

С 344.19

С-60

Соловьев М.И.

51-827

ПРОПАНОВАЯ

пузырьковая —  
— камера

— ПК-2 —

Лаборатория Физики Высоких Энергий

О И Я И

СЗ44.1

С-60

П Р О П А Н О В А Я

ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА

ПК - 2

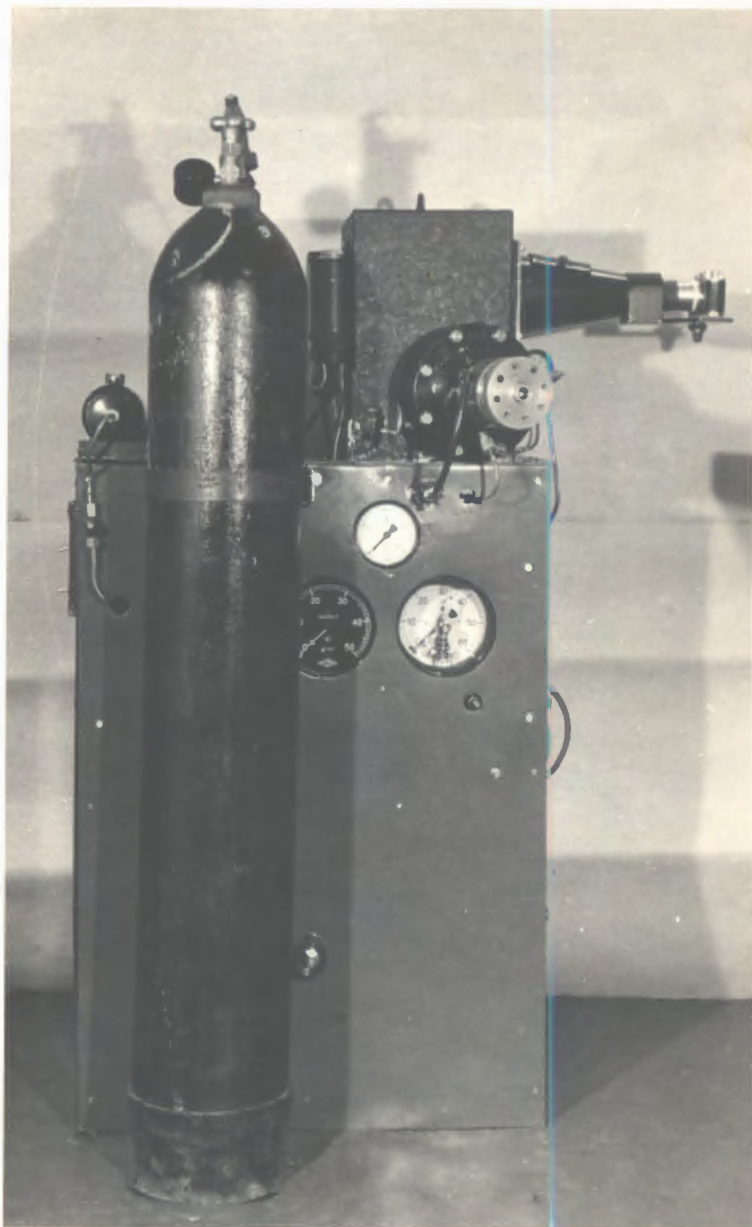
Регистрация  
в Институте Физики  
26 X 1956 г.

Исполнители: Соловьев М.И.  
Кладницкая Е.Н.  
Смирнов Н.А.

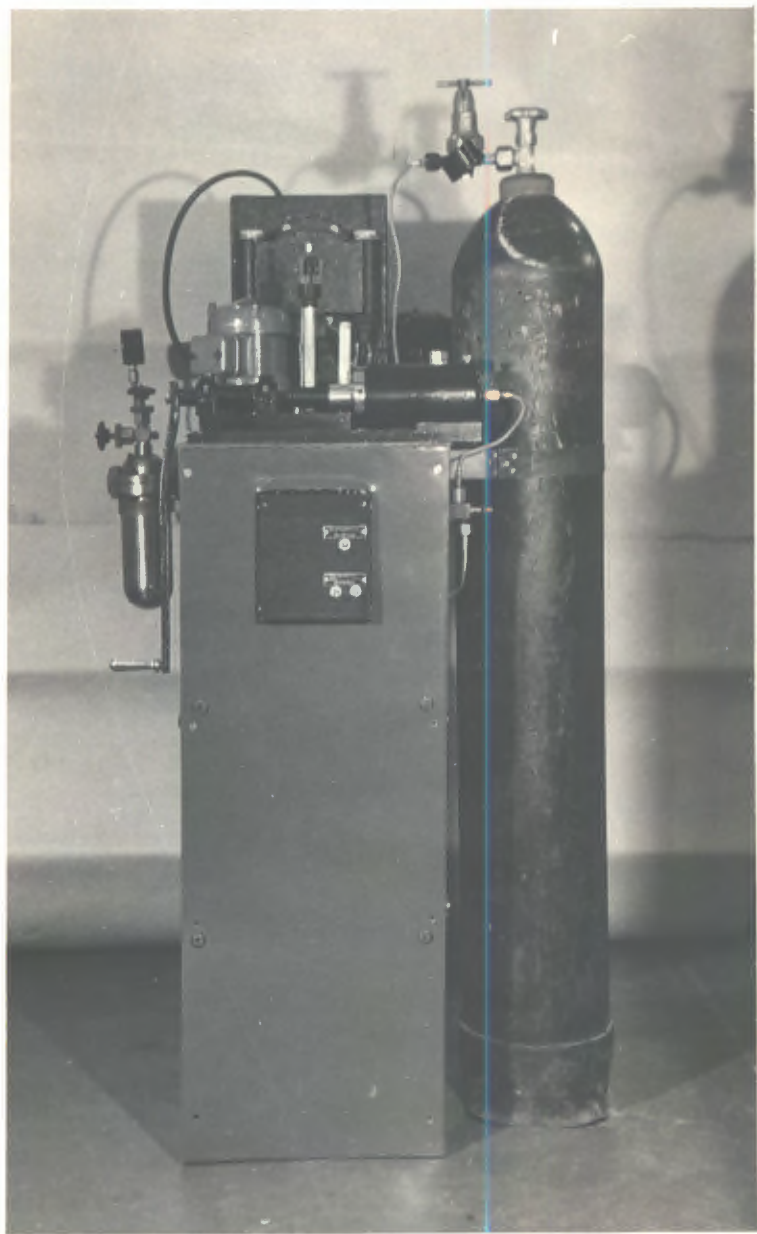
Отчет составил - Соловьев М.И.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

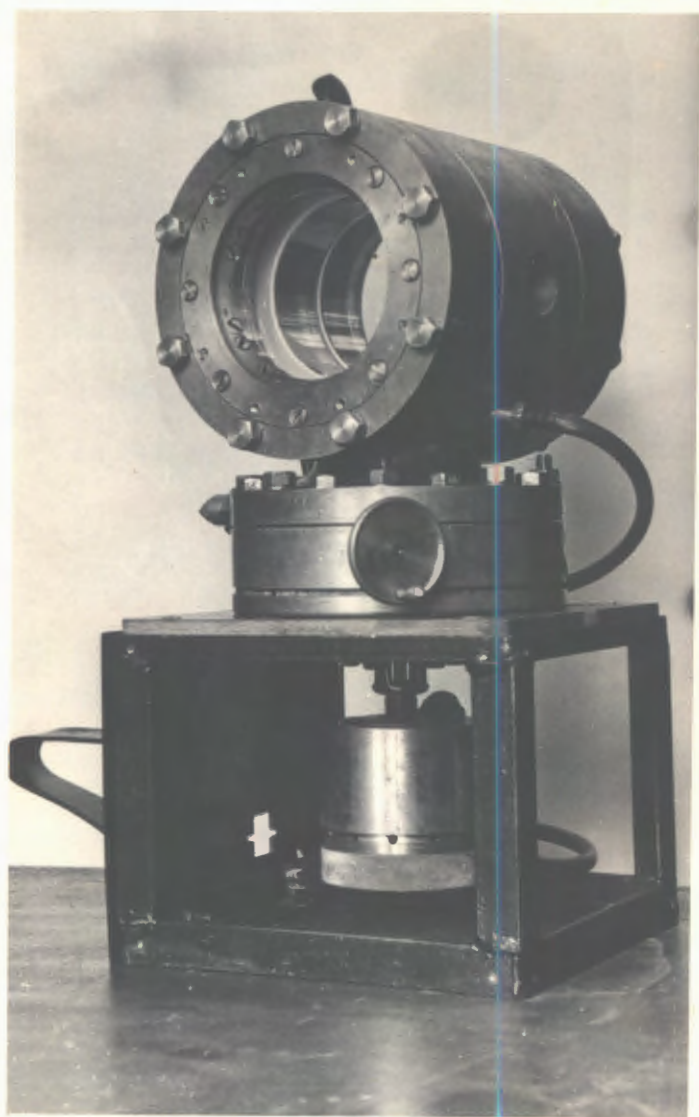
И ю л ь 1956 года



Общ. вид ПК-2



Общии вид ПК-2.



ПК-2 без С.Н.П. и  
промежуточного объектива.  
Кожух снят.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

1.	Введение	стр.	1
2.	Краткий обзор	"	2
3.	Литература по пузырьковым камерам	"	10
4.	Пузырьковая камера ПК-2	"	12
а)	Конструкция пузырьковой камеры ПК-2	"	15
б)	Испитание прочности стекол и их уплотнений	"	31
в)	Очистка пропана	"	31
г)	Наполнение ПК-2 пропаном	"	32
д)	Исследование рабочего режима пропановой пузырьковой камеры ПК-2	"	36
е)	Исследование временных характеристик ПК-2	"	41
ж)	О возможности применения пузырьковой камеры в горизонтальном зазоре магнита	"	47
з)	Заключение.	"	50

## ВВЕДЕНИЕ

Пузырьковая камера очень быстро входит в арсенал физика - экспериментатора благодаря многим своим положительным свойствам, для знакомства с которыми дается краткий обзор.

Кроме опубликованных результатов, в обзоре приводятся данные, сообщенные на Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий и на Женевской конференции.

Везде делается ссылка на источник.

Приводится список литературы и по теории роста пузырьков в перегретой жидкости, но теоретическая сторона вопроса не разбирается.

В отчёте подробно описывается конструкция пузырьковой камеры "ПК-2" 5 сектора ЭФЛАП СССР и проведенные с ней методические исследования.

ПК-2 предназначена для приобретения навыка работы с пузырьковыми камерами и конструктивного решения ряда узлов с целью изготовления камер большого размера с магнитным полем для использования в пучке синхрофазотрона.

### КРАТКИЙ ОБЗОР.

В мае 1952 года Д. Глазер опубликовал (1) результат поисков такого регистрирующего инструмента, который сочетал бы в себе плотность, близкую к фотоэмульсиям и размеры камер Вильсона, работающего по регистрации событий в коротком промежутке времени.

О том, что чистая жидкость может быть нагрета выше температуры кипения и не кипеть было известно давно, но Глазер установил, что в присутствии радиоактивного источника такая перегретая жидкость моментально вскипает.

Так родилась жидкостная или, иначе, пузырьковая камера (1 - 6).

Выбор рабочей жидкости весьма широк. Известно, что камеры работают на диэтиловом эфире (2, 3, 5), пентане (9, 10, 16, 27, 36) изопентане (9, 10) пропане (14, 28, 35), жидком водороде (4, 5, 18, 19, 25, 29, 40, 41), жидком азоте (5), жидком гелии (20, 26, 37), жидком ксеноне (31, 34), жидком дейтерии (42), смеси  $\text{CO}_2$  + этиловый эфир (17, 30), фреоне (43) и др.

Плотность всех этих жидкостей различна. Плотность пропана около  $0,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Это в 300 раз больше, чем плотность в обычной камере Вильсона, наполненной аргоном.

Плотность ксенона  $2,8 \text{ г/см}^3$  почти равна плотности фотоэмульсии.

Экспериментатор может подобрать жидкость с нужным сортом ядер.



Для изучения взаимодействия с протонами можно построить камеру с жидким водородом — это будет чисто протонная камера, (плотность водорода  $0,07 \text{ г/см}^3$ ) или взять органическую жидкость с большим содержанием водорода, например, пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Для изучения взаимодействия со сложными ядрами можно взять другие жидкости.

Тот факт, что в пузырьковой камере жидкость содержит только нужные (или почти только нужные) ядра, упрощает интерпретацию происшедшего события, облегчает обработку результатов и сокращает продолжительность эксперимента.

Пузырьковая камера может быть поставлена в магнитное поле. Если жидкость состоит из ядер с малым  $Z$  (водород), то точность измерения кривизны увеличивается, т.к. кулоновское рассеяние, пропорциональное  $Z^2$ , уменьшается.

