

УКЗ. ЧИТ. ЗАЛ

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-4702



В.А.Акуличев, Л.Р.Гаврилов, В.Г.Гребинник,
В.А.Жуков, Г.Либман, А.П.Маньч, Ю.И.Рудин,
Л.Д.Розенберг, Г.И.Селиванов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

О ВЛИЯНИИ УЛЬТРАЗВУКА
НА ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ
В ЖИДКОВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

1969

P13-4702

В.А.Акуличев, Л.Р.Гаврилов, В.Г.Гребинник,
В.А.Жуков, Г.Либман, А.П.Маньч, Ю.И.Рудин,
Л.Д.Розенберг, Г.И.Селиванов

**О ВЛИЯНИИ УЛЬТРАЗВУКА
НА ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ
В ЖИДКОВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ**

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

В большинстве существующих конструкций пузырьковых камер "перегрев" рабочей жидкости, т.е. ввод ее в состояние чувствительности к ионизирующему излучению, осуществляется сбросом давления в жидкости до значений, меньших величины равновесного давления насыщающих паров /1/. Применение для этой цели механических расширительных систем связано с целым рядом конструктивных неудобств, которые становятся особенно ощутимыми при проектировании камер с большими рабочими объемами. Кроме того, наличие сложных механических расширительных систем ограничивает увеличение быстродействия пузырьковых камер и полностью исключает осуществление управляемого режима, представляющего значительный интерес при регистрации редких событий. В связи с этим в последние годы проводятся широкие исследования, целью которых является создание перегретого состояния жидкости без использования механических расширительных систем. В работах /2-5/ делались попытки обнаружить чувствительность различных жидкостей к ионизирующему излучению при воздействии ультразвука, однако при этом наблюдать треки частиц не удавалось. Наконец, в работе /6/, опубликованной в конце 1968 г., были описаны эксперименты, в которых наблюдались треки пионов и протонов в гелиевой пузырьковой камере при создании перегрева плоской стоячей ультразвуковой волной с частотой 110 кгц. При этом зоны чувствительности наблюдались в пучностях ультразвуковой волны, а трек ионизирующей частицы представлялся в виде пунктирной линии с шагом отдельных штрихов, соответствующим половине длины волны. Благоприятным обстоятельством, способствовавшим успешному проведению этих экспери-

ментов, являлось то, что для приведения жидкого гелия в состояние чувствительности к ионизирующему излучению достаточно понижения давления всего лишь на 0,2 атм относительно равновесного давления пара.

Однако описанная акустическая пузырьковая камера обладает тем существенным недостатком, что формирование треков происходит в объеме с периодически меняющимися по пространству динамическими условиями, что приводит к образованию прерывистых треков. Кроме того, при использовании в камере плоских излучателей ультразвуковых колебаний представляется весьма трудным создание больших амплитуд акустического давления, которые требуются для большинства жидкостей, применяемых в качестве рабочей среды при исследовании взаимодействия элементарных частиц. В случае использования такой акустической системы амплитуда ультразвукового давления максимальна на поверхности излучателя, что приводит к паразитному кипению на этой поверхности и существенно снижает амплитуды ультразвукового давления, которые могут быть реализованы в рабочем объеме жидкости.

Независимые от опубликованных в работе /6/ исследования влияния ультразвука на формирование треков частиц высоких энергий начиная с 1967 г. проводились совместно сотрудниками Акустического института АН СССР и Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Ставилась задача изучения влияния ультразвука на чувствительность жидкого водорода, представляющего наибольший интерес при исследовании взаимодействия элементарных частиц. Настоящая работа посвящена полученным экспериментальным результатам.

Введение ультразвуковой энергии в такую рабочую среду, как жидкий водород, связано с рядом трудностей. Известно /1/, что для приведения жидкого водорода в состояние чувствительности к ионизирующему излучению необходимо понизить давление приблизительно на 1,5-2,0 атм по сравнению с равновесным давлением паров P_{∞} , соответствующим рабочей температуре камеры. Следует учесть, что до приведения в состояние чувствительности жидкость поддерживается при внешнем давлении P_B , несколько превышающем равновесное (в нашем случае $P_B - P_{\infty} \approx 1$ атм), что необходимо для предотвращения паразитного кипения жидкости и для достаточно быстрого восстановления начальных условий в камере после срабатывания

расширительной системы. Таким образом, при замене механической расширительной системы ультразвуковой колебательной системой амплитуда акустического давления в жидком водороде должна быть не менее 2,5-3,0 атм. Реализация таких амплитуд в жидком водороде является довольно сложной технической задачей, поскольку плотность жидкого водорода в интервале типичных рабочих температур (25°-29°K) составляет 0,06 г/см³ при скорости звука порядка 0,9·10⁵ см/сек. Эти обстоятельства обуславливают необходимость применения таких акустических систем, которые позволяют возбудить в жидком водороде достаточно мощные ультразвуковые колебания.

При проведении исследований использовалась 25-сантиметровая жидководородная пузырьковая камера Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ /7/, в рабочий объем которой были помещены акустический излучатель и приемник давления. В качестве акустического излучателя применялась цилиндрическая фокусирующая система из секционированной керамики титаната бария, излучающая ультразвуковую энергию на резонансной частоте, соответствующей первой моде колебаний, равной 14,0 кгц. Излучатель располагался осесимметрично в центральной части камеры, как изображено на рис. 1. Здесь показан в разрезе корпус пузырьковой камеры (1) с вмонтированными в него акустическим излучателем (2) и приемником давления (3). Излучатель набран из ламелей (4), изготовленных из керамики титаната бария и армированных тонкостенным бандажом (5). Внутренний диаметр излучателя составлял 70 мм, наружный - 115 мм и глубина - 60 мм. Кроме того, на рис. 1 схематически изображены стереофотоаппарат (6) с базой 25 см, осветитель (7), токовводы (8), тонкостенная диафрагма (9) для ввода частиц, термостатирующая рубашка (10) и расширительное устройство (11).

Для образования треков ионизирующих частиц использовался либо радиоактивный источник γ -лучей ^{60}Co интенсивностью 25 мкюри и энергией частиц около 1,2 Мэв, либо пучок π^- -мезонов с энергией 340 ± 12 Мэв от синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. В последнем случае момент прохождения частиц через рабочий объем камеры строго синхронизировался с включением механической расширительной системы, с подачей ультразвукового импульса на излучатель и с включением импульсной лампы-вспышки.

Блок-схема используемой экспериментальной аппаратуры приведена на рис. 2. Здесь 1 - блок синхронизации пузырьковой камеры, запускаемый синхроимпульсом, поступающим от ускорителя, либо от внутреннего генератора, 2 - задающий генератор ультразвуковых импульсов, 3 - ультразвуковой мощный генератор, 4 - импульсный вольтметр, 5 - ультразвуковой излучатель, 6 - приемник давления, 7 - жидководородная пузырьковая камера; 8 - расширительная система, 9 - окно для ввода пучка ионизирующих частиц, 10 - предварительный усилитель, 11 - осциллограф, 12 - ламповый вольтметр, 13 - стереофотоаппарат, 14 - передающая телекамера, 15 - приемная телекамера.

Поскольку условия работы на ускорителе исключают возможность непосредственного визуального наблюдения явлений, происходящих в пузырьковой камере, контроль за состоянием рабочего объема осуществлялся с помощью телевизионной установки. Треки ионизирующих частиц в пузырьковой камере фотографировались стереофотоаппаратом, синхронизованным с камерой. Изменения давления в камере, вызванные механической расширительной системой и акустическим излучателем, регистрировались с экрана двухлучевого осциллографа (11) фотокамерой (типа РФК).

Экспериментальные исследования влияния ультразвука на формирование треков ионизирующих частиц проводились по следующей методике. В рабочем объеме камеры, режим которой был доведен до оптимального, постепенно уменьшался перегрев, вызванный действием механической расширительной системы, и достигался такой режим, когда чувствительность рабочей среды к ионизирующему излучению практически полностью исчезала. При достижении такого режима в рабочую среду излучался ультразвуковой импульс. На рис. 3 показаны временные диаграммы, характеризующие изменения давