

14

Г-87

14.17.6



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

И.И. Громова, Ф. Легар, В.И. Ниханоров, Г. Петер, А.Ф. Писарев

P - 1416

ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСЛОЙНОЙ ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ  
С РАЗЛИЧНЫМ ГАЗОВЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

*ТТЭ, 1964, №6, с 39-44.*

Дубна 1963

И.И. Громова, Ф. Легар, В.И. Никаноров, Г. Петер, А.Ф. Писарев

Р - 1416

ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСЛОЙНОЙ ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ  
С РАЗЛИЧНЫМ ГАЗОВЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

Направлено в ПТЭ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

2124/2 78

В данной работе проведено измерение основных характеристик многослойной искровой камеры с наполнением различными газами. Целью таких исследований явилось определение зависимости эффективности регистрации частиц и времени памяти камеры от степени ее чистоты, давления и типа используемого газа, величины очищающего поля, которое варьировалось в опыте в широких пределах значений, амплитуды высоковольтного импульса и времени задержки его относительно момента прохождения заряженной частицы через объем камеры.

Аналогичные характеристики искровых камер были подробно изучены и во многих других работах /см., например, <sup>1,2,3/</sup>. Однако большинство результатов, относящихся к отдельным газам, было получено различными авторами в условиях, отличающихся друг от друга. Это обстоятельство в значительной степени затрудняет проведение количественных сравнений отдельных показателей работы камеры с различными газами. Вместе с тем в литературе почти отсутствуют данные, характеризующие изменение параметров камеры во времени, особенно в первые часы после наполнения ее свежим газом, когда некоторые характеристики особенно чувствительны даже к ничтожным следам примесей.

В данной работе снятие характеристик для каждого газа сделано в строго идентичных условиях. Во всех измерениях использовалась одна и та же камера и электронная аппаратура, параметры которой поддерживались неизменными. При такой постановке опытов представлялось возможным провести четкое сравнение характеристик камеры при наполнении ее различными газами и сделать определенные выводы относительно их использования.

#### Постановка опыта

Для исследований использовалась 27-электродная искровая камера, электроды которой были сделаны из алюминиевых пластин толщиной 6 мм и площадью  $23 \times 23 \text{ см}^2$ . Зазор между электродами составлял 10 мм. Стенки камеры были изготовлены из полосок стекла толщиной 6 мм. Для склеивания стеклянных полосок с электродами и друг с другом использовалась эпоксидная смола ЭПОКСИ-1200. Детали камеры перед окончательной сборкой были протравлены в 10% растворе едкого натра и затем тщательно промыты водой и высушены. Конструктивно камера выполнена в виде "этажерки" /см.рис. 1/. Для предупреждения возможных поверхностных пробоев по стенкам камеры часть площади электродов, находящаяся вблизи стенок,

была покрыта тонким слоем эпоксидной смолы. Изготовленная камера многократно "промывалась" неоном и в течение трех недель тренировалась на вакуум с остаточным давлением газа около  $10^{-1}$  мм рт. ст. В процессе подготовки камеры к измерениям ее электроды дополнительно очищались высокочастотным электрическим разрядом. Перед заполнением в ней создавался вакуум около  $10^{-3}$  мм рт.ст. Процедура наполнения камеры включала в себя операцию по трехразовой "промывке" ее объема данным газом. Для наполнения камеры использовался неон "особой чистоты" и технические аргон и гелий. Чтобы избавиться от возможных примесей, наполнение камеры осуществлялось через три последовательно расположенные ловушки, охлаждаемые жидким азотом. Все перечисленные меры предосторожности при наполнении камеры имели своей целью создать условия максимальной чистоты работы с исследуемым газом.

Измерения проводились с космическими частицами. Для управления работой камеры использовалась электронная схема запуска, которая состояла из системы счетчиков Гейгера МС-8, включенных в схему совпадений, усилителя, линий задержки и высоковольтного тиратронного генератора с RC цепью  $\tau_{RC} = 1,1 \cdot 10^{-7}$  сек. Передний фронт импульса определялся временем развития разряда в тиратроне генератора ТГИ1-325/16, и его длительность составляла  $\approx 4 \cdot 10^{-8}$  сек. Временные характеристики импульса сохранялись неизменными в течение всего эксперимента. Для электрической развязки электродов камеры использовались омические сопротивления с номинальным значением 62 ом. Принципиальная схема установки опыта изображена на рис. 2. На рис. 3 представлена фотография камеры, установленной на испытательном стенде.

Регистрация треков частиц осуществлялась визуально двумя наблюдателями одновременно. Каждому наблюденному случаю приписывался весовой множитель, пропорциональный числу сработавших промежутков камеры. Точность визуальной оценки веса находилась в хорошем согласии с контрольной цифрой, полученной при выборочном фотографировании треков. Одна из таких фотографий трека космической частицы представлена на рис. 4. Общее число частиц, проходящих через камеру, регистрировалось пересчетным устройством. На основании данных наблюдения вычислялась эффективность регистрации заряженной частицы одним промежутком камеры. На рис. 5-8 представлены кривые эффективности и времени памяти, полученные при работе с разными газами. Для каждой точки кривой набиралась статистика из 60 случаев проходящих через камеру космических частиц.