Одной из особенностей пузырьковой камеры при работе с ускорителями — является нечувствительность к фону. Нечувствительность к фону объясняется тем, что фон распределен во времени равномерно, а регистрация события происходит в узком интервале времени, короче миллисекунды. Когда камера не перегрета, то ионизация, созданная частицей, проходящей через жидкость, не вызывает образования пузырьков. Образование пузырьков происходит только тогда, когда частица проходит в перегретой жидкости. Перегрев осуществляется быстрым сбросом давления.

По электростатической теории (5,12,13,15) начальное давление сферического пузырька с  $n$  — ионами может быть выражено равновесным уравнением

$$P_n = P + \frac{2\sigma}{R} - \frac{(ne)^2}{8\pi\epsilon R^2}, \text{ где}$$

- $n$  - число ионов  
 $e$  - заряд иона  
 $P$  - гидростатическое давление  
 $\sigma$  - поверхностное натяжение  
 $\epsilon$  - диэлектрическая постоянная  
 $R$  - радиус пузырька.

Для определения температуры, до которой жидкость должна быть перегрета, чтобы пузырек с  $n$  - ионами вырос до видимых размеров, можно написать уравнение, где нет зависимости от радиуса (3,5). Этот перегрев должен быть таким, чтобы давление внутри пузырька было больше давления, приложенного к жидкости на величину

$$P_n(T) = \frac{3}{2} \left( \frac{4\pi}{h^2 e^2} \right)^{1/3} [\sigma(T)]^{4/3} [\epsilon(T)]^{1/3}$$

Камеры больших размеров из металла и стекла остаются чувствительными в течение  $10 \div 40 \text{ ms}$ .

Затем начинается закипание на стенках, давление в камере возрастает, условия для образования и роста пузырьков прекращаются, т.к. созданное ионизирующей частицей зародышевое образование пузырька захлебывается возросшим давлением.

Зародышевые образования из-за сильной рекомбинации ионов в жидкости ( $\approx 10^{-8}$  сек) не сохраняются.

Этот факт называют "отсутствием памяти" у пузырьков камер.

В отличие от камер Вильсона, в которых расширение можно производить как до, так и после прохождения частицы, в пузырьковых камерах расширение необходимо производить перед приходом

импульса частиц. Это затрудняет применение пузырьковой камеры для регистрации космического излучения и делает очень удобной для работы с ускорителями. Для камер размера около 1 л. время восстановления меньше 5 сек, что позволяет регистрировать каждый импульс интенсивности нашей машины.

По сообщению Альвареса (42), даже такая громадная пузырьковая камера с жидким водородом, как 500 литровая, будет иметь время восстановления не больше 1 минуты. Эта водородная камера поставлена в магнитном поле 15000 эрстед. Имеет размеры 72x20x15 дюймов.

Типичная фотография следов в жидко-водородной камере  $\varnothing 25$  см с магнитным полем 8000 эрстед показана на рис. I.

В настоящее время ведутся работы по увеличению времени чувствительности пузырьковых камер (27, 39, 43) и сокращению времени восстановления.

Улучшения этих характеристик позволит применить пузырьковую камеру для экспериментов с космическим излучением.

Здесь возможны два направления: х)

а) Чистые камеры - камеры изготовленные целиком из стекла. В этих камерах дольше не начинается закипание на стенках. Время чувствительности таких камер несколько секунд. Но изготовление таких камер больших размеров затруднено.

х) На Женевской конференции было доложено (39) о попытке управления камерой от счётчиков.



В центре фотографии:  
 $\gamma + e^- \rightarrow e^- + e^+ + e^-$ , причем  
 всю энергию унесут  $2e^-$ ,  
 на долю  $e^+$  приходится  $E < 50 \text{ кэВ}$

Рис. 1.  
 Пузырьковая камера Альвареса  $\beta$  25 см. в магнитном поле  
 8000 эрстед.

б) Пульсирующие камеры - камеры, в которых время чувствительности сравнимо со временем восстановления.

Такая камера сделана в ТТЛ. <sup>(\*)</sup> Наполняется она фреоном. Для сжатия и расширения применен компрессор с устройством, преобразующим синусоидальное изменение давления в ступенчатое.

Цикл повторения - 50 раз в секунду. Эффективное время чувствительности такой камеры около 50%.

Фотографирование происходит только тогда, когда срабатывает схема совпадений от телескопа счётчиков. Схема блокирована, когда нет режима в камере. Работа над этой камерой ещё продолжается.

Интересна также идея газо-жидкой камеры. Подбором компонент и их соотношений можно обеспечить хороший режим. По сообщению (17,30) в таких смесях плотность пузырьков будет мало зависеть от температуры.

Для пропана было проведено измерение плотности ионизации в зависимости от скорости частицы путём подсчёта числа неслившихся пузырьков на единице длины следа.

Блиновым, Крестниковым и Ломановым (44,5) установлено, что для  $\beta < 0,6$  плотность пузырьков  $D \sim \beta^2$ . Ионизация измеряется от минимальной до 8-кратной.

Флуктуации в числе пузырьков на заданной длине подчиняются закону Пуассона.

Наблюдалось релятивистское возрастание плотности следов электронов на 12% при увеличении энергии электронов от 1-5 до 10-100 мев.

(\*) Частное сообщение Алханова А.И.

Глазером (35) для  $\beta > 0,4$  найдено, что плотность ионизации, измеренная по среднему числу пузырьков на единице длины следа, подчиняется закону

$$\lambda = \frac{A}{\beta^2} + B(T) \quad , \text{ где } A = 9,2 \frac{\text{пузырьков}}{\text{см}}$$

$B(T)$  — константа, зависящая от температуры камеры

Число пузырьков на единицу длины следа изменяется с изменением температуры, хотя ионизация частицы будет одной и той же. Чем температура ближе к критической, тем плотность пузырьков больше. Для того, чтобы результат был однозначным, необходимо поддерживать температуру камеры стабильной.

Т.к. Рост пузырьков происходит очень быстро (за время меньше миллисекунды), а расширение, как уже говорилось выше, производится до прихода частицы, то искажения следа из-за движения жидкости нет.

Точность соответствия следа действительному пути частицы гораздо выше, чем в камерах Вильсона.

Фотографии следов лучше.

Из некоторых теоретических работ (8) следует, что без учёта охлаждающего эффекта с повышением температуры уменьшается скорость роста пузырьков, т.к.  $\dot{R}^2 \sim \sigma(T)$ , начиная с некоторого  $R \gg R_0$ ,  $\sigma \rightarrow 0$  при  $T \rightarrow T_c$ , где  $R_0$  — равновесный радиус, начиная с которого пузырек растёт самопроизвольно и наличие ионов на нём не обязательно.

Имеется несколько работ по образованию и росту пузырьков в перегретой жидкости (7,8,11,12,13,15,17), но рассматривать их мы не будем.

К трудностям при работе с пузырьковыми камерами следует отнести:

1. Высокие давления и стабилизацию температуры камер.
2. Низкие температуры и высокие давления для камер с жидким водородом, гелием и др.
3. Пересчёт фотографического изображения, если фотографирование ведется обычным объективом, т.к. показатель преломления жидкости отличен от 1. Для пропана  $n \approx 1,23 + 1,25$ .

Но несмотря на это, за 3 года пузырьковая камера от маленькой колбочки вырастает до целого завода — (500 литровая камера на жидком водороде.)

В любой лаборатории мира, где имеются ускорители, пузырьковая камера успешно развивается.

В Брукхавене, Беркли и др. уже имеется ~~на~~ несколько десятков пузырьковых камер.

Из всего сказанного следует, что для работы с ускорителями желательно иметь для разных задач разные пузырьковые камеры.

Пузырьковые камеры, наполненные разными жидкостями, могут применяться вместе с электроникой.

Для решения различных задач камеры могут стоять как в магнитном поле, так и без магнитного поля.

Для приобретения навыков, выяснения режимов работы, а также конструктивного решения некоторых узлов, была изготовлена в 5 секторе ЭФЛАН СССР пузырьковая камера ПК-2 диаметром 110мм и глубиной 56мм.

Камера наполнялась пропаном, не может быть исполнена и другой органической жидкостью или смесью газ-жидкость.

# Литература

по нугзырьковски камера.

10.

- |     |   |                      |                    |                   |
|-----|---|----------------------|--------------------|-------------------|
| 1.  | D. Glaser,                                | Phys. Rev,           | 87,                | 665, (1952)       |
| 2.  | D. Glaser,                                | Bull. Am. Phys. Soc. | 28,                | 72, (1953).       |
| 3.  | D. Glaser,                                | Phys. Rev.           | 91,                | 496 " 768, (1953) |
| 4.  | Hildebrand and<br>Nagle,                  | Phys. Rev,           | 92,                | 577, (1953)       |
| 5.  | D. Glaser                                 | Nuov. Cim.<br>Suppl. | 11,<br>2,          | 361, (1954).      |
| 6.  | Wood,                                     | Phys. Rev.           | 94,                | 731, (1954).      |
| 7.  | Foerster and<br>Zuber,                    | J. Appl. Phys.       | 25,                | 477, (1954).      |
| 8.  | Plesset and<br>Zwick                      | J. Appl. Phys.       | 25,                | 493 (1954).       |
| 9.  | D. Glaser,                                | Scient. Am.          |                    | 46 (II-1955)      |
| 10. | Glaser and<br>Rahn,                       | Phys. Rev.           | 97,                | 474, (1955)       |
| 11. | Zwick and<br>Plesset,                     | J. Mat. and<br>Phys. | <u>XXXIII</u> ,    | 308, (1955).      |
| 12. | Bertanza and<br>Martelli                  | Nuov. Cim.           | I n. 2,            | 324, (1955)       |
| 13. | Martelli,                                 | Nuov. Cim.           | <u>XII</u> , n. 2, | 250 (1954)        |
| 14. | Тершин И.И.<br>Блюнов Т.<br>Крестников В. | ДАН СССР             | 99 n. 6            | 929 (1954)        |
| 15. | Bertanza,<br>Martelli,<br>Zacutti         | Nuov. Cim.           | <u>XI</u> n. 6.    | 692 (1954).       |



16. Plano and Pless. Bull. Am. Phys. Soc. 30. 3, 39, (195)
17. Аскариш, ДТ Тдо 28. 175, 636, (195)
18. ~~##~~ Nature 175, 832 (195)
19. Hildebrand and Nagle, Bull. Am. Phys. Soc. 30, 13, (195)
20. Faizbank, Harth, Blevins. Bull. Am. Phys. Soc. 30. 25. (195)
21. K. Grotowski, Post. Fizyk. VI. 338, (195)
22. Dodd Nature 176 142, (195)
23. Miyazawa, Oehme Phys. Rev. 99. 315, (195)
24. Bertanza, Martelli, Zacuti, Nuov. Cim. II, 487 (195)
25. Nagle, Hildebrand Phys. Rev. 100. 959 (195)
26. Faizbank, Harth, Blevins, Slaughter, Phys. Rev. 100. 971 (195)
27. Bassi, Mittner, Scotoni Nuov. Cim. II. 1334 (195)
28. Блюнов Г. Крестников Ю, Першин И. Известия АН. СССР XIX, 758 (195)

- 11
29. Donalds Parmentier,  
A.J. Schwemin Rev. Sci. J. 26, 954 (1955)  
II.
30. Arzan, Gigli Nuov. Cim. III., 1171 (1956).
31. Brown, Glaser,  
Perl Phys. Rev. 102, 586 (1956).
32. Аскарян, ИТЭТФ. 30, 610, (1956).
33. Glaser, обзор по пузырьковым камерам.  
(мембека 1956.)
34. Brown, Glaser, Liquid Xenon Bubble Chamber  
Perl (Конгресс в Мембека, 1956.г.)
35. Glaser, Bubble Counting for the determination  
of Velocities of charged Particles  
in Bubble chambers.  
(мембека конгрессус 1956.)
36. Bassi, Loria,  
Meyer, Mittner,  
Scotoni On n-pentane Bubble chambers.  
(мембека конгрессус 1956.)
37. Harth, Bloch,  
Fairbank,  
Buckingham,  
Slaughter,  
Blevins. Liquid Helium Bubble  
chambers.  
(мембека конгрессус 1956.)
38. Rogozinski et  
Vilain. chambers à bulles en  
construction à Saclay.  
(мембека конгрессус 1956.)

39. Bertanza, Franzini, Martelli, Tallini. An Attempt to Control a Bubble Chamber by Counters. (меневская конференция 1956г.)
40. Alvarez. Liquid Hydrogen Bubble Chambers. (меневская конференция 1956г.)
41. Nagle, Hildebrand, Plano. A Hydrogen Bubble Chamber used for low-Energy Meson Scattering. (меневская, 1956г.)
42. Альварез. Водородная камера напыления дейтерием. Следы взаимодействия. (Частное сообщение. Конференция в Москве, 1956г.)
43. Алеханов А.И. Разработка камеры для регистрации космического излучения. (Частное сообщение во время конференции в Москве, 1956г.)
44. Алеханов А.И. Сообщение об измерении ионизации в жидкостных камерах. (Конференция в Москве, 1956г.)
45. Блинов Т. Крестников Г. Ломанов. (Об измерении ионизации по следу пузырька в пропановой камере. Меньва, 1956г.)

ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА.ПК-2Полный объем 650 см<sup>3</sup>Полезный объем 540 см<sup>3</sup>

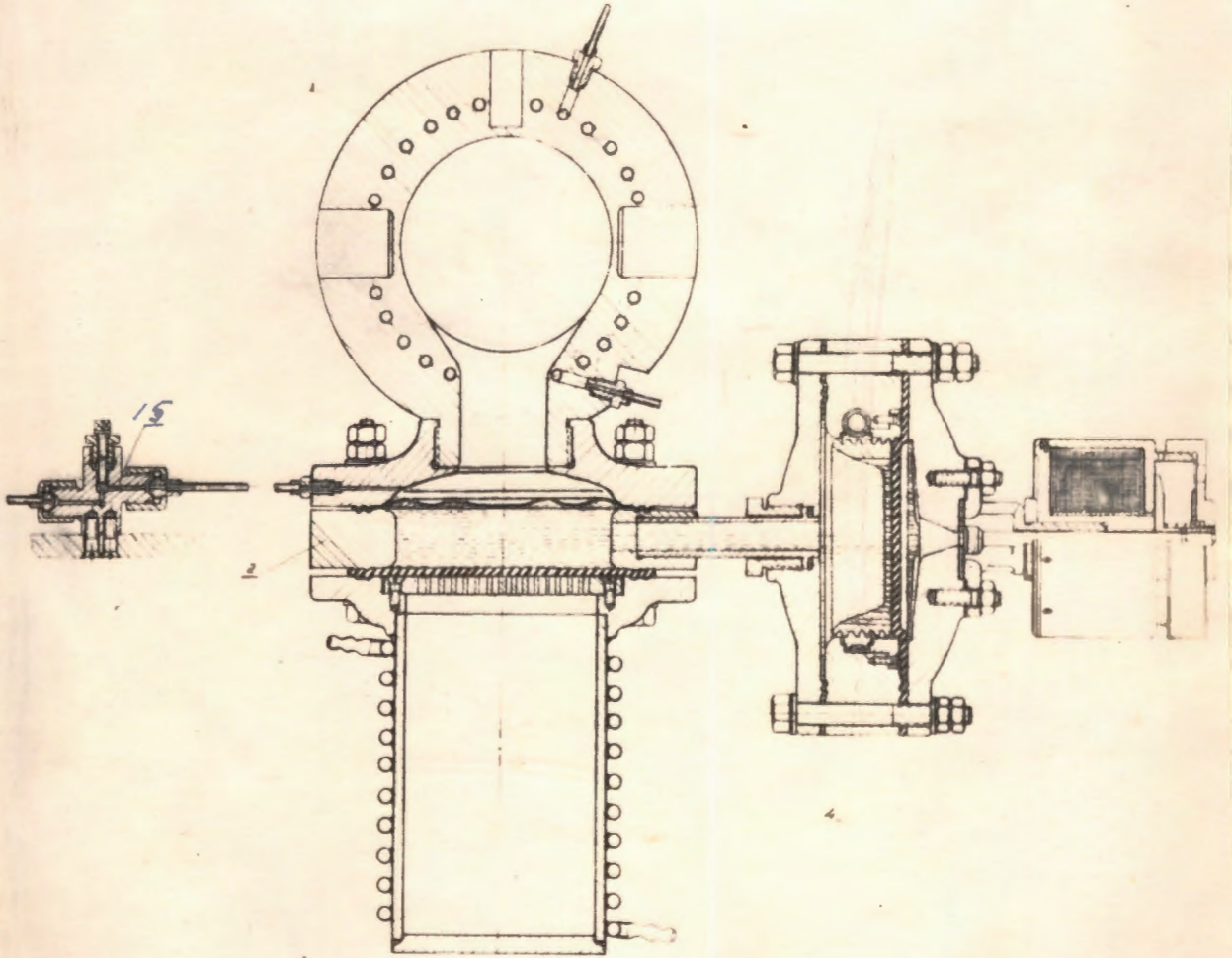
Схематический чертёж ПК-2.

Рис. 2.

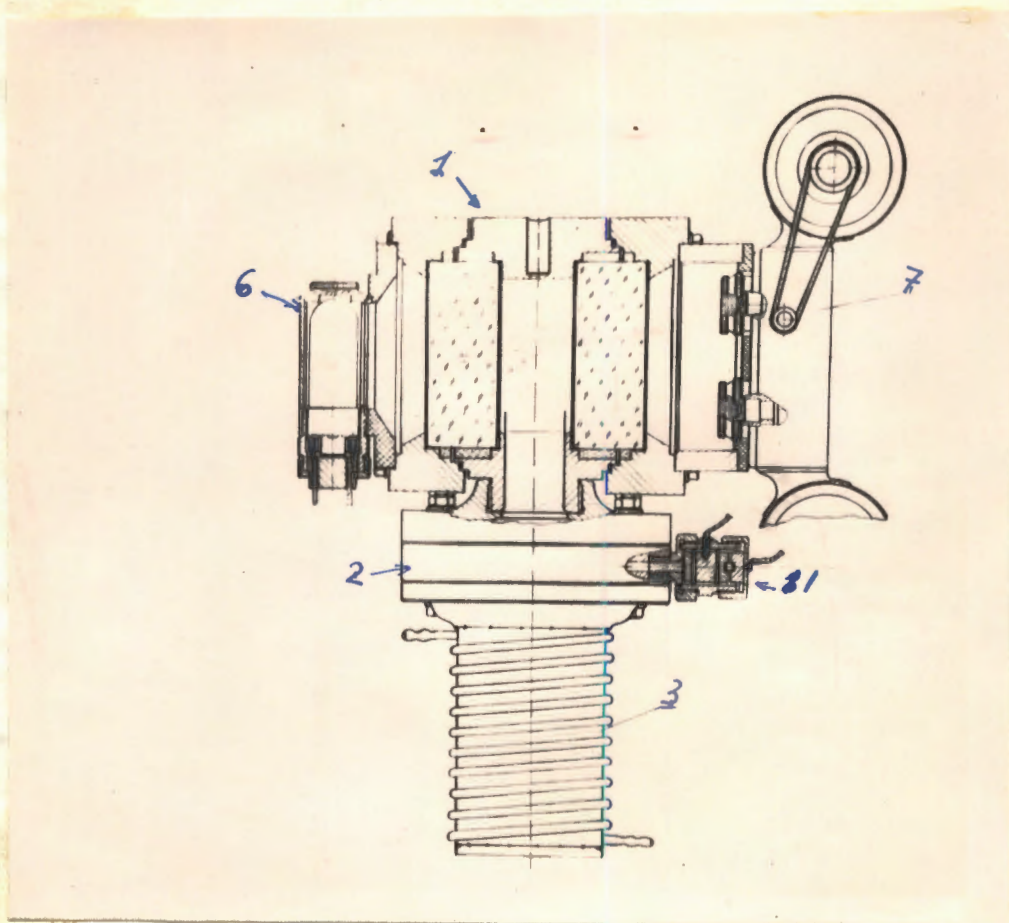
Схематический чертёж ПК-2.

Рис. 3.

## КОНСТРУКЦИЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ПК-2.

1. Собственно камера состоит из латунного цилиндра с наружным диаметром 200 мм и внутренним диаметром 110 мм. С обоих концов цилиндра 8-ю десятимиллиметровыми стальными болтами с помощью латунных фланцев прижимаются стекла из К-8 толщиной 5 мм и диаметром 134 мм. Уплотнение производится фторопластовыми прокладками толщиной 1,5 мм.

Для обогрева камеры вокруг стекол сделаны кольцевые полости, соединенные между собой двадцатью двумя 5 мм отверстиями, просверленными в теле камеры. Нагрев ведется водой от термостата ТС-15.

В корпусе камеры предусмотрено два окна для пучка частиц. В окнах толщина латунной стенки 3 мм.

2. Промежуточный объем заполняется водой. От рабочего объема отделяется диафрагмой из нержавеющей стали, толщиной 0,15 мм. Уплотнение диафрагмы производится по контуру с помощью фторопластовых прокладок, толщиной 0,3 мм, расположенных с обеих сторон диафрагмы.

3. Стабилизатор нижнего порога давления - С.Н.П. - представляет из себя латунный сосуд цилиндрической формы. Наполняется газом, который находится при той же температуре, что и камера С.Н.П. обогревается водой от ТС-15, протекающей по змеевику, напаянному на наружной стенке цилиндра и соединенному последовательно с камерой и ТС-15.

Резиновая диафрагма отделяет промежуточный объем от стабилизатора нижнего порога давления.

Когда в камере давление больше, чем давление в С.Н.П., то резиновая диафрагма прижата к стальной решётке.

При расширении жидкость растягивается и давление пропана в камере стремится упасть ниже заданного в С.Н.П., но не может, т.к. газ изменяет положение диафрагмы удерживает ~~её~~ при фиксированном давлении.

4. Расширитель соединен с промежуточным объёмом через трубку с внутренним диаметром 15 мм и длиной около 100 мм.

Резиновая 4-х мм диафрагма заключена между двумя металлическими решётками, одна из которых неподвижна, а другая может перемещаться.

Один оборот червяка перемещает подвижную решётку на 0,05мм. Диаметр её известен, значит величина изменения объёма то же известна. Перемещение резиновой диафрагмы между двумя решётками соответствует изменению объёма пропана в камере.

В качестве рабочего газа применяли азот и  $\text{CO}_2$ .

5. Магнитный клапан предназначен для запирания <sup>отверстия</sup> выпускного расширителя и быстрого его открывания.



Число витков и ток рассчитаны так, чтобы обеспечить нужный режим работы. Имеется две обмотки: Удерживающая и размагничивающая. Импульс от схемы управления прекращает ток через удерживающую обмотку, а через размагничивающую обмотку разряжается емкость, ток которой течёт в противоположном направлении.

Давление газа и размагничивание приводят к быстрому срабатыванию клапана.

6. Осветитель крепится к одному из флянцев, прижимающих стекла. Предназначен для импульсного освещения рабочего объёма камеры.

Состоит из металлической коробки, по бокам которой имеются гнезда для импульсных ламп ИСС-250. Интенсивность света можно регулировать изменением цели в гнездах, величины емкости и напряжения на конденсаторах.

7. Фотоаппарат крепится (с противоположной осветителю стороны) к другому флянцу. Предназначен для фотографирования событий в объёме камеры.

Т.к. фотографирование ведется в жидкости, где коэффициент преломления отличен от 1 (для  $C_3H_8$   $n \approx 1,23 - 1,25$ ), то необходима специальная оптика или пересчёт. В рабочем объёме камеры с этой целью натянута крестообразно нихромовые нити толщиной 0,1мм.

Фотографирование велось "Зорким", т.к. стереофотоаппарат ещё изготавливается в мастерских. Металлические нити хорошо получаются только при фотографировании на белом фоне. рис. В 4.

8. Термостат ТС-15 применяется для нагрева и поддержания постоянной температуры в камере и в стабилизаторе нижнего порога давления. Точность <sup>регулирования</sup> ~~поддержания~~ температуры  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$  при пределе регулирования от  $+35$  до  $+99^{\circ}\text{C}$ .

9. Схема управления предназначена для управления всеми циклами камеры. Изготовлена радиогруппой 5 сектора. Устройство её описано в отчёте Прокофьева, Степанова, Лебедева.

10. Балластный баллон служит для заполнения поддиафрагменного пространства расширителя до нужного давления. Газ из баллона высокого давления через одноступенчатый редуктор поступает в балластный баллон. Нужное давление в балластном баллоне поддерживается с помощью контактного манометра и электромагнитного клапана. Рис. 5

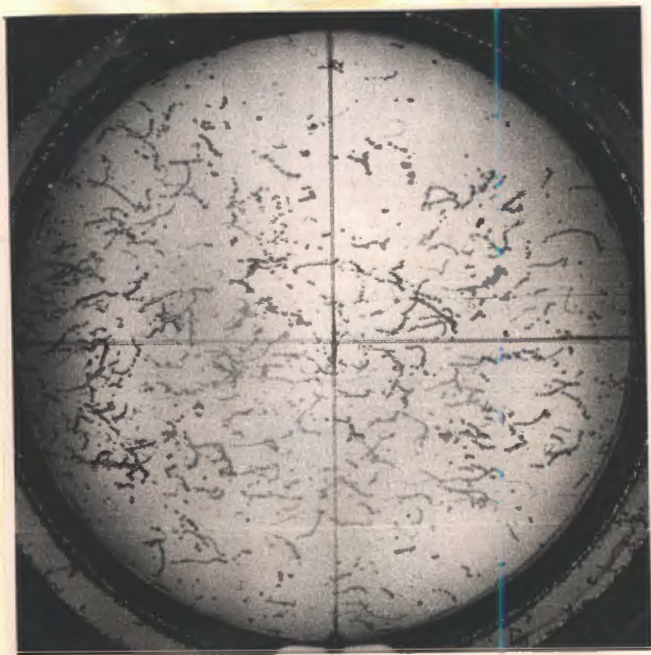


Рис. 4.

11. Манометры предназначены для измерения давления в камере.

Подсоединены они не к объему, заполненному пропаном, а к промежуточному объему, заполненному водой, на которую через диафрагму из нержавеющей стали передается давления пропана.

Манометров два:

а) Для измерения быстро-переменного давления служит пьезо-кварцевый или емкостной манометр. Конструкция позаимствована из книги Турчина "Электрические измерения неэлектрических величин". Рис.6.

б) Для измерения статического давления в камере применен обычный 150мм. Манометр на давление 50ат, класса 2,5.

Манометр включен в одну цепь с гидропрессом. При работе камеры гидропресса и статические манометры отключаются.

12. Гидропресс служит для :

- а) испытания камеры на давление ;
- б) Подачи воды в промежуточный объем ;
- в) Изменения ~~температуры~~ расширения.

Устройство гидропресса и его действие понятно из чертежа. Рис.7.

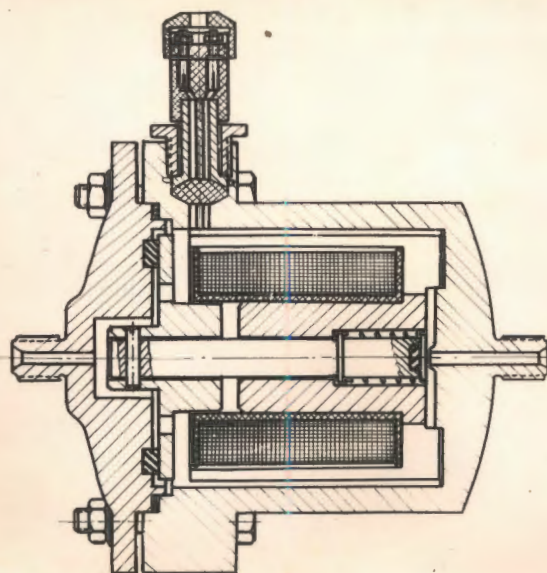


Рис. 5

Схема включения импульсного манометра.

Рис. 6.

Гидропресс

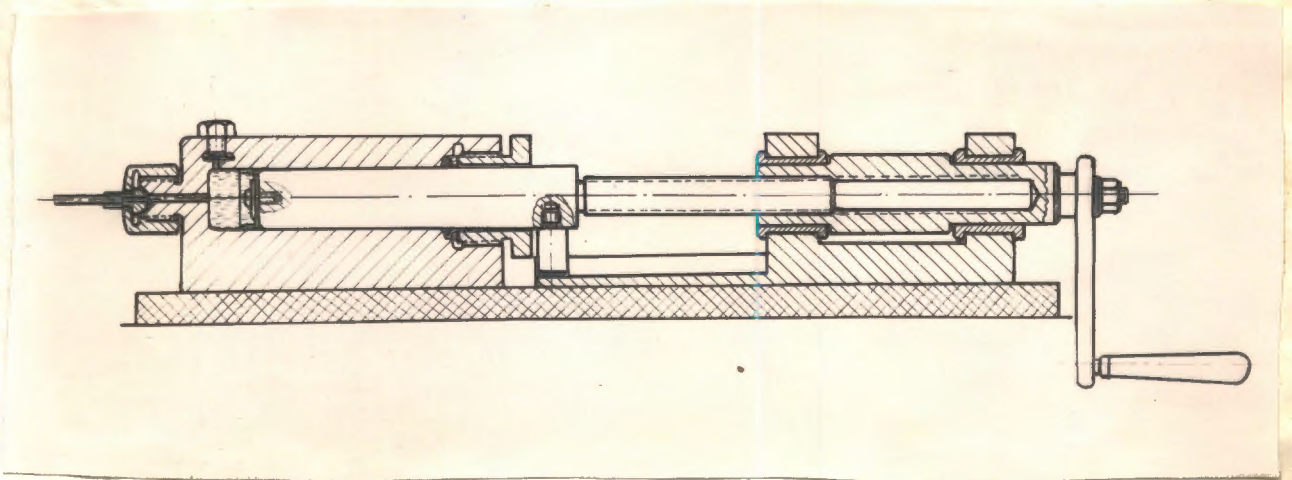


Рис. 7.

13. Клапан быстрого скатия находится на пути от балластного баллона к расширителю. Предназначен для быстрой подачи газа из балластного баллона после закрытия Э-магнитного клапана расширителя.

Это необходимо для захлapyвания пузырьков после фотографирования почти в том же месте, где они образовались. Если произвести такое быстрое скатие, то тепло, выделявшееся на испарение, будет обратно возвращено жидкости при конденсации пузырька.

Если такого клапана нет, то тепло из нижней части камеры вместе с пузырьками переносится в верхнюю её часть. Время восстановления увеличивается. (Такого клапана нет, но он будет изготовлен.)

14. Баллон для очистки пропана и наполнения камеры сделан из стали. Рис. 8а стр. 22.

Баллон имеет два вентиля: один для подсоединения к манометру, другой для подсоединения к камере или к баллону для наполнения.

15. Вентили у ПК-2. Игольчатые, уплотнение фторопластовое. Устройство показано на рисунке № 2.

16. Все соединения производятся медными трубками. Уплотнение в соединении достигается *сх* за счёт соприкосновения полусферической и конусной поверхностей. См. рис. № 2.

### З а м е ч а н и е

По выбору конструктивного решения узлов камеры ПК-2.

I. В первоначальном варианте отверстие для наполнения пропаном было сделано в верхней части корпуса камеры. Длина отверстия до иглы 70 мм,  $\varnothing$  3 мм. Из-за переноса тепла снизу вверх, а

также трудности конденсации газа в разогретом отверстии, при работе возникал фонтан, который искажал картину и нарушал рабочий режим в камере. Перегрева не получалось. Сброс давления за счёт передвижения диафрагмы компенсировался давлением газа из отверстия. Это явление изображено на фотографии рис. 8.

Во втором варианте корпуса это отверстие ликвидировано. Отверстие для наполнения сделано в нижнем фланце камеры, над диафрагмой. Рис. 2-3.

2. Промежуточный объём, повидимому влияет на общую задержку расширения. Чем больше объём (чем больше воды в нём) тем позднее начинается расширение пропана после срабатывания электромагнитного клапана. Поэтому при конструировании надо стремиться к уменьшению промежуточного объёма.

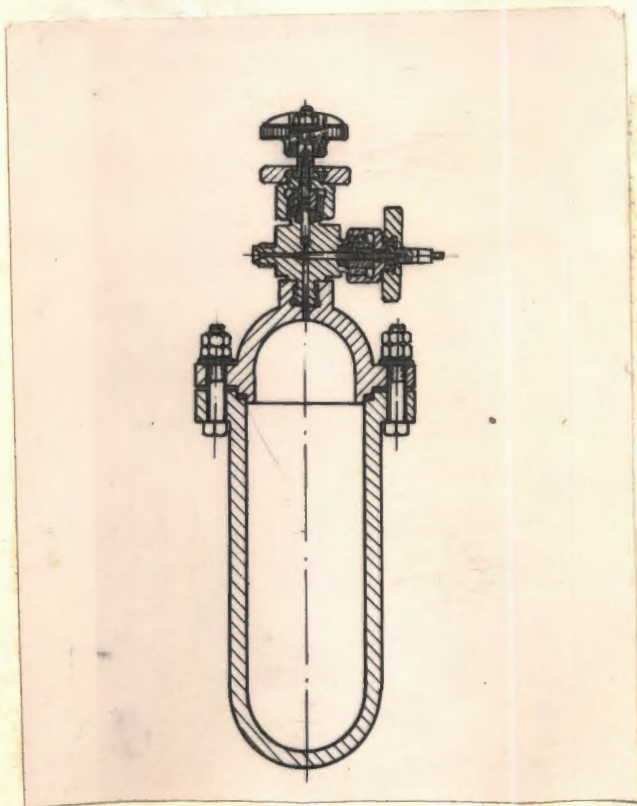


Рис. 8а

Фотография рабочего объема при отверстии для наполне-  
ния в верхней части корпуса камеры.

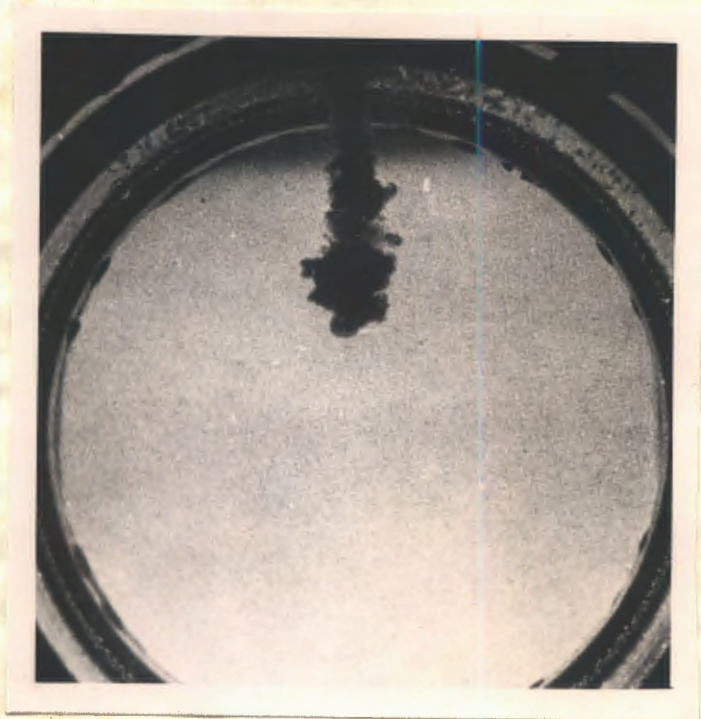


Рис. 8.

3. Можно работать и без стабилизатора нижнего порога давления. Но для работы с ускорителем наличие стабилизатора желательно.

Чтобы условия для роста пузырьков, образованных на ионных центрах в разное время были одинаковым, необходим одинаковый перегрев, т.е. один и тот же нижний порог давления рис. 9.

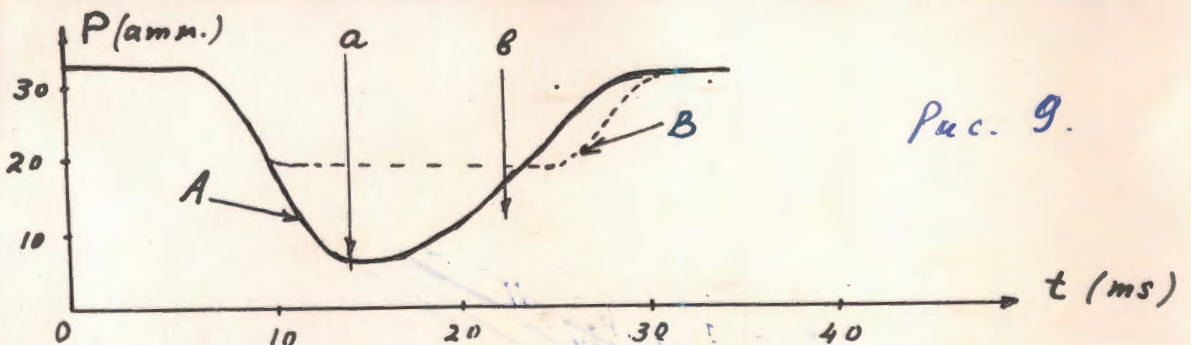


Рис. 9.

А - изменение давления в камере без СНП  
 В - изменение давления с СНП  
 а, в - импульсы частоты от ускорителя.

При выборе размеров стабилизатора надо исходить из того факта, что газ при расширении охлаждается и давление его падает. Если выбрать объем стабилизатора  $V \gg 4V$  ( $4V$  - изменения объема при расширении) и держать стабилизатор при одной и той же температуре, то адиабатическим эффектом можно пренебречь.

4. Для измерения быстро-переменного давления был применен пьезо-кварцевый манометр, а также емкостной.

Необходимо, чтобы соединение манометра с измеряемым объемом осуществлялось через трубку с отверстием большего диаметра и малой длины. У пьезо-кварцевых манометров должна быть хорошая изоляция выводов, а также хорошее экранирование. Влияние всех этих факторов понятно из рассмотрения фото-осциллограмм. Рис. 10, 11, 12, 13.

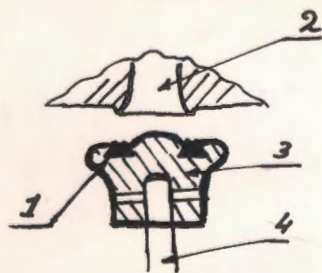
(\*) Аганьену А.О. Начал, Мальцев Э. заканчивает работу с пьезо-кварцевым манометром.



5. Расширитель можно делать и без подвижной решётки. Коэффициент расширения можно задавать гидро-прессом, изменяя количество воды в промежуточном объеме и расширителе. Изменение этого объема можно проградуировать.

Но регулировка только водой может привести к постоянному смещению диафрагмы в одну сторону и к разрыву её см. рис. 14.

6. Тарелка магнитного клапана в начале имела уплотнение из фторопласта 4 рис. № 15.



- 1 - фторопластовое  
кольцо  
2 - Выхлпное сопло  
3 - клапанная тарелка  
4 - Шток

Рис. 15

При работе выяснилось, что это устройство работает нестабильно. Фторопласт деформируется. Магнитный зазор изменяется. Даже при очень стабильном давлении в поддиафрагменном пространстве и хорошей повторяемости срабатывания схемы, имеется значительный разброс в отрыве клапана.

Была выбрана конструкция с самоуплотнением, которая изображена выше на общем виде. 17к-2, рис. 2.

Влияние качества изоляции, экранировки, ширины и длины соединительной трубки на показания пьезо-кварцевого манометра.

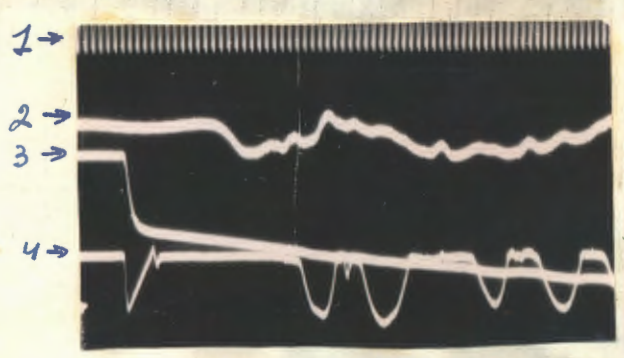


Рис.10

( $L=40, \phi 3$ )  
 Длинная тонкая соединительная трубка. Плохое экранирование, плохая изоляция.

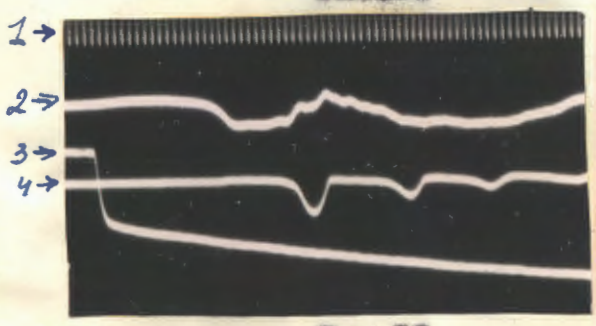


Рис.11

( $L=40, \phi 3$ )  
 Длинная тонкая соединительная трубка. Изоляция и экранирование хорошие.

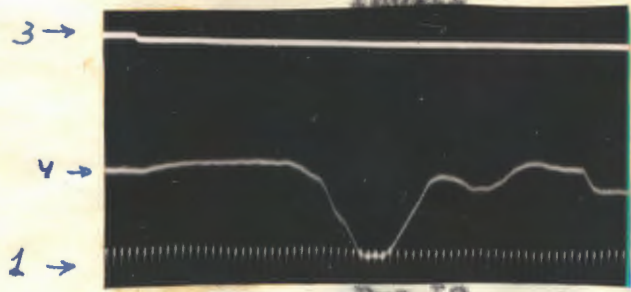


Рис.12

( $L=10, \phi 3$ )  
 Трубка тонкая, укороченная. Изоляция хорошая, экранирование хорошее.

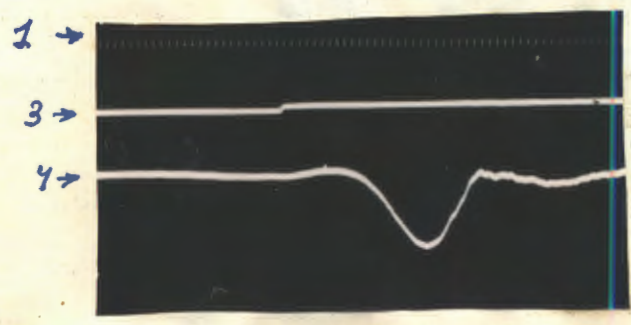


Рис.13

Трубка короткая диаметр большой ( $L=50, \phi 8$ )  
 Изоляция и экранирование хорошие

1. Частота генератора 2000 Гц.
2. Импульс от фотозонда, преобразованного отобразованном д.л. магнитной катушки.
3. Импульс на клапан (задаточный или сдвиг).
4. Импульс от пьезо-кварцевого манометра.

Диафрагма из нержавеющей стали до и после работы в  
условиях регулирования расширения только гидро-прессом.

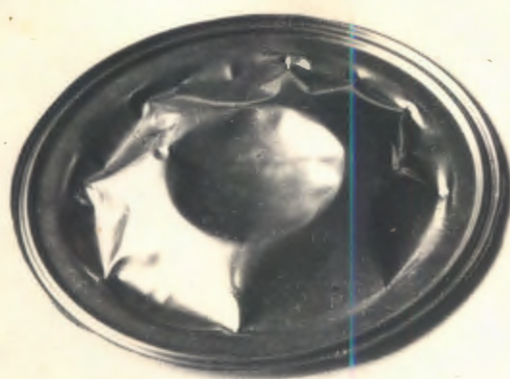


Рис. 14

## 7. Осветитель.

Вначале предполагалось фотографирование во встречном рассеянном свете, на белом фоне. Опыт показал, что при таком фотографировании, хотя и требуется меньшая энергия вспышки, но контраст хуже, чем на тёмном фоне.

Был сделан другой осветитель<sup>Т</sup>. Он представлял коробку, в центре которой против стеклянного окна камеры было вставлено ведерко<sup>е</sup>, оклеенное чёрным бархатом.

Импульсная лампа ИПК-200 располагалась выше чёрного углубления. Схематический чертёж изображен на рис.16.

Фотографии, полученные с этим осветителем, удовлетворительные.

По аналогии со второй конструкцией был сделан третий осветитель, но размеры его много меньше.

Эта последняя конструкция изображена на рис.3.

8. Уплотнение стекол требуется производить осторожно. Был случай, когда стекло лопнуло во время уплотнения из-за неравномерного затягивания болтов. Фотография этого стекла изображена на рис.17.

В дальнейшем, для контроля за внутренними натяжениями в стекле, во время его уплотнения, применялись полероиды.

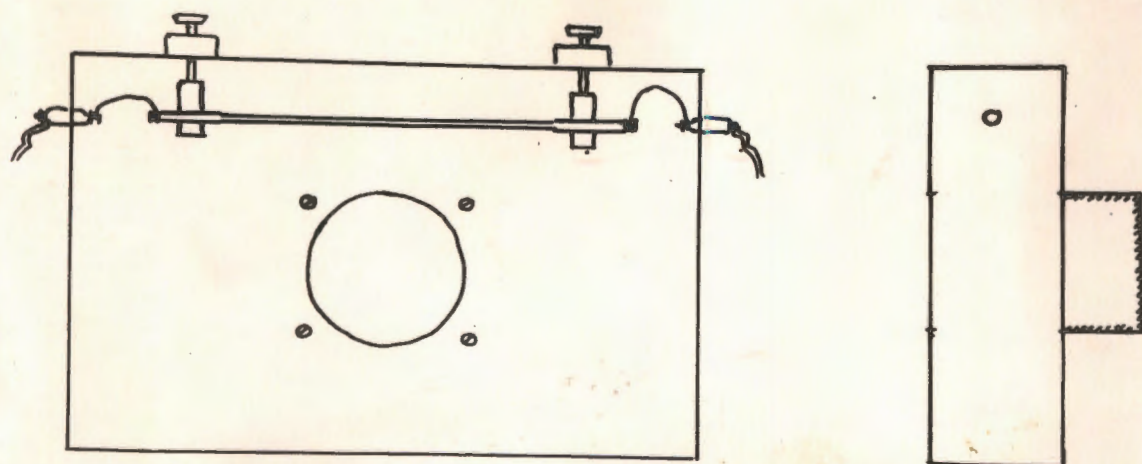


Рис.16.

Импульсный осветитель для фотографирования на чёрном фоне.



Fig. 17.

### ИСПЫТАНИЕ ПРОЧНОСТИ СТЕКОЛ И ИХ УПЛОТНЕНИИ.

После сборки камера наполнялась дистиллированной водой. Объем камеры подсоединялся к ручному гидропрессу. В камеру подавалось давление до 50 ат. При таком давлении камера выдерживалась 1,5 - 2 часа.

Если стекла выдерживали и давление не падало, то после этого приступали к испытанию при нагреве. Давление снималось до 1 ат. Включался нагреватель термостата. Температура поднималась до 80-90<sup>0</sup>С при этом и давление в камере также поднималось, но поддерживалось не выше 50 ат.

В нагретом состоянии и при давлении 50 ат камера находилась около двух часов.

После чего нагрев выключался. Камера остывала. Вода выливалась. Камера промывалась этиловым спиртом и просушивалась.

Для этих целей отсоединялся лишь промежуточный объем.

Такая процедура повторялась каждый раз, когда переставляли стекла или прокладки.

### ОЧИСТКА ПРОПАНА

Мы имели только технический пропан. В его составе имеется до 10% примесей: метана, этана, пропилена, бутана и др.

Для работы желательно было иметь пропан чистым, т.к. примеси повышают рабочее давление, увеличивают время восстановления и затрудняют определение количества ядер С и Н.

На рис. 18 приведены кривые давления насыщенных паров для разных компонент при разных температурах. При  $0^{\circ}\text{C}$  можно произвести достаточное разделение пропана и его примесей.

Мы использовали схему, изображенную на рис. 18.

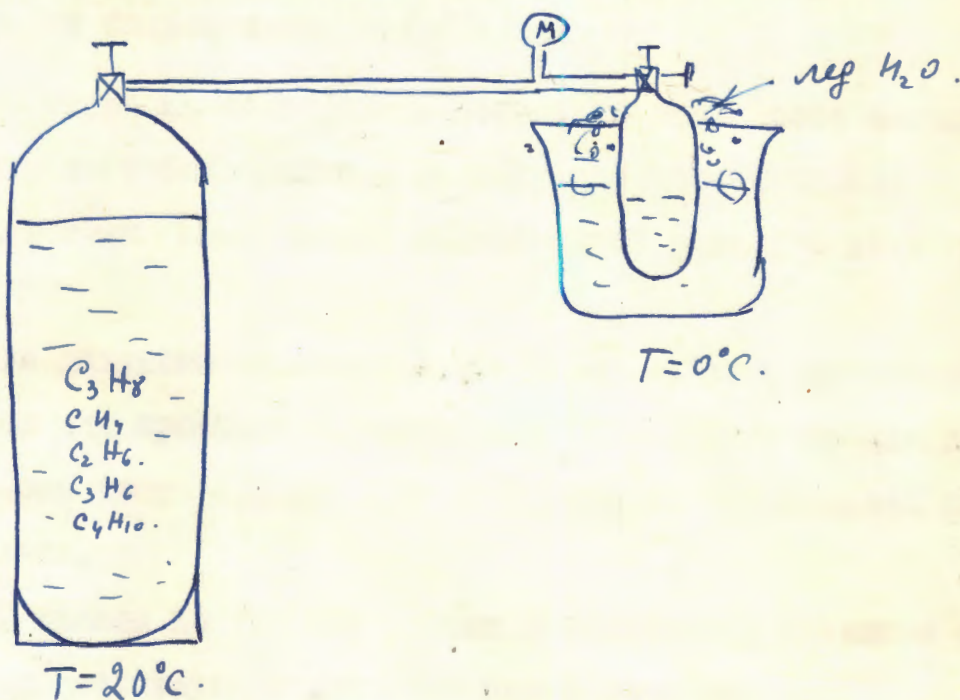


Рис. 18.

Из 40л. баллона выпускалась легкая фракция, давление которой было выше давления паров пропана при температуре в комнате.

После этого 40л. баллон подсоединялся к баллончику 0,75 л., погруженному в таящий лёд.

Баллончик несколько раз промывался газообразным пропаном (наполнялся до давления 4 - 4,5 ат. и затем пропан выпускался).

После промывки баллончик оставался подсоединенным. Пропан в 40 л. баллоне был при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ , а в 0,75 л. баллончике при  $0^{\circ}\text{C}$ .



Происходило испарение и перемещение пропана из 40 л. баллона в 0,75 литровой , где пропан конденсировался.

Через некоторое время 40л. баллон закрывался , из 0,75 л. выпускался газ , давление которого было выше 4,8ат , затем 40 литровой баллон снова открывался.

Эта операция повторялась несколько раз. После заполнения 0,75 литрового баллончика , 40 литровой отсоединялся.

Баллончик 15-20 минут выдерживался в тазу льде при  $0^{\circ}\text{C}$ .

Если давление не поднималось выше 4,8ат , то баллончик был готов для промывки и заполнения ПК-2. Если же давление поднималось выше 4,8 ат при  $0^{\circ}\text{C}$  , то легкая фракция снова выпускалась.

Так делали до тех пор , пока в баллончике давление становилось соответствующим давлению паров пропана.

На рис.19 изображены результаты очистки пропана.

Кривая № 6 - соответствует давлению паров неочищенного пропана.

- ▽ - плохая очистка.
- - удовлетворительная очистка
- × - хорошая очистка.

Все измерения режимов были проведены при наполнении  $0, \times$ .

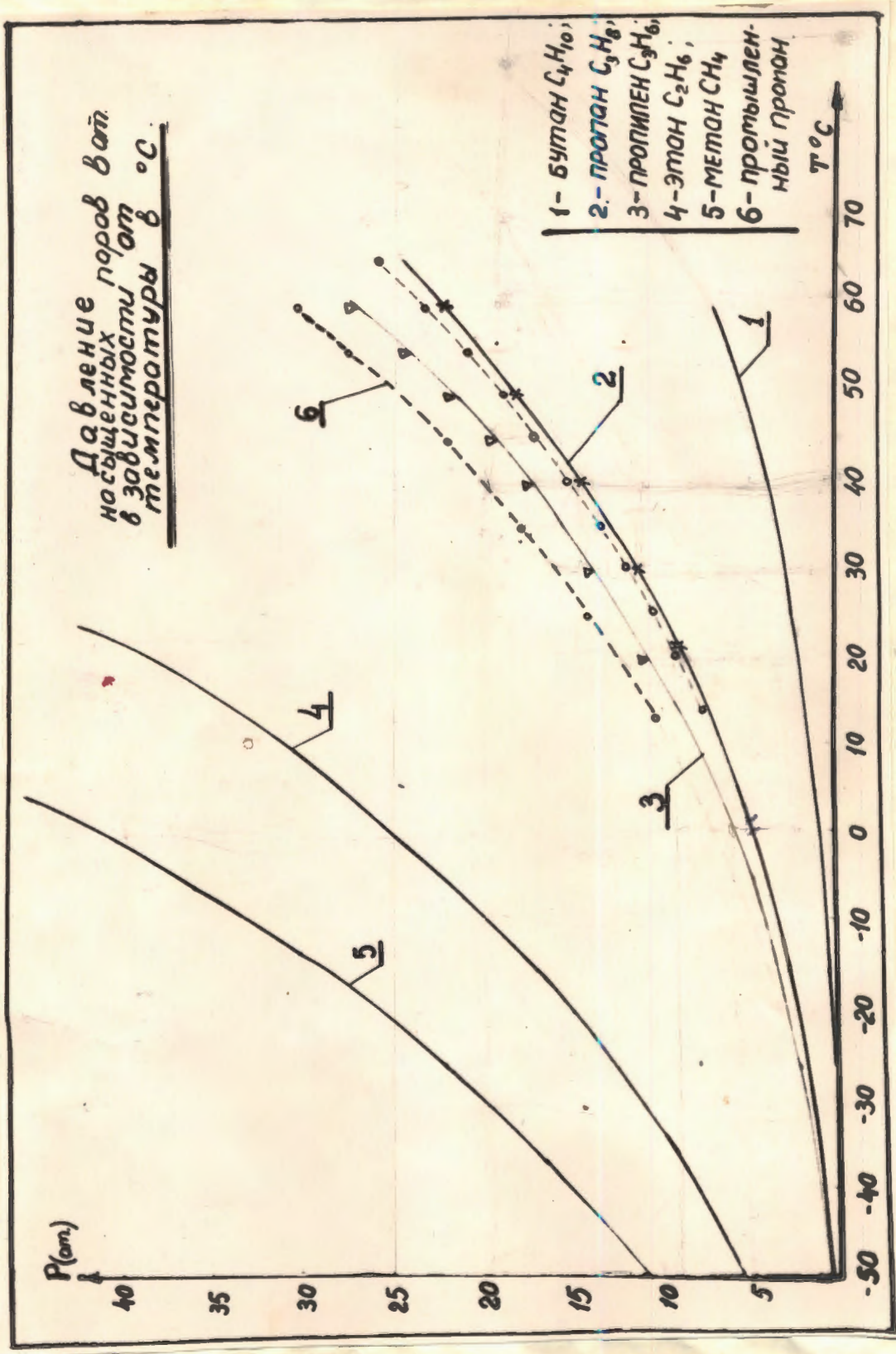


Рис. 19.

## НАПОЛНЕНИЕ ПК-2 ПРОПАНОМ.

Вначале мы откачивали камеру до  $10^{-3}$  мм ртутного столба. Потом было установлено, что несколько раз произведенная промывка пропаном вполне достаточна для удаления воздуха из камеры.

Промывка производилась при комнатной температуре камеры и баллончика. Камеру наполняли парами пропана до 5-6 атмосфер.

Через 1-2 минуты из камеры выпускали смесь пропана и воздуха до давления 1 ат. Такую процедуру повторяли 4-5 раз, после чего приступали к наполнению. Баллончик оставался присоединенным к камере и нагревался до  $60-70^{\circ}\text{C}$  при погружении в горячую воду. Давление пропана в баллончике возрастало. Пары пропана переходили в камеру, которая была при комнатной температуре, и там конденсировались.

Камера заполнялась жидким пропаном не полностью. Часть объема оставалась занятой парами. Это необходимо для того, чтобы при нагревании камеры не произошло сильного возрастания давления из-за расширения жидкого пропана. После наполнения камера может быть нагрета.

Во время нагревания, температура измерялась ртутным термометром как в ТС-15, так и в камере. Давление измерялось манометром класса 2,5. Результат - на графиках. Рис. 10.

При этом надо следить, чтобы постоянно над пропаном был небольшой пузырек газа. Если пузырек исчезает, то давление сильно растёт, и может разорвать камеру.

Излишек пропана перепускается в баллончик. Это делается так: баллончик закрыт. Открывается вентиль входа в камеру -

пропан из камеры наполняет соединительную трубку. Вентиль входа в камеру закрывается, открывается вентиль баллончика - пропан из трубки переходит в баллончик.

Таким образом из камеры можно выпускать пропан небольшими порциями, равными объему соединительной трубки.

Если же оба вентиля на какое-то время будут открыты, то из камеры в баллончик может быть вытеснена большая масса жидкого пропана. Что нежелательно.

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ

#### КАМЕРЫ ПК-2

Знание оптимальных значений температуры, давления и расширения рабочей жидкости нужно как для работы с ПК-2, так и для конструирования большой пропановой камеры.

Необходимо было установить зависимость образования пузырьков:

1) от температуры при постоянных значениях давления и расширения ;

2) от изменения давления при постоянных значениях температуры и расширения ;

3) от изменения расширения при постоянных значениях температуры и давления.

Для пропана минимальной температурой, при которой мы наблюдали образование пузырьков, является  $45^{\circ}\text{C}$ .

Расширение при этом 2% и верхнее давление 19 ат .  
 Фотография рабочего объёма при этих условиях приведена на рис.

20.а

При 10-12 секундном цикле в наших опытах избыточное давление ( давление выше равновесного давления паров ) было 4-5ат. Следовательно , для  $45^{\circ}\text{C}$  - 19 ат , а для  $65^{\circ}\text{C}$  - 30 ат. Выше  $65^{\circ}\text{C}$  исследования не проводились.

Минимальное расширение , при котором начинают образовываться следы из пузырьков , оказалось 1,5% , а отдельные пузырьки даже при 1,2% при  $T=55 - 60^{\circ}\text{C}$ .

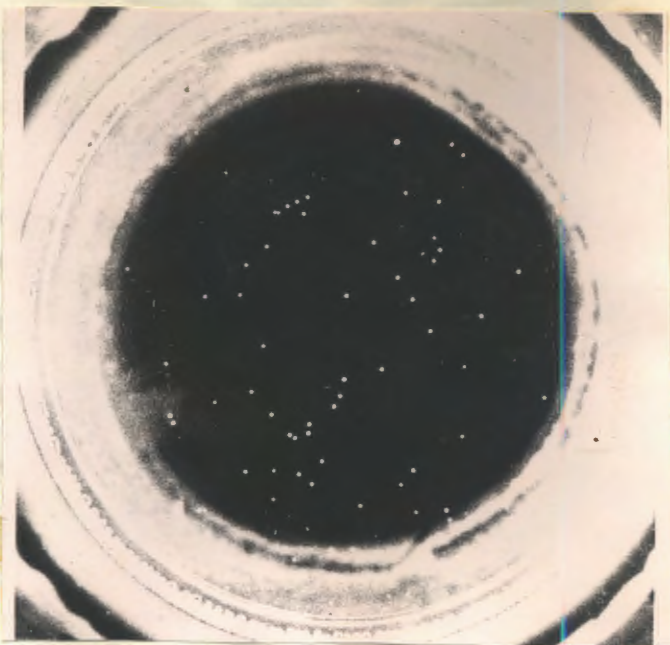
Фотографии этих случаев приведены на рис. 20б и 21.

Было сделано несколько сот фотографий , анализ которых показал , что наилучшие условия образования треков следующие:

- а) Температура  $50 + 65^{\circ}\text{C}$  ;
- б) Давление жидкого пропана , после конденсации паровой фазы 27-30 ат. ;
- в) Расширение 2-2,5%.

Во всех опытах применялся источник  $\text{Co}^{60}$  (4 мс ) на расстоянии 20 см от рабочего объёма.

На рис. 22, 23, 24, 25 приведены фотографии следов для разных режимов в камере. Фотографирование произведено с одной в той же задержкой после начала расширения.



$$\frac{\Delta V}{V} = 3\%$$

$$T_k = 45^\circ\text{C}$$

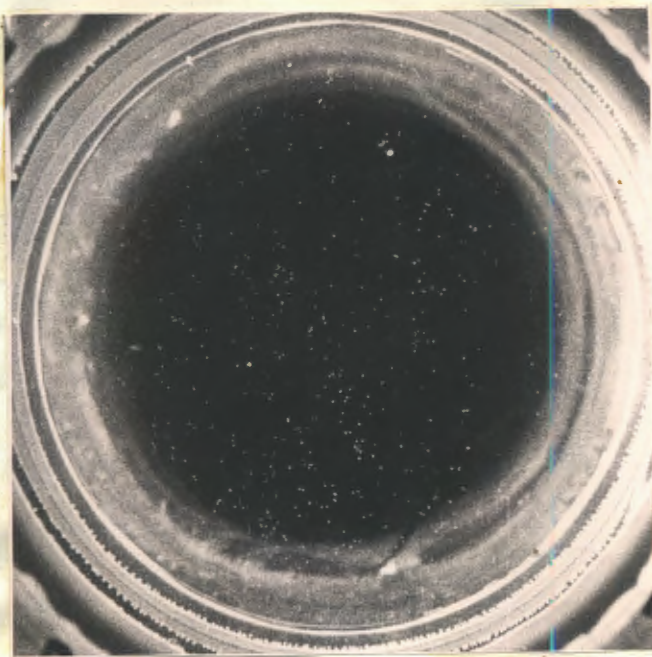
$$P_k = 20 \text{ a}$$

$$P_s = 27 \text{ a}$$

$$\tau = 10,5 \text{ ms}$$

$$u_{\text{кр.}} = 4 \text{ мс.}$$

Рис. 20 a



$$\frac{\Delta V}{V} = 1,2\%$$

$$T_k = 60^\circ\text{C}$$

$$P_k = 27 \text{ a}$$

$$P_s = 32 \text{ a}$$

$$\tau = 10,5 \text{ ms}$$

$$u_{\text{кр.}} = 4 \text{ мс.}$$

Рис. 20 б

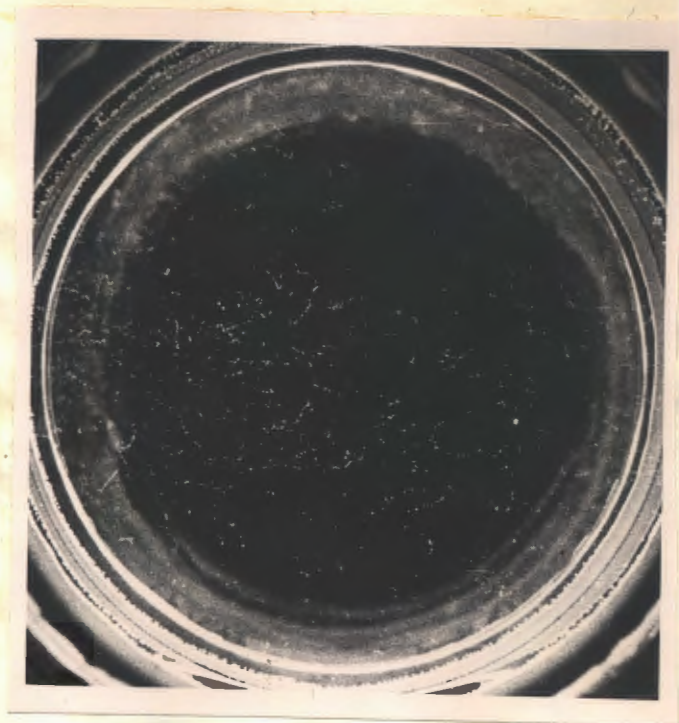


Рис. 21.

