняется водородом до давления 27 атм. через ловушку, охлаждаемую смесью сухого льда со спиртом, и через

керамический фильтр. После охлаждения камеры давление в ней снижается до 25 атм. В качестве рабочей жидкости используется метиловый спирт, который может быть введен в желоб и удален со дна под давлением.

Температурный градиент по боковым стенкам нижней части камеры поддерживался равным $8-9^{\circ}\text{C}/\text{см}$, при этом вертикальное температурное распределение в чувствительном объеме было близко к линейному, и градиент температуры был равен $6-7^{\circ}\text{C}/\text{см}$ (температурное распределение в камере измерялось медно-константановыми термопарами при наполнении камеры воздухом до 1 атм.). Температура верхней части камеры поддерживалась неоднородной по высоте; на уровне желоба она была $10-12^{\circ}\text{C}$, постепенно повышаясь к верхнему фланцу третьего корпуса до 35°C . При приведенном температурном режиме высота чувствительного слоя составляла 5-6 см. Если уменьшить температурный градиент в нижней части камеры, то следы частиц становятся менее плотными и слой отходит от дна. При увеличении градиента и повышении температуры желоба слой уменьшается и появляется большой капельный фон. Особенно оказалось важным поддерживать фиксированной температуру верхней "крышки" камеры. Любые нерегулярные изменения температуры "крышки" вызывает дождевые завесы и туман.

В настоящее время камера работает в пучке Π^- -мезонов с энергией 150 Мэв с магнитным полем 9400 эрстед. При 10-секундном цикле работы камеры операции, выполняемые схемой управления, имеют следующий порядок.

Группа импульсов от схемы управления включает на 0,05 сек питание дуанта ускорителя высокочастотным напряжением. При этом через камеру проходит 5 импульсов частиц. Через 0,4 сек после прохождения частиц происходит вспышка света и фотографирование. Почти одновременно с этим (задержка 0,5 сек) на электрод очищающего поля подается высокое напряжение и включается мотор перетяжки пленки, который выключается через 4 сек. За 3,5 сек перед прохождением следующего импульса частиц электрическое поле снимается и затем цикл повторяется снова.

При 10-секундном цикле работы с ускорителем камера работала очень устойчиво до 10-15 часов и на каждой фотографии получалось 10-30 следов мезонов хорошего качества. Уменьшение цикла до 6 сек обычно приводило к тому, что камера не успевала полностью восстанавливать свою чувствительность, на фотографиях появлялись частые разрывы треков и их количество уменьшалось. Сокращению цикла работы препятствуют большой фон сопутствующих излучений в зале, где расположена установка. Этот фон остается значительным, несмотря на то, что: 1) камера экранирована обмотками возбуждения и ярмом магнита и 2) магнитное поле приложено постоянно и в большой мере локализует фоновые частицы.

В заключение приводятся две фотографии случаев упругого рассеяния Π^- -мезонов с энергией 150 Мэв на протонах (рис. 3 и 4).

Д и с к у с с и я

И.П.Явор.

Импульсные лампы у вас находятся в магнитном поле. Не было ли случаев, когда эти лампы лопались?

П.Ф.Ермолов.

Такие случаи были. Лампы выходили быстро из строя по причине плохого закрепления или же в результате перегрева. После изменения крепления электродов и установки вентилятора срок службы ламп достигал 2000 вспышек.

И.П.Явор.

Чем определяется этот срок службы?

П.Ф.Ермолов.

Портится один из электродов - катод или анод, и лампы начинают пробиваться произвольно или появляются трещины.

И.П.Явор.

Я также замечал, что один электрод портится. Можно не дожидаться того, чтобы он полностью испортился, а поменять анод и катод местами. Тогда срок службы ламп можно значительно увеличить.

П.Ф.Ермолов.

Мы этого не пробовали.

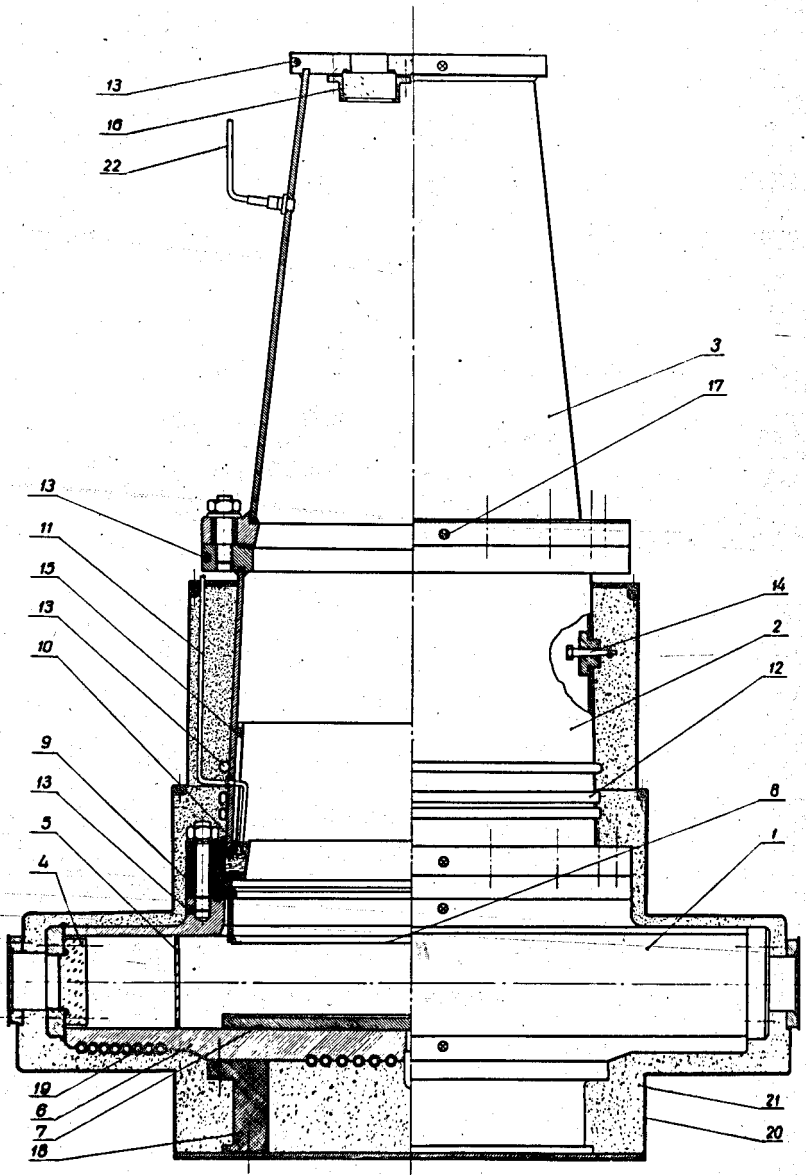


Рис. 1. Схематический чертеж диффузионной камеры.

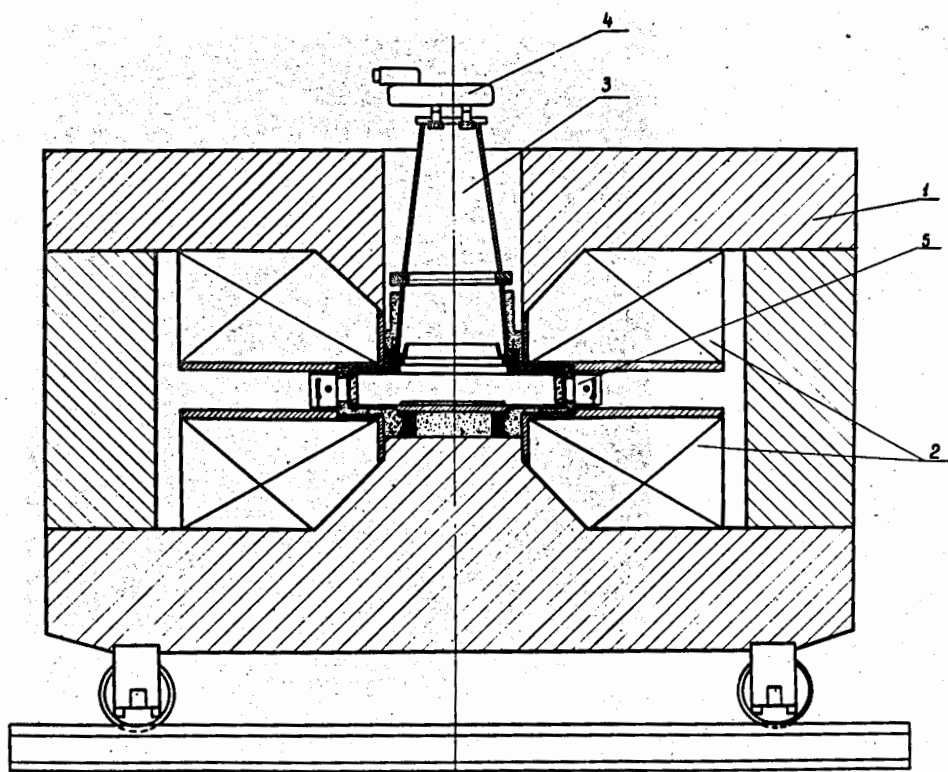
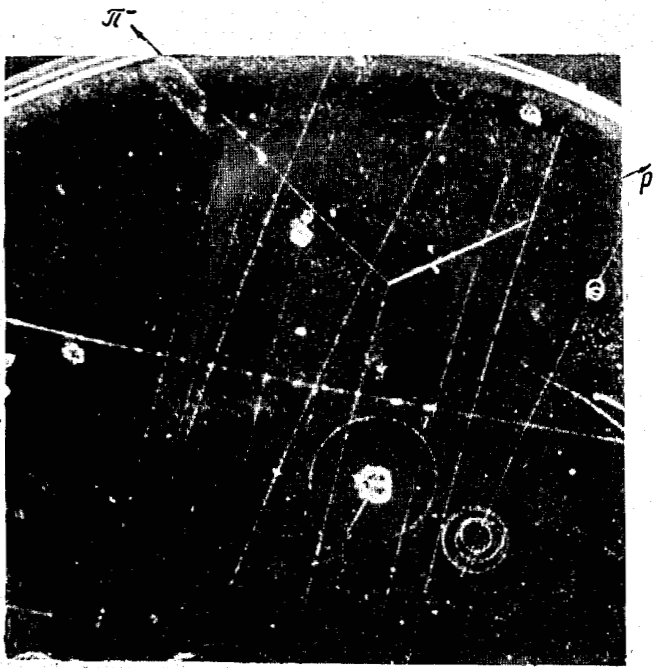
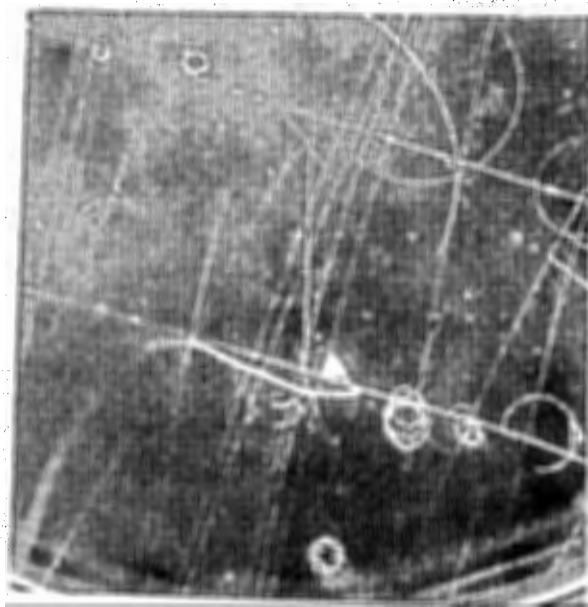


Рис.2. Диффузионная камера в магните МС-4А



π^- (150 M98)
PUC.3

1^p



↑ π (150m38) ↓ π -
PUC. 4.

ПРОЕКТ БОЛЬШОЙ ДИФУЗИОННОЙ КАМЕРЫ ВЫСОКОГО
ДАВЛЕНИЯ В ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ю.П.Вахрушин, М.С.Козодаев, Э.В.Козубский, Б.В.Рождественский,
Р.М.Суляев и А.И.Филиппов

(Объединенный институт ядерных исследований)

Для исследований на синхротроне Объединенного института ядерных исследований спроектирована и в настоящее время строится диффузионная камера с рабочим объемом 1000x500x60 мм, рассчитанная на давление 30 атмосфер. Конструктивно камера выполнена следующим образом (рис.1 и 2): цилиндрический сосуд с коробовыми днищами является внешней оболочкой, рассчитанной на проектное давление. Внутри этого сосуда размещена собственно камера, стенки которой не подвержены действию перепада давления. Температурное распределение в камере задается стенками, выполненными из нержавеющей стали толщиной 5 мм. Для задания температурного распределения и его регулирования камера снабжена нагревателями. Для этой же цели служит бакелитовая прокладка, толщиной 20 мм. Дно камеры, выполненное из меди, толщиной 5 мм, охлаждается ацетоном, прокачиваемым через систему трубок. Камера теплоизолирована от внешней среды с помощью пробки - экспанзита, наклеенной на бакелитовой смоле внутри несущего кожуха. Источником пара в камере служит желоб с метиловым спиртом, уровень жидкости в котором контролируется специальным датчиком. Для измерения температур внутри камеры размещено несколько термодатчиков, показания

которых фиксируются с помощью многоканального потенциометра типа ЭПП-09. Для освещения камеры вдоль ее короткой стороны смонтированы окна, свет в которые направляется через иллюминаторы в верхней крышке и поворачивается с помощью зеркала, поставленного под углом 45° к окну. Таким образом, исключается необходимость делать уплотнение осветительного окна при низкой температуре. В верхней крышке имеется также пара иллюминаторов для фотографирования камеры.

Охлаждение камеры будет производиться ацетоном, охлаждаемым в свою очередь, с помощью холодильного агрегата ФДС-I, производительностью 1000 ккал/час. Температура дна камеры - 70°C . Собственно камера выполняется герметичной на небольшой перепад давления. Равенство давлений в объемах, разделенных стенками камеры, обеспечивается автоматически с помощью регулятора давления.

Камера предназначена для работы в импульсном магнитном поле, которое создается импульсной катушкой с железом ИК-3-4 (рис.3). Магнит обеспечивает при высокой равномерности магнитного поля (+5% по всему рабочему объему камеры) напряженность в центре 12000 эрст. (в непрерывном режиме работы) и соответственно 16.000 и 20000 эрстедт при цикле в 12 сек и 24 сек. Вес магнита составляет около 170 т. Средняя потребляемая мощность - 5000 квт и в импульсе максимальная - 18000 квт. Охлаждение магнита водяное; вода циркулирует внутри токонесущих проводов сечением 46 x 46 мм. Отверстие в верхней катушке магнита позволяет свободно снять камеру без разборки магнита. Магнит проектировался

таким образом, чтобы по возможности обеспечить свободное пространство вблизи камеры для размещения электронной аппаратуры в случае необходимости постановки комплексных экспериментов. Контроль за работой камеры и управление работой всех вспомогательных устройств осуществляется со специального пульта управления, откуда можно регулировать ток через нагреватели, контролировать температуру отдельных точек камеры, наблюдать за режимом работы импульсных ламп, вести контроль за перетяжкой пленки в фотоаппарате и т.д. Специальный осциллограф, размещенный на пульте управления позволяет контролировать момент достижения максимума тока через магнит, момент прохода частиц через камеру и момент вспышки импульсных ламп. Таким образом обеспечивается визуальный контроль за правильностью совместной работы ускорителя, магнита и камеры. Цикл работы установки жестко привязывается к циклу работы ускорителя.