Ниже используются следующие обозначения:  $\eta$  - эффективность регистрации частицы на один промежуток камеры;  $T_0$  - время задержки импульса, подаваемого на камеру, относительно момента прохождения частицы через ее объем;  $t$  - время памяти камеры;  $U_{\text{очищ.}}$  - напряжение очищающего поля, подаваемого на

электроды камеры с полярностью, обратной полярности высоковольтного импульса;  $P$  - давление исследуемого газа.

### Результаты измерений и их обсуждение

Зависимость эффективности камеры от времени задержки импульса. Эта характеристика была снята для трех типов наполнений:  $Ne + 0,4\% Ar$ ,  $Ne$  и  $80\% Ne + 20\% He$ . В каждом случае давление в камере было равно 760 мм рт.ст.

Время задержки высоковольтного импульса могло изменяться от 0,5 мксек. до 20 мксек. /  $T_0$  = мксек - минимальное время задержки, допускаемое использованной аппаратурой/. Амплитуда импульса для каждого газа подбиралась отдельно и устанавливалась равной ее значению в средней точке плато. При измерениях с гелием амплитуда импульса составляла 12,5 кв, а в остальных случаях - 10 кв.

На рис. 5а изображено семейство кривых зависимости эффективности регистрации частиц в газовой смеси  $Ne + 0,4\% Ar$ . Кривые 1-5 были сняты непосредственно после наполнения камеры, а 6-8 - спустя 50 часов. Можно заметить, что характеристики камеры со временем незначительно сдвигаются вправо. На это обстоятельство указывалось и ранее в работе Кронина<sup>1/</sup>. Смещение это, по-видимому, вызывается молекулами электроотрицательного газа, которые попадают в объем камеры с ее боковых поверхностей и электродов, особенно в момент искрового разряда. Кривые, приведенные на рис. 5а, имеют для всех значений очищающих полей крутой спад в сторону больших задержек. С точки зрения использования искровых камер в экспериментах на пучках частиц от ускорителей такой ход кривых эффективности является наиболее благоприятным, так как позволяет задавать время памяти камеры близким к величине аппаратурной задержки  $T_0$ . Данные, полученные для смеси газов, имеют незначительное расхождение с результатами Баюкова и др.<sup>14/</sup>, которые работали с камерой, имевшей зазор между электродами 10 мм и наполненной чистым неоном. Для заданной величины очищающего поля время памяти камеры с неоном оказалось несколько больше, чем для смеси неона с аргонном. Эта небольшая разница во временах вызывается, по-видимому, добавками аргона к неоону и различием технологии изготовления и наполнения камеры.

С ростом величины очищающего поля время памяти камеры уменьшается, и для поля, равного 30 в/см, оно достигает значения около 0,5 мксек. Дальнейшее увеличение поля сдвигало кривые влево от  $T_0$  и приводило к уменьшению эффективности. Однако при подаче на камеру еще большего очищающего поля эффектив-



ность регистрации частиц снова возрастала. Это явление наблюдалось также Кро-  
ниным<sup>11/</sup> при подаче больших очищающих полей. Более подробно этот эффект бу-  
дет обсуждаться ниже, здесь лишь отметим, что для очищающего поля с напря-  
женностью 130 в/см эффективность регистрации заряженных частиц составляла  
0,85. Однако при самом незначительном увеличении задержки импульса эта эффек-  
тивность резко падала до нуля /см. кривую 5 рис. 5 а/. Это одна из причин, по ко-  
торой наблюдение описываемого явления весьма затруднено, так как сдвиг  $T_0$   
вправо всего лишь на 0,01 мксек. привел бы в данном опыте к полному исчезнове-  
нию наблюдаемого эффекта.

Исследования с гелием проводились в двух вариантах: при наполнении камеры с  
азотными ловушками и без них. Было замечено, что в обоих случаях характеристики  
имели примерно одинаковый вид. Однако в случае наполнения камеры гелием без  
использования ловушек требуемая для работы амплитуда импульса возрастала при-  
близительно на 2 кв. На рис. 5б приводятся результаты измерений с гелием, очи-  
щенным в ловушках. Сравнивая эти кривые с соответствующими характеристиками  
для  $Ne + 0,4\% Ar$ , можно заметить, что они имеют значительно большую пологость.  
Вследствие этого использование "технического" гелия в качестве наполнителя искро-  
вых камер при работе в условиях большого фона излучения является менее перспек-  
тивным, нежели применение смеси из неона и 0,4% аргона.

Смесь 80% неона и 20% гелия интересна в том отношении, что она является  
"отходом" производства жидкого азота на криогенных предприятиях. Ее стоимость  
должна быть значительно ниже стоимости неона "особой чистоты", который обычно  
используется в искровых камерах. Полученная в опыте зависимость эффективности  
камеры от задержки импульса и величины очищающего поля представлена на рис. 5в  
Из сопоставления этих данных с кривыми эффективности для гелия /рис. 5б/ и  
смеси неона с аргоном /рис. 5а/ видно, что они ближе стоят к последним резуль-  
татам. Особенно большое сходство для них наблюдается при подаче на камеру очи-  
щающего поля, равного 20 в и больше. Отсюда следует, что газовая смесь из 80%  
неона и 20% гелия может с успехом использоваться в искровых камерах.

Отметим, что была сделана попытка исследовать наряду с указанными газами  
водород, аргон,  $40\% Ne + 60\% Ar$  и  $75\% Ne + 25\% Ar$ . Однако 16 кв /максимальная ам-  
плитуда импульса, получаемая от генератора/ оказалось недостаточно для образова-  
ния светящегося трека.

Анализируя полученные характеристики для исследуемых газов, можно заметить,  
что при наличии в камере очищающего поля кривые зависимости эффективности  
сравнительно быстро спадают до нуля. Таким образом, в опыте не были замечены  
медленно спадающие "хвосты", которые, как отмечено в обзоре<sup>13/</sup>, часто наблюда-

ются при работе с искровыми камерами и объясняются присутствием примеси электро-  
отрицательного газа. Отсутствие "хвостов" у кривых эффективности камеры в дан-  
ной работе было достигнуто исключительно благодаря соблюдению всех условий сте-  
рильной сборки камеры и ее наполнения исследуемым газом. Этот способ изготовле-  
ния камеры и обращения с ней может быть рекомендован во всех случаях, когда  
требуется получить кривую зависимости эффективности с "отсечкой".

Зависимость эффективности камеры от величины очища-  
ющего поля. Выше было отмечено, что при фиксированном минимальном вре-  
мени задержки импульса, равном  $T_0$ , эффективность камеры с ростом величины  
очищающего поля, начиная с некоторого значения, падает, а затем вновь растет.  
Впервые об этом явлении сообщил Кроин на симпозиуме по искровым камерам<sup>11/</sup>.  
Авторы обзора<sup>13/</sup> пробуют объяснить этот экспериментальный факт тем, что в боль-  
ших очищающих полях начальные электроны способны вызывать некоторую иониза-  
цию, которая и увеличивает эффективное время памяти. Однако этот механизм, по-  
видимому, играет несущественную роль в рассматриваемом процессе. Более правдо-  
подобное объяснение этому явлению можно дать, исходя из идеи, которая была выд-  
винута в работе Вишнякова и др.<sup>15/</sup> для интерпретации аналогичного эффекта, об-  
наруженного в низковольтных галогенных счетчиках. Согласно этой гипотезе, первич-  
ные электроны с ростом очищающего поля более интенсивно образуют метастабиль-  
ные состояния атомов основного газа, нежели производят его ионизацию при пря-  
мом соударении. Возбужденные атомы со временем ионизуют атомы другого газа,  
ионизационный потенциал которого ниже уровня метастабильного состояния. Время  
пребывания атомов в метастабильном состоянии увеличивает память прибора, а вто-  
ричные электроны, образованные за счет соударений второго рода, поднимают его  
эффективность при возрастании очищающего поля. Если принять эту идею за основу,  
то можно ожидать, что в камерах со свежим газом описываемое явление должно  
наблюдаться при сравнительно слабых очищающих полях, так как снятие возбужде-  
ния с атомов основного газа /например,  $Ne$  /, находящегося в метастабильном  
состоянии, должно проходить преимущественно посредством ионизации атомов приме-  
си /например,  $Ar$  /. Для камер, проработавших некоторое время и содержащих  
загрязнения, обсуждаемый эффект будет сдвинут в сторону больших значений очи-  
щающих полей, так как значительная доля возбужденных атомов будет переходить в  
нормальное состояние без ионизации путем отдачи энергии на диссоциацию молекул  
примеси. Эти потери можно компенсировать лишь за счет увеличения плотности чис-  
ла атомов в метастабильном состоянии на пути следа частицы, то есть путем под-  
нятия величины очищающего поля. При еще больших концентрациях примесей в ка-  
мере эффект роста эффективности камеры с увеличением очищающего поля должен  
исчезнуть.

С целью повторения результатов Кронина и проверки высказанных предположений относительно механизма наблюдаемого явления в камерах были выполнены соответствующие эксперименты. Результаты таких опытов изображены на рис. 6. Кривая 1 была получена непосредственно после наполнения камеры смесью из неона и 0,4% аргона. Кривые 2,3,4 снимались для той же газовой смеси спустя 20,60 и 100 часов соответственно с момента наполнения. Кривая 5 относится к свежей газовой смеси, состоящей из 80% неона и 20% гелия. Кривая 4 построена лишь для напряжений от 140 до 240 в, где она представляет наибольший интерес. Из сопоставлений полученных данных видно, что кривые зависимости эффективности от величины очищающего поля имеют провал, который с увеличением времени работы камеры углубляется и смещается в сторону больших напряжений. Для свежего газа вероятность регистрации частиц при больших очищающих полях может достигать первоначального значения. Такое поведение кривых эффективности находится в хорошем качественном согласии с гипотезой о зависимости эффективности от механизма образования и уничтожения метастабильных состояний основного газа<sup>/5/</sup>. Необходимо также отметить, что, несмотря на чистоту приготовления и наполнения камеры, ее эффективность при больших очищающих полях со временем быстро падала к нулю /см. кривую 4/. Это свидетельствует о значительной чувствительности рассматриваемой характеристики к загрязнениям, выделяющимся из деталей камеры.

Зависимость времени памяти от величины очищающего поля. Обычно время памяти характеризуется такой задержкой импульса, при которой эффективность регистрации частиц падает наполовину. Данная характеристика легко определяется из кривых рис. 5 и 6. На рис. 7 приводится найденная зависимость времени памяти от величины очищающего поля. Данные для построения участка кривых, заключенного между координатами 30 в и 120 в, взяты из экстраполированных кривых, которые были получены продолжением кривых эффективности влево от  $T_0$  до точки с координатами  $T_2 = 0$  и  $\eta = 1$  /см. например, кривые 4 и 8 рис. 5 а/. В работе Кронина<sup>/1/</sup> имеется аналогичная кривая для чистого неона. Как видно из рис. 7, кривые имеют минимум при значении очищающего поля, равном 60 в. Величина минимума составляет приблизительно 0,3 - 0,4 мксек. Ход кривых опять легко интерпретируется, если учесть образование метастабильных атомов газа начальными электронами, дрейфующими под действием очищающего поля камеры.

Зависимость эффективности камеры от давления газа.

Проверка работы камеры при различных давлениях газа была выполнена для гелия и газовой смеси  $Ne + 0,4\% Ar$  без очищающего поля. Результаты измерений представлены на рис. 8. Из рисунка видно, что искровая камера способна работать со 100% эффективностью даже при сравнительно низких давлениях. Для гелия такой границей является давление, равное 270 мм рт.ст., а для смеси - 130 мм рт.ст.

Здесь интересно отметить увеличение толщины треков при уменьшении давления газа в камере. Например, при работе с указанной газовой смесью качество треков оставалось неизменным при снижении до давления 200 мм рт.ст. Однако последующее уменьшение давления до 150 мм.рт.ст. приводило к утолщению треков приблизительно в три раза. При давлении 100 мм рт.ст. треки имели большое диффузное размытие, и для их наблюдения приходилось уменьшать амплитуду импульса с 10кв до 6 кв. Дальнейшее понижение давления приводило к вспышке газа во всем объеме камеры всякий раз, когда проходила заряженная частица. Аналогичная картина наблюдалась и при работе с гелиевым наполнением.

Полученные данные позволяют сделать полезный для практики вывод, который заключается в том, что, не снижая качества треков и эффективности регистрации частиц, можно добиться экономного расходования дефицитных газов.

**В ы в о д ы.** На основании обсуждения полученного материала можно сделать следующие результирующие замечания:

1. Полученное семейство кривых зависимости эффективности камеры от времени задержки импульса не имело медленно спадающих "хвостов".
2. Газовым смесям  $Ne + 0,4\% Ar$  и  $80\% Ne + 20\% He$  соответствуют крутые спады кривых эффективности в зависимости от времени задержки высоковольтного импульса /при наличии очищающего поля/, что благоприятствует использованию этих смесей для наполнения камер, работающих в условиях больших фоновых загрузок.
3. Кривые зависимости времени памяти от величины очищающего поля имеют минимум на уровне 0,3 - 0,4 мксек.
4. Наиболее вероятной причиной увеличения эффективности и времени памяти с ростом амплитуды очищающего поля следует считать образование метастабильных состояний атомов основного газа за счет энергии дрейфа начальных электронов в очищающем поле.
5. Искровые камеры могут эффективно работать при пониженных давлениях газа.
6. Для исследованных газов ширина плато составляет 7-8 кв.

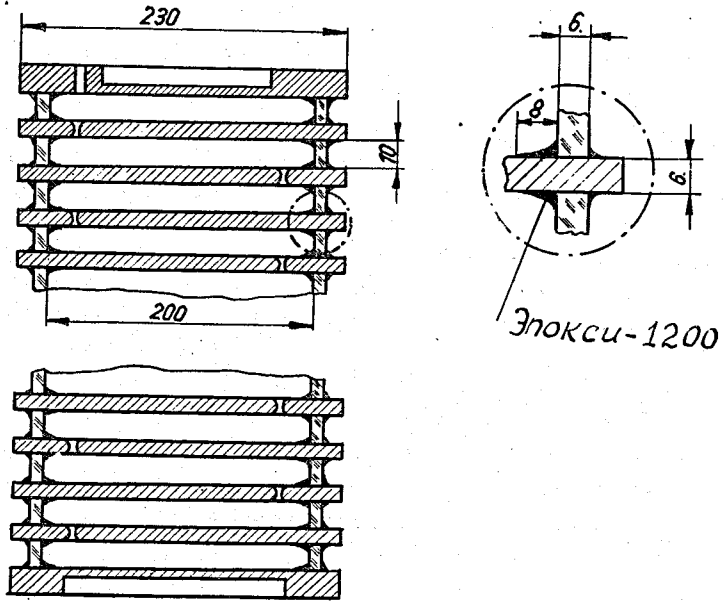
#### Л и т е р а т у р а

1. Spark Chamber Symposium. Rev. Sci. Instr., 32, 430-531 (1961).
2. Proceedings of the 1962 Conference on Instrumentation for High-Energy Physics, Nuclear Instruments and Methods, 20, 143-220. (1963).
3. М.И. Дайон, Г.А. Лексин. УФН, 80, вып. 2, 281/1963/.

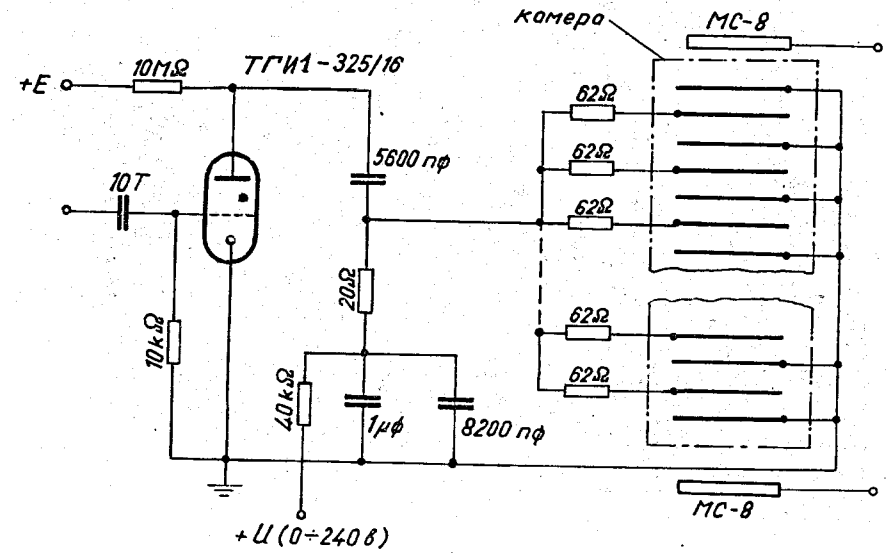
4. Ю.Д. Бажков, Г.А. Лексин, Д.А. Сучков, В.В. Теленков. ПТЭ, 1963, 2, 45.

5. В.В. Вишняков, Тан Сяо-вей, А.А. Тяпкин. УФН, 1960, 72, 133.

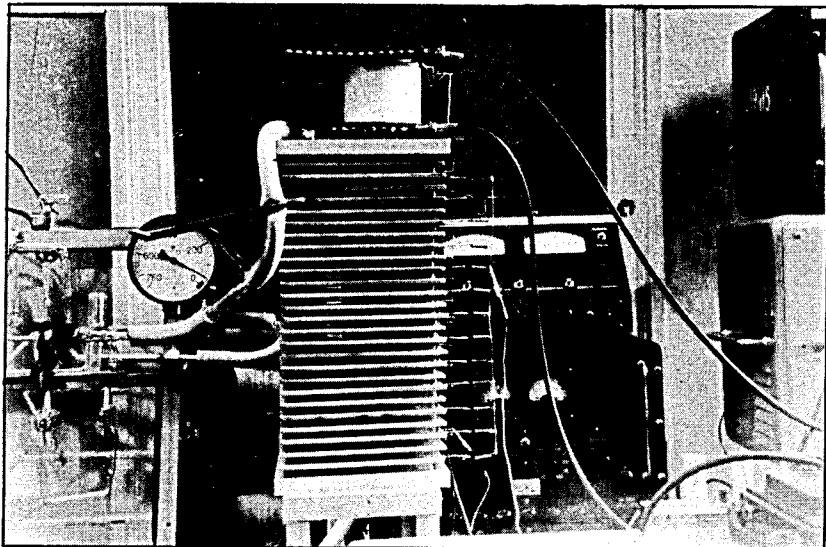
Рукопись поступила в издательский отдел  
18 сентября 1963 г.



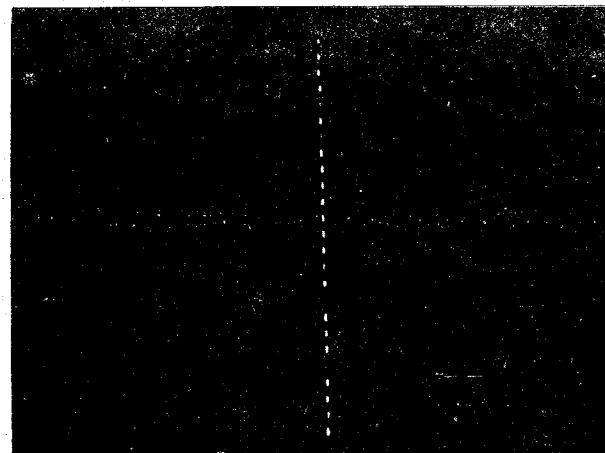
Р и с. 1. Конструкция камеры.



Р и с. 2. Принципиальная схема опыта.