$$\frac{\Delta V}{V} = 1,5\%$$

$$T_k = 65^\circ\text{C}$$

$$P_k = 30 \text{ a}$$

$$P_s = 32 \text{ a}$$

$$\tau = 10,5 \text{ ms}$$

$$u_{\text{ср}} = 4 \text{ мс.}$$

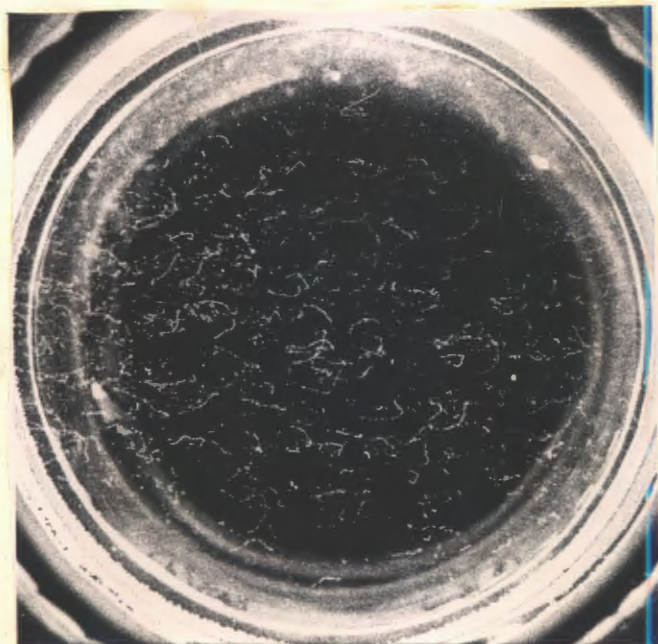


Рис. 22.

$$\frac{\Delta V}{V} = 2,2\%$$

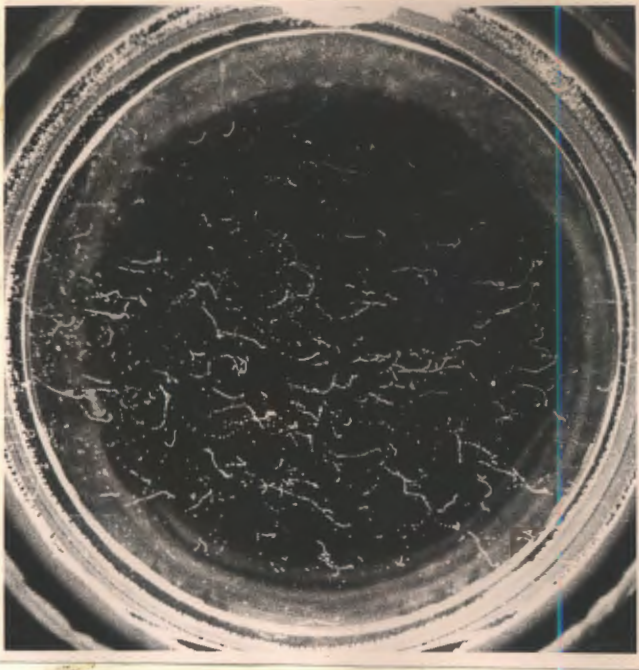
$$T_k = 65^\circ\text{C}$$

$$P_k = 31 \text{ a}$$

$$P_s = 32 \text{ a}$$

$$\tau = 10,5 \text{ ms}$$

$$u_{\text{ср}} = 4 \text{ мс.}$$



$$\frac{\Delta V}{V} = 2,6\%$$

$$T_k = 60^\circ\text{C}$$

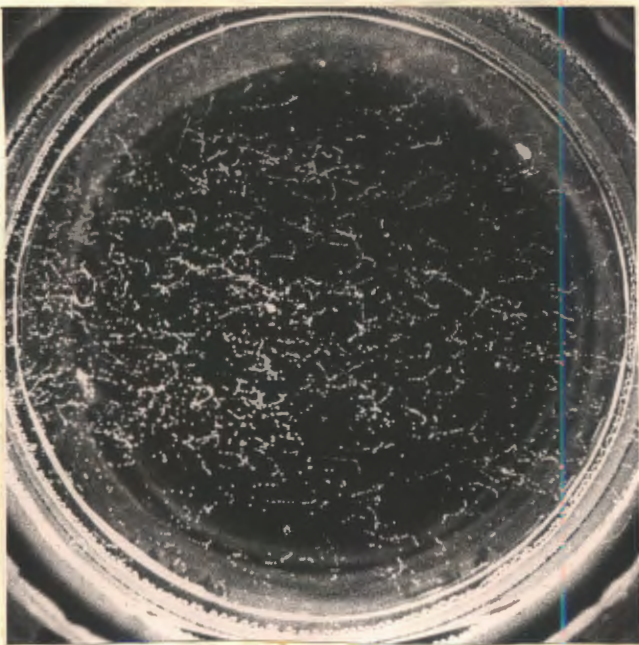
$$P_k = 28\text{a}$$

$$P_s = 32\text{a}$$

$$\bar{\tau} = 10,5\text{ms.}$$

$$u_{cr} = 4\text{mc.}$$

Рис. 23.



$$\frac{\Delta V}{V} = 2,4\%$$

$$T_k = 55^\circ\text{C}$$

$$P_k = 26\text{a}$$

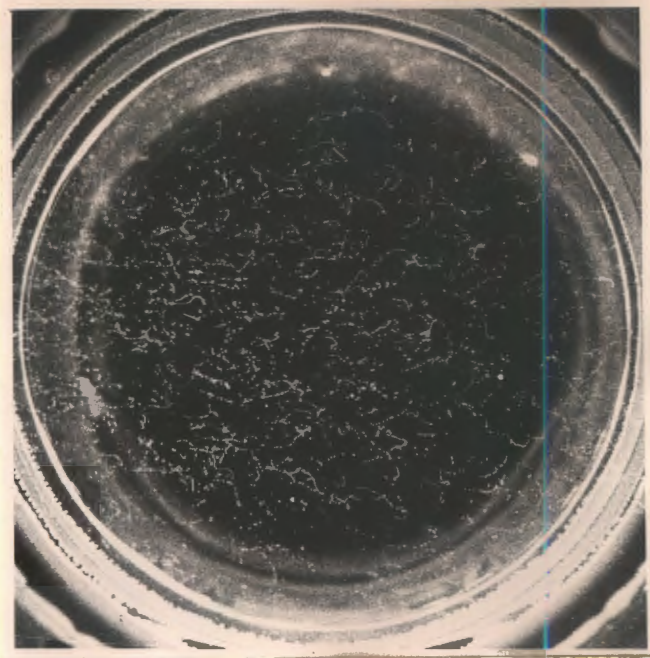
$$P_s = 32\text{a}$$

$$\bar{\tau} = 11,5\text{ms.}$$

$$u_{cr} = 4\text{mc.}$$

Рис. 24.





$$\frac{\Delta V}{V} = 2\%$$

$$T_k = 60^\circ \text{C}$$

$$P_k = 28 \text{ a}$$

$$P_s = 32 \text{ a}$$

$$\tau = 10,5 \text{ ms}$$

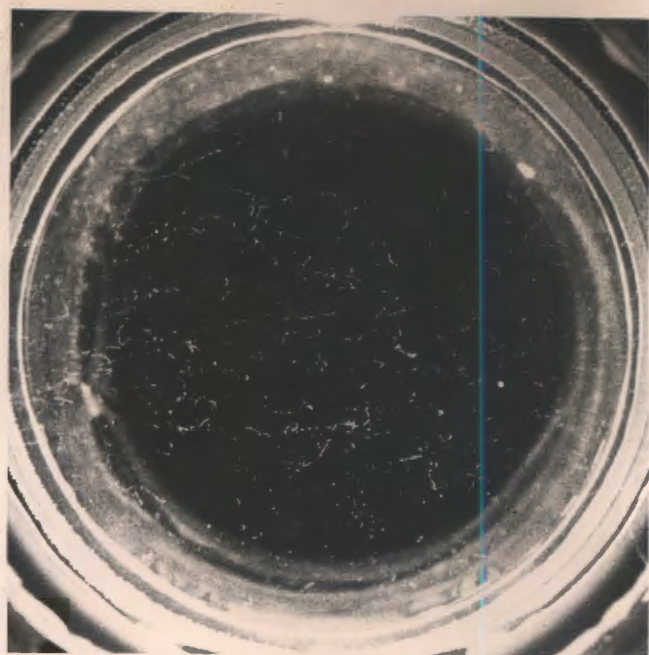
источник = 4 мс  
 8 мм, 7 мм  
 на др. робо.  
 следов балл.

Рис.25.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПК-2.

1. Время восстановления в нашей камере, даже без клапана быстрого сжатия, меньше 5 сек. На рис.26 приведена одна из фотографий, полученная при 5 сек. цикле.

Возможен, очевидно, и более короткий цикл, но мы не стали уменьшать временную задержку, т.к. для работы с нашим ускорителем, цикл которого 12 сек, этого времени восстановления достаточно.



$$\frac{\Delta V}{V} = 2,5\%$$

$$T_k = 65^\circ \text{C}$$

$$P_k = 31,5 \text{ a}$$

$$P_s = 32 \text{ a}$$

$$\tau = 10,5 \text{ ms.}$$

$$t_{\text{сф}} = 4 \text{ мс.}$$

Рис. 26.

2. Время чувствительности более 20 мс. Определялось по возрастанию числа треков в рабочем объеме с увеличением промежутка времени, между началом расширения и фотографированием. На самых поздних фотографиях наблюдались среди старых и молодые треки. Рис. № 27 и 28.

Можно определять время чувствительности с помощью емкостного манометра, измеряющего давление в камере. Надо только его предварительно проградуировать.

Давление определяет перегрев, т.е. чувствительность. Записывая показания манометра во времени на млейфовом осциллографе, можно узнать, сколько миллисекунд камера была чувствительна.

Можно применить и ещё более точный метод фотографировать несколько импульсов интенсивности ускорителя, типа синхроциклотрона. По числу треков разного возраста и известной частоте импульсов машины можно определить время чувствительности камеры. (45)

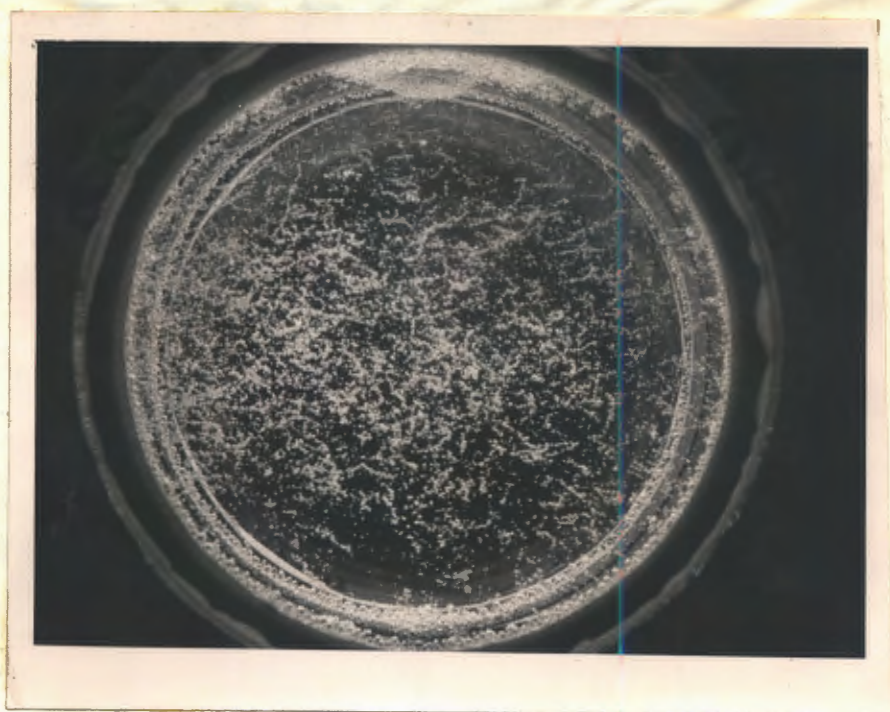


Рис. 27.