Фотографирование камеры предполагается производить стереофотоаппаратом с базой 420 мм, снабженным широкоугольными объективами с углом зрения 90° , с расстояния 800 мм. Для фотографирования будет использоваться 80 мм высокочувствительная фотопленка типа "панхром 10". Ось базы фотоаппарата располагается перпендикулярно к направлению полета частиц, т.е. вдоль короткой стороны камеры, что даст возможность обеспечить более точное измерение Z - координаты на большинстве стереоснимков. Съемка будет производиться на одну пленку.

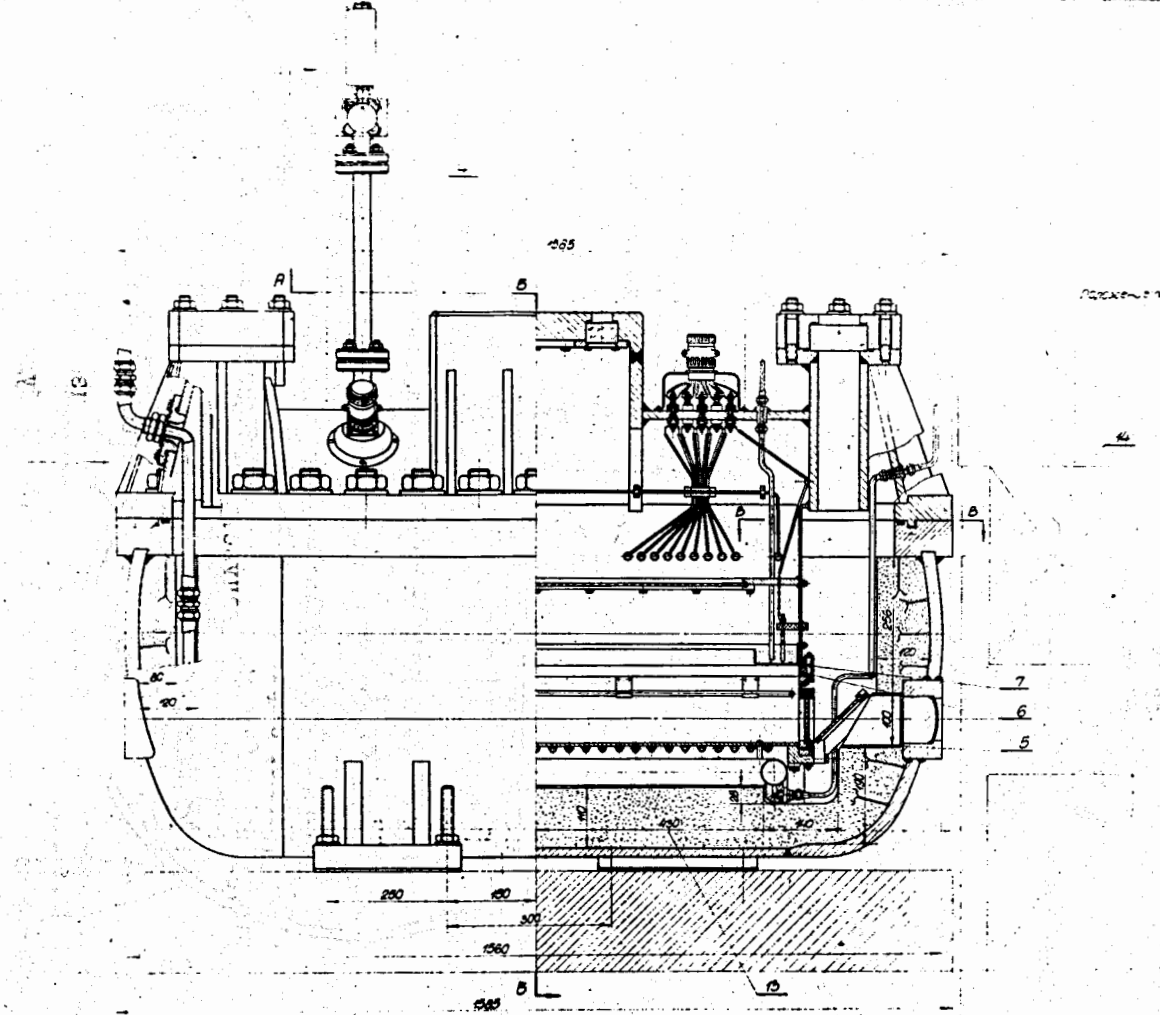


Рис. I

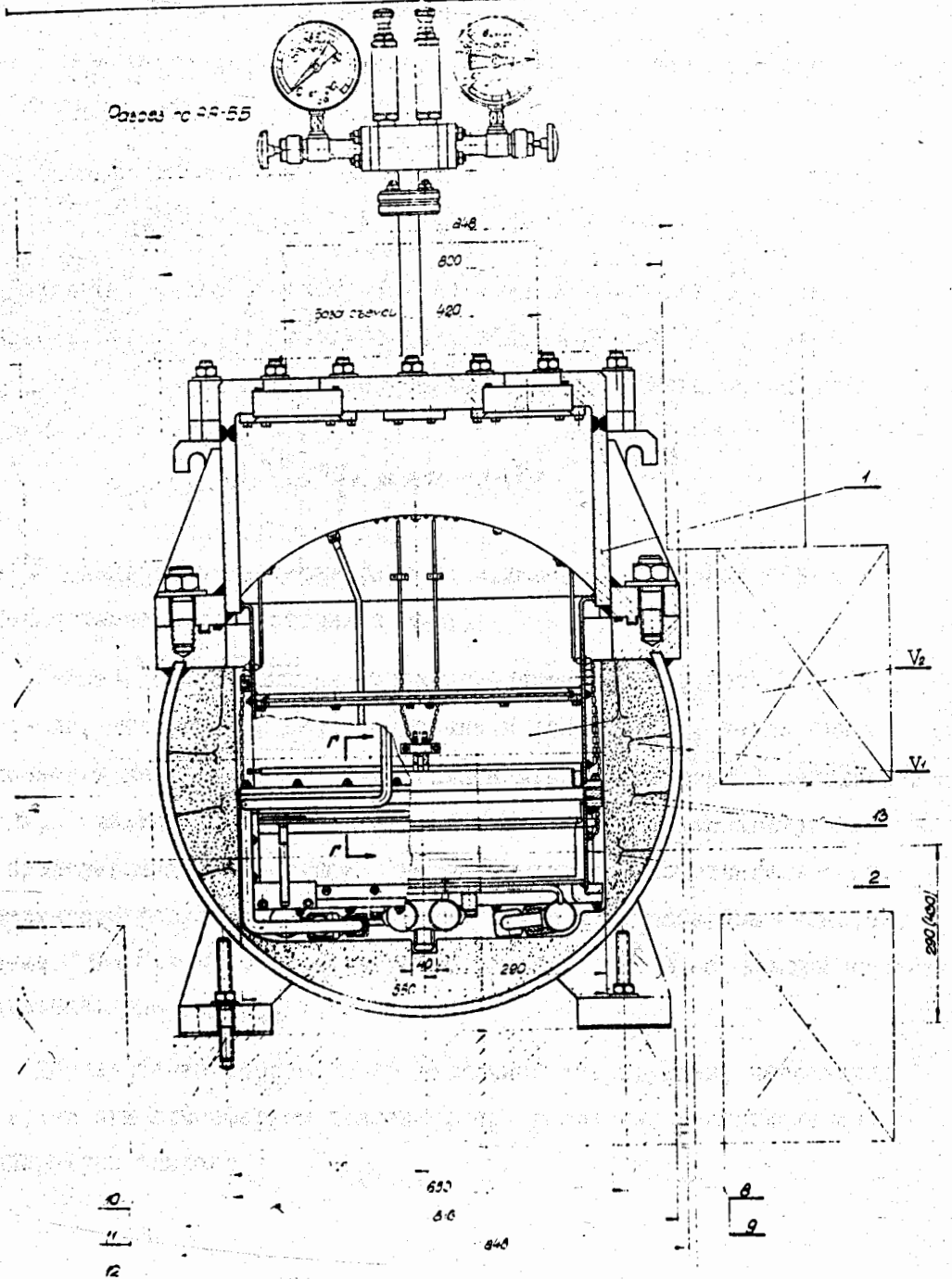


Рис.2

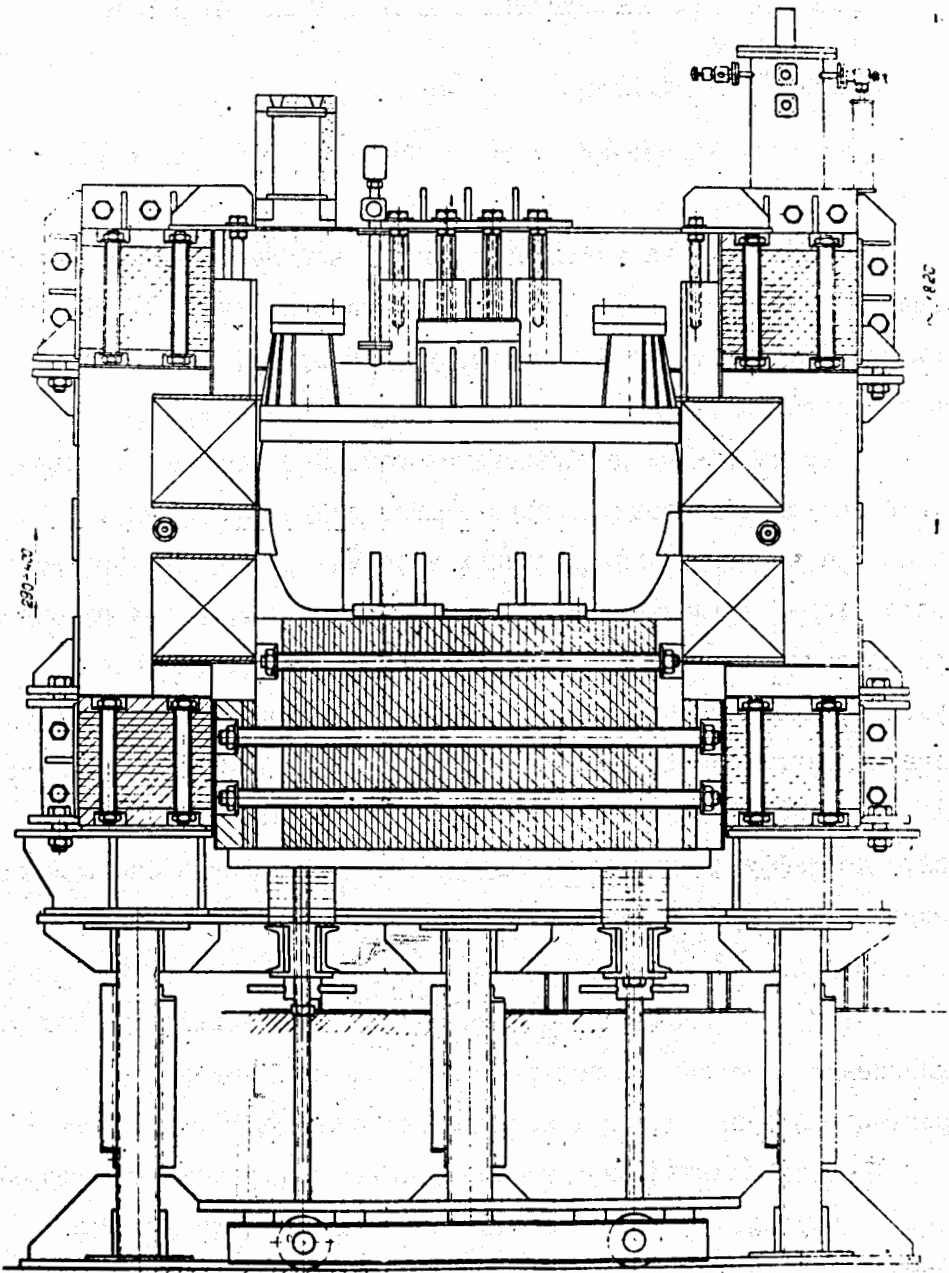


Рис.3

РАБОТА ДИФФУЗИОННОЙ КАМЕРЫ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 атм.

А.Эккардт, Ф.Швабе, Э.Грейнер.

(Физико-технический институт Иенского университета, ГДР).

Основываясь на накопленном опыте в области диффузионных камер, мы, сотрудники физико-технического института Иенского университета, построили диффузионную камеру для работы при высоких давлениях.

Впервые такими диффузионными камерами для высоких давлений занимались Креве и Эванс в 1952 году в Ливерпуле. Их камера работала при давлениях водорода до 30 атм. Вскоре после этого, в том же году Вайкопф построил камеру для работы при давлении в 50 атм., которая давала еще заметные следы, но чувствительный слой которой был слишком низок для того, чтобы камера могла использоваться эффективно.

Вышеперечисленные авторы придерживались той точки зрения, что диффузионная камера достаточно эффективна при давлении только примерно до 30 атм. Мы же попытались расширить этот предел.

На рис. I показана конструкция камеры. Весь корпус камеры выполнен из цельного материала. К сожалению, нам пришлось применить латунь, так как нержавеющей стали в ГДР не было.

Вверху диффузионная камера покрывалась усеченным стеклянным конусом, заключенным в металлическую оболочку. Эта оболочка прикреплялась к стеклу при помощи смолы, которая выдерживает температуру до 150°.

На рисунке 2 показано дно камеры. Дно камеры выполнено в виде змеевика из меди, окруженного свинцом, и теплоизолировано по отношению к корпусу камеры. Окна для освещения выполнены из стекла и уплотнены с помощью тефлона. Внутренний объем камеры окружен стеклянным кольцом, которое препятствует возникновению турбулентных завихрений и играет также роль теплоизоляции.

Вверху находится кольцо со спиртом. Пары спирта диффундируют и внизу конденсируются. Внизу помещается небольшой мембранный насос, с помощью которого спирт вновь возвращается в это кольцо. Дно имело несколько выпуклую форму, чтобы конденсат образовывал только тонкую пленку. Измерения Франка и Герца показали, что при нормальном давлении и при высоте слоя жидкости на дне в 1 мм перепад температуры составляет 16°C . Этот перепад температуры немного выше при высоком давлении. Поэтому создание пересыщенного пространства становится уже невозможным. То же самое относится и к донной части камеры. Поэтому мы были вынуждены перейти к донной части другой конструкции. Теперь дно состоит только из меди, которая в силу большой теплопроводности не представляет значительного переходного сопротивления. Охлаждение дна производилось непосредственно холодильной установкой, работающей на фреоне 22. Пары фреона поступают через первую трубку, распространяются равномерно вверх, затем спускаются вниз и откачиваются. При давлении водорода в 70 атмосфер мы получаем температуру -65°C .

Система наполнения.