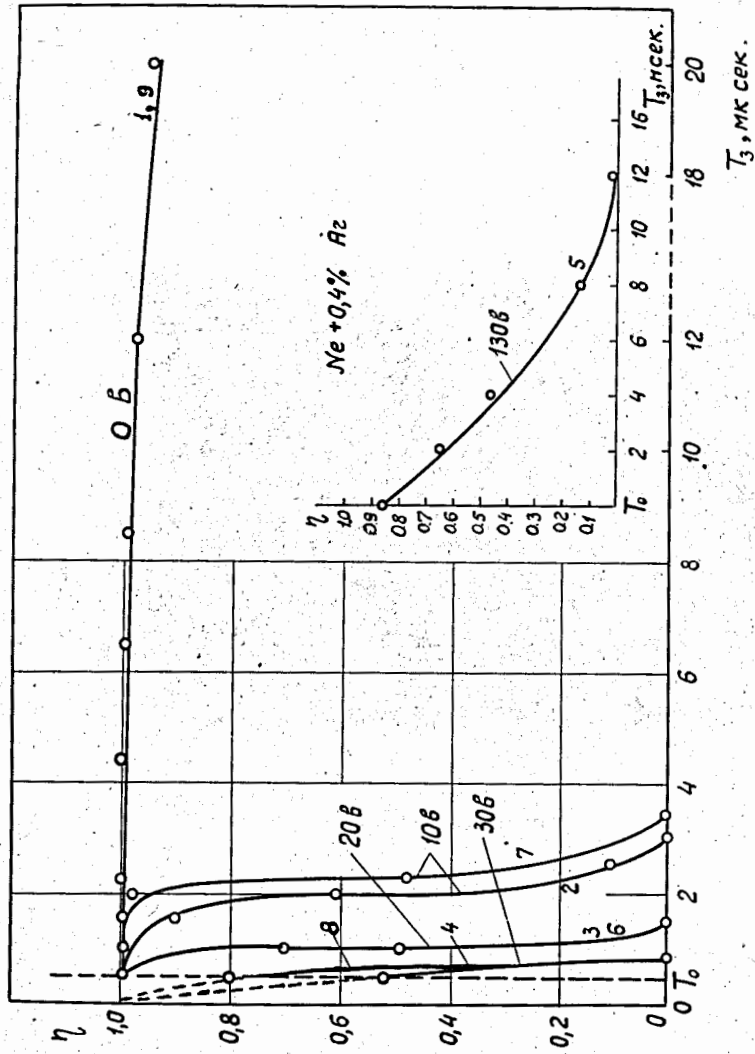


Р и с. 3. Фотография камеры на испытательном стенде.

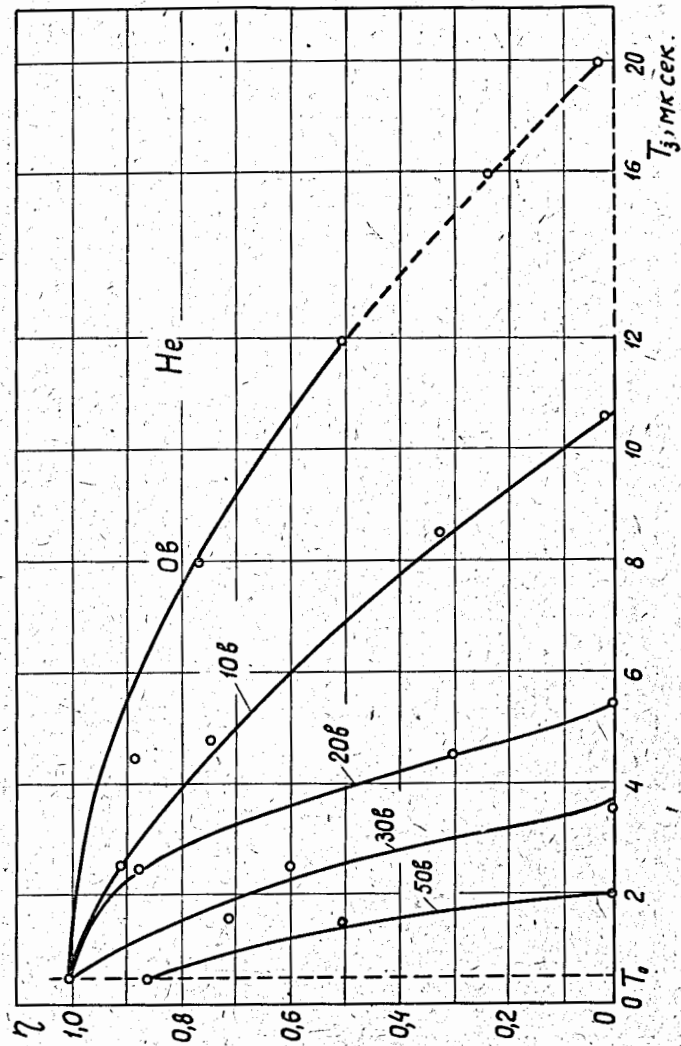


Р и с. 4. Фотография трека космической частицы.

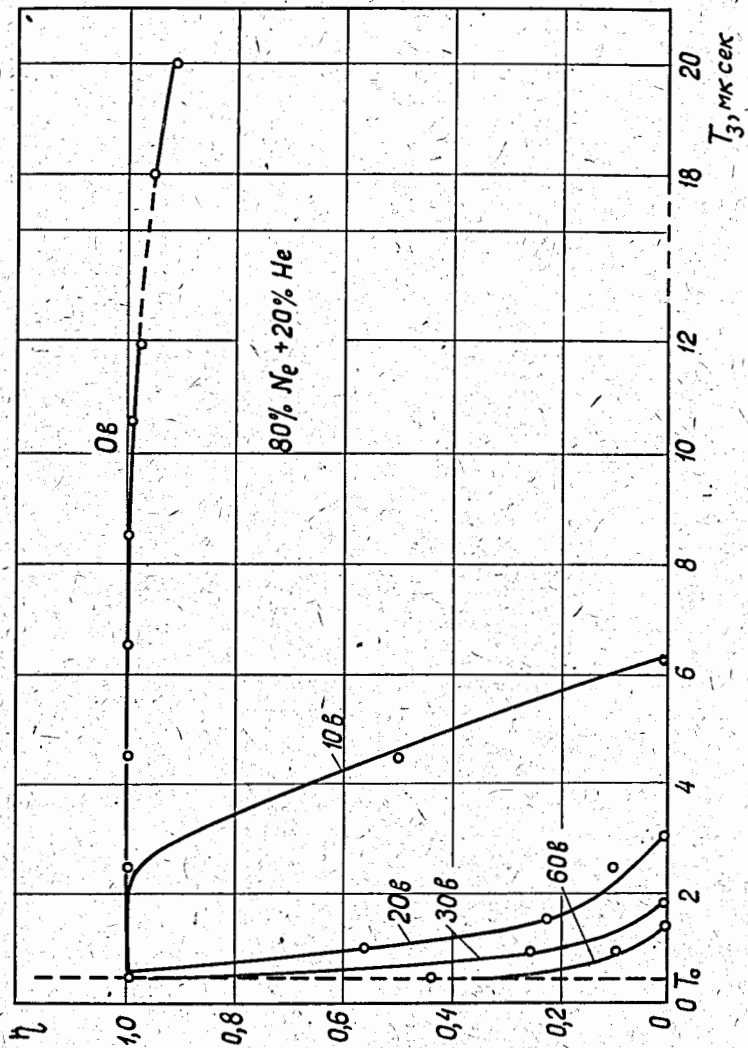




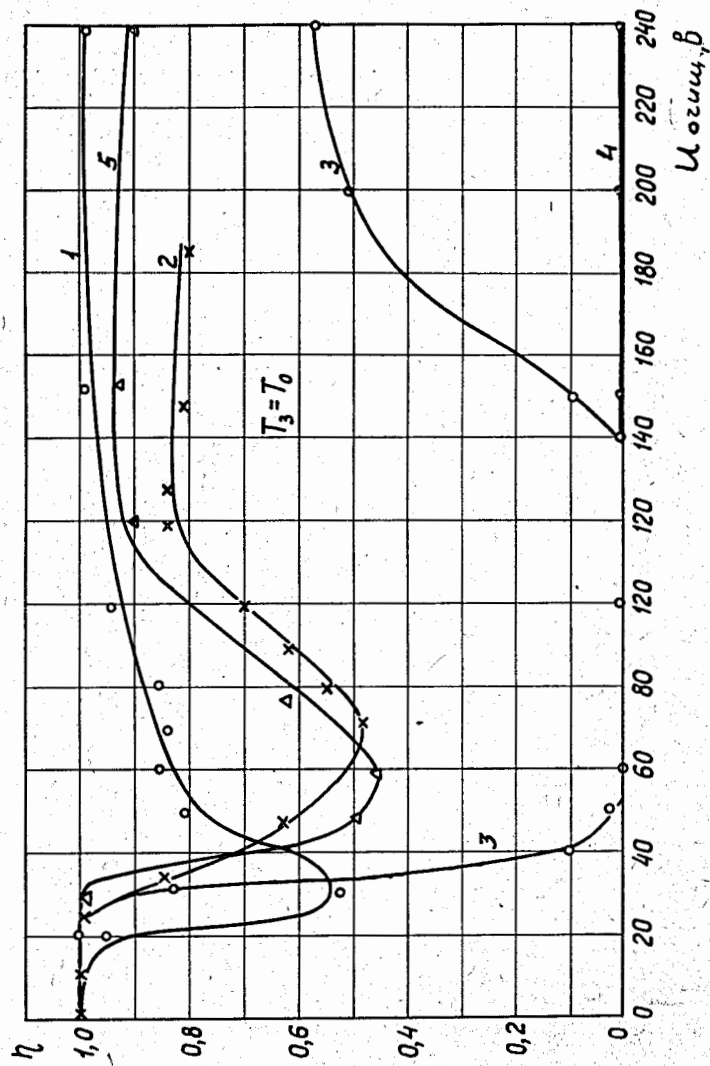
Р и с. 5а. Эффективность камеры в зависимости от времени задержки и величины очищающего поля для  $\text{He} + 0.4\% \text{Ar}$ .