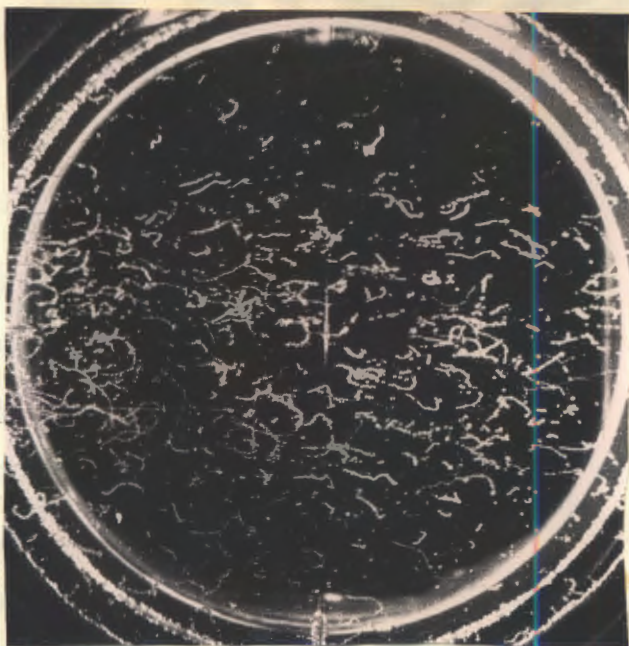


Рис.28.

3. Скорость роста пузырьков не измерялась.

В нашем распоряжении был только постоянный источник  $\text{Co}^{60}$ , а скоростной киносъёмочной камеры не было.

Можно было бы определять скорость роста пузырьков, используя импульсный ускоритель, с большой частотой повторения.

Зная частоту повторения импульсов интенсивности ускорителя и измеряя величину пузырьков разного возраста, можно найти скорость их роста.

#### 4. Длительность вспышки при фотографировании.

В фотокамере затвор постоянно открыт. Выдержка определяется только длительностью вспышки импульсной лампы.

ИПК-200 и ИСС-250 имеют сопротивление плазмы ( во время вспышки)  $1,2 - 1,5$  ома.

Так как  $\tau = RC$ , то при известных  $R$  и  $C$  длительность вспышки величина известная.

В наших опытах емкость изменялась от 2 до  $8 \mu F$ . Следовательно, вспышка длилась  $2,5 - 12 \mu s$ .

Большинство фотографий получено со временем вспышки в  $12 \mu s$ .

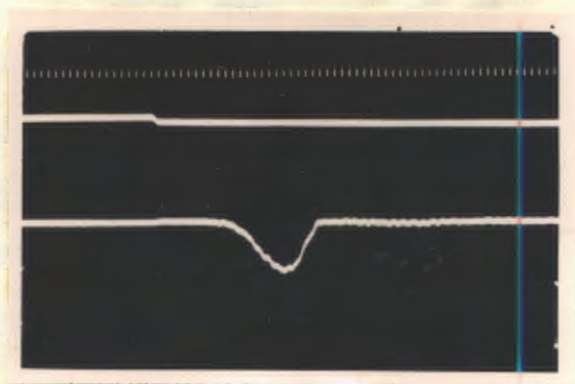
#### 5. Скорость срабатывания электромагнитного клапана

зависит от скорости размагничивания железа, а также приложенной силы (давления). Как уже говорилось, электромагнитный клапан ИК-2 имеет две обмотки: удерживающую и размагничивающую. Схема управления прерывает ток на удерживающую обмотку и одновременно же через размагничивающую обмотку разряжается емкость, ток которой идет в противоположном направлении току удерживающей обмотки.

Давление газа на клапан поддерживается во всех экспериментах постоянным,  $32$  ат.

Поэтому отрыв клапана и выхлоп газа из расширителя происходит за одно и то же время. Разброс незначителен.

Нами измерялось начало расширения в камере после подачи импульса на клапан. Оно равно  $6 \text{ мс}$ . . Рис. 29



$f = 2000 \text{ гц}$ .

Задающий импульс

Импульс от  
железо-кварцевого  
манометра.

(начало расширения)

Рис. 29.

Если же давление в балластном баллоне не сохранялось постоянным, а изменялось, то наблюдался разброс во времени открывания клапана. Колебания давления на  $\pm 0,5 \text{ ат}$  давали разброс в  $2 \div 3 \text{ мс}$  при одинаковых прочих условиях.

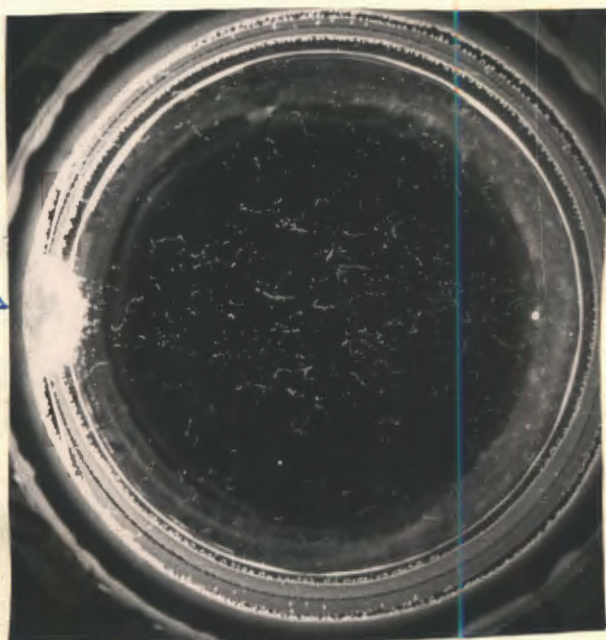
Следы из пузырьков образовывались всегда при фотографировании с задержкой в  $10,5 \text{ мс}$  после подачи импульса на электромагнитный клапан. Расширение же начиналось спустя  $5-6 \text{ мс}$  после задающего импульса. Следовательно, условия для образования пузырьков создаются спустя  $4,5 \text{ мс}$  после начала расширения.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ В ГОРИЗОН-  
ТАЛЬНОМ ЗАЗОРЕ МАГНИТА.

1. Камера располагалась так, чтобы одно стекло, через которое освещался рабочий объём, было внизу, другое стекло, через которое производилось фотографирование, было сверху.

При строго горизонтальном расположении стекла, во время работы камеры, у верхнего стекла образовывался паровой пузырь, который затемнял фотографируемый объём. Когда верхнее стекло имело небольшой наклон, то картина была удовлетворительной, т.к. паровой пузырь был смещен к одной из стенок. Рис. 30

При конструировании большой пузырьковой камеры, с использованием в горизонтальном магнитном зазоре, необходимо делать наклон верхнего стекла, приблизительно, на  $1 + 1,5^\circ$ . И кроме того, осуществить резкое сжатие жидкости после фотографирования, чтобы пузырьки захлопывались на том месте, где они образовались, тогда не будет переноса тепла вверх и парового пузыря у верхнего стекла.



Газовый  
пузырь.

Рис 30.

2. Если камера расположена в магнитном поле, то электромагнитный клапан необходимо вынести из него.

Так как в нашей камере давление газа передавалась пропану через воду, то было испробовано удлинение соединительной трубы от промежуточного объёма к расширителю.

Между расширителем и промежуточным объёмом была поставлена труба диаметром 20мм и длиной 1 метр. Рис.3/

Следи из пузырьков наблюдались каждый раз, когда задержка на импульсную лампу была  $12,5 \text{ мс}$  после подачи импульса на электромагнитный клапан.

Следовательно, применение труб вносило дополнительное запаздывание  $\approx 2 \text{ мс}$ , а т.к. эта величина была постоянная, то таким способом вынос электромагнитного клапана из магнитного поля осуществить можно.

3. При 100 мм трубке, соединяющей расширитель с промежуточным объёмом, было проверено влияние вязкости жидкости на скорость расширения.

Вместо воды заливался глицерин. При всех прочих равных условиях треки из пузырьков образовались <sup>бы</sup> только тогда, когда задержка на импульсную лампу была  $10,5 \text{ мс}$  после подачи импульса на электромагнитный клапан, т.е. также как при работе с водой.

Величина запаздывания оставалась постоянной. Следовательно, глицерин можно использовать для передачи давления в некоторых конструкциях пузырьковых камер.



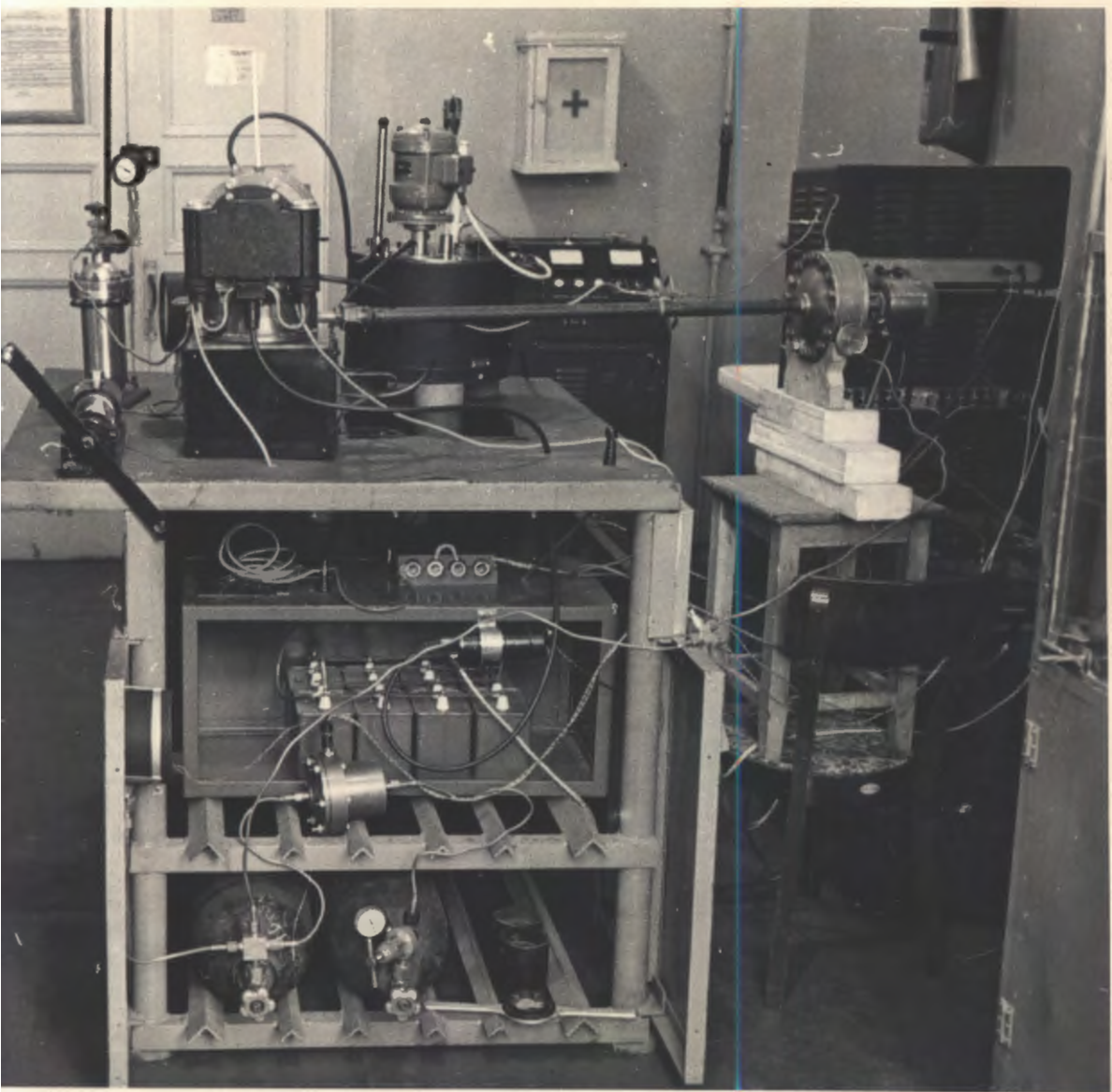


Рис. 3.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На ПК-2 были проверены материалы , а также конструкция узлов пузырьковых камер.

Приобретен опыт работы.

Выяснены методические вопросы: установлены режимы ,  
(  $P, T, \frac{AV}{V}$  ) определены временные характеристики.

Выяснена возможность постановки пузырьковой камеры в горизонтальный зазор магнита.

На основании полученных результатов, группа пузырьковых камер 5 сектора приступает к проектированию пропановой камеры большего размера в магнитном поле , для использования в пучке синхрофазотрона.

Мы выражаем благодарность Петухову В.А. , Чувилу И.В. , Козубскому Э.В. за руководство и постоянный интерес к работе , обсуждение и замечания , а также Прокофьеву В.П. , Степанову В.Д. , Лебедеву Г.И. за изготовление схемы управления и Сняткову В.И. за помощь в конструировании ПК-2.