В качестве конденсата мы пользовались спиртом и очищали его с помощью алюминиевой амальгамы, чтобы он был чистым и совершенно

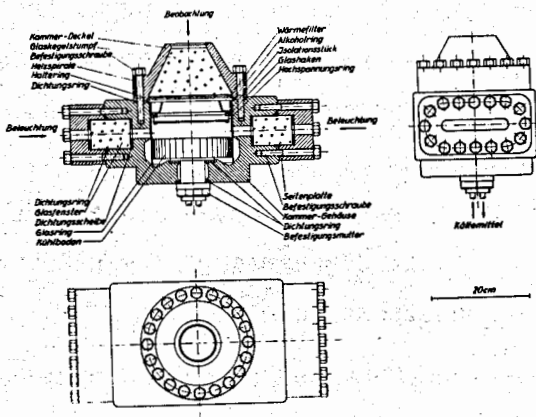


Рис. I

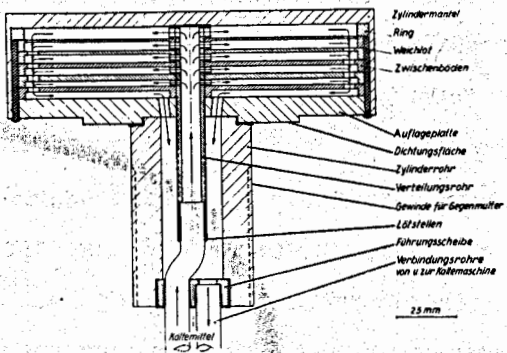


Рис. 2

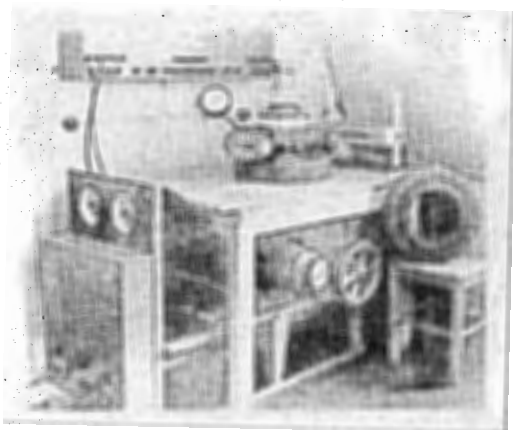


Рис.3

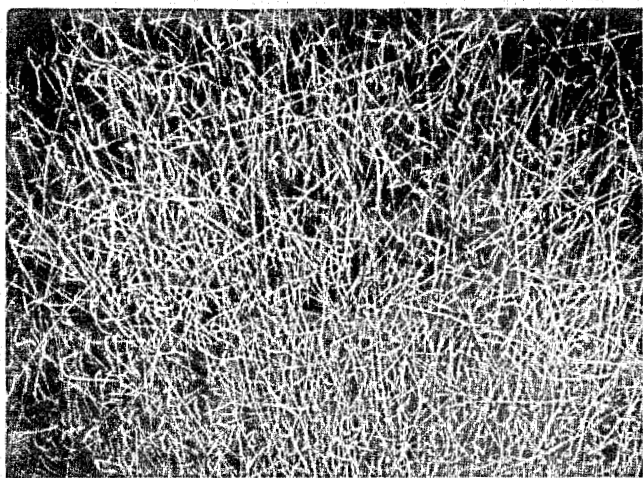


Рис.4

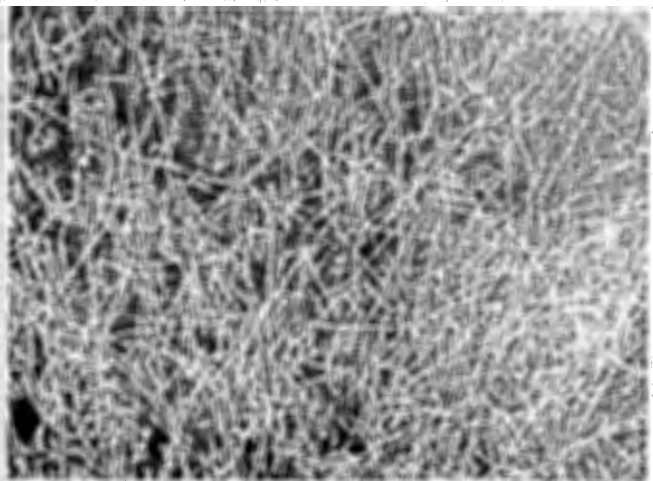


Рис.5

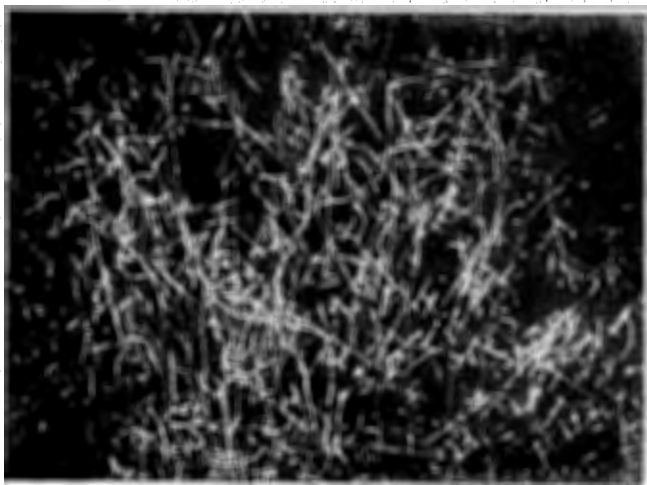


Рис.6

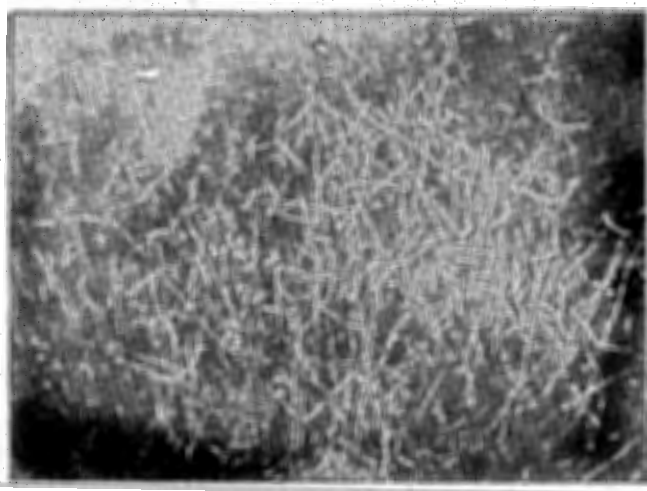
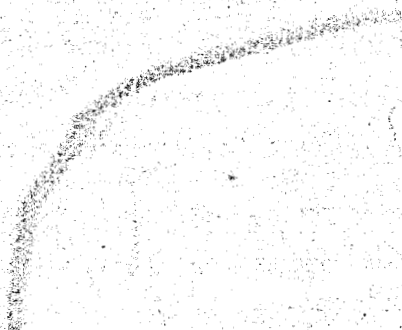


Рис. 7



не содержал воды. В противном случае образуются комплексы ассоциаций, которые выступают в качестве зародышей конденсации и приводят к образованию сильного тумана. До этого мы выкачиваем полностью воздух из камеры и добиваемся, чтобы там совершенно не было воды.

Вокруг диффузионной камеры можно установить пару катушек Гельмгольца, с помощью которых в камере может быть создано импульсное магнитное поле, напряженностью 7600 эрстедт. Неравномерность поля в рабочем объеме составляет 2%.

На рис.3 показан общий вид диффузионной камеры вместе с двухступенчатой холодильной установкой.

Равномерное распределение температуры у крышки камеры достигается с помощью инфракрасного фильтра, который расположен над камерой вместе с соответствующим излучателем.

Сейчас я покажу несколько снимков, сделанных при облучении камеры импульсами одинаковой интенсивности от γ -источника

Гамма-препарат мы использовали для того, чтобы регистрировать уменьшение количества следов на квадратный сантиметр при различных давлениях. Одновременно мы определяли также мертвое время, т.е. тот период времени, который необходим для полного восстановления чувствительности камеры.

На рис.4 показан снимок, сделанный при давлении водорода 20 атмосфер в то время, когда температура крышки составляла 35⁰С. Мертвое время составляло в этом случае 0,8 секунды.

На рис.5 показан снимок, сделанный при давлении 30 атмосфер и температуре крышки 40⁰. Мертвое время составляет в данном случае 2,5 секунды.