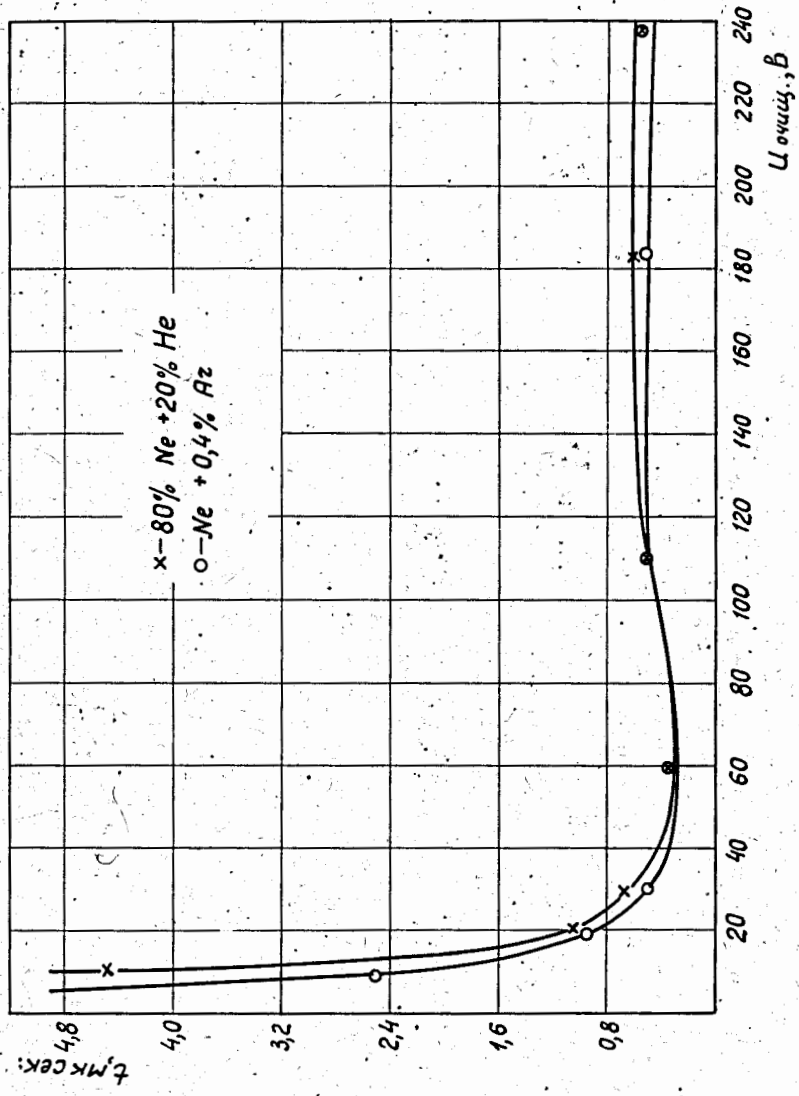
Р и с. 5б. Эффективность камеры в зависимости от времени задержки и величины очищающего поля для  $\text{He}$ .



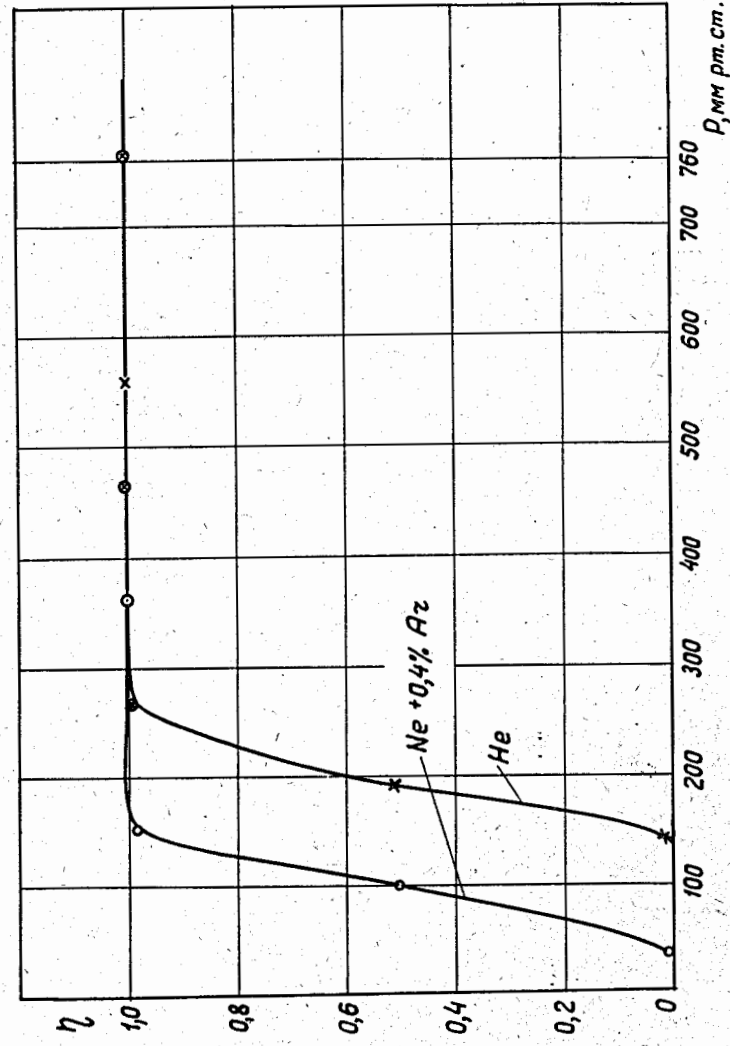
Р и с. 5в. Эффективность камеры в зависимости от времени задержки и величины очищающего поля для 80% Ne + 20% He.



Р и с. 6. Зависимость эффективности камеры от величины очищающего поля.



Р и с. 7. Зависимость времени памяти от амплитуды очищающего поля.



Р и с. 8. Зависимость эффективности камеры от давления газа.