Снимок, представленный на рис.6, сделан при давлении 40 атмосфер; температура крышки 45⁰; мертвое время составляет около 40 секунд.

Наблюдается уменьшение количества следов, которое объясняется тем, что уменьшилось количество пара.

На рис.7 представлен снимок, сделанный при давлении 70 атмосфер водорода; температура крышки равна 60°C ; мертвое время достигает приблизительно 3-х минут. В последнее время удалось сократить мертвое время наполовину. Это было достигнуто путем повышения температуры крышки еще на 10° и путем использования очищенных паров. Для того, чтобы сделать температурное распределение более линейным, кожух камеры также несколько прогрелся.

Мертвое время после импульса ионизации может быть уменьшено путем создания в камере электрического поля.

Измерения, произведенные при давлении 70 атм. и при температуре крышки 60° , показали, что с линейным увеличением числа ионов в единице объема камеры N мертвое возрастает как N^3 .

При давлении водорода 70 атм и полезном диаметре камеры 15 см удалось достичь высоты чувствительного слоя в 2 см. В настоящее время продолжают работы по достижению требуемого предела в 100 атм.

Н.А.Добротин:

Для каких работ предназначается эта камера?

д-р Ф.Швабе:

В первую очередь камера предназначается для изучения диффузионных и конвективных процессов самой диффузионной камеры, а в дальнейшем она будет использована для работ с электронным ускорителем, а также с ускорителем тяжелых частиц.

В.К.Ляпидевский:

Мертвое время измерялось в присутствии электрического поля или без него?

Ф.Швабе:

Мертвое время измерялось без электрического поля. Я уже говорил, что время можно уменьшить путем создания в камере электрического поля.

В.К.Ляпидевский:

Какая величина температурных градиентов в чувствительном слое?

Ф.Швабе:

Около $8^{\circ}\text{C}/\text{см}$, но точно я не могу сказать.

В.К.Ляпидевский:

Каково было расстояние между дном и кольцом со спиртом?

Ф.Швабе:

Следуя работе Гетке, который, установил для малых камер соотношение диаметра к высоте, мы избрали высоту, равную 7 см при диаметре камеры 15 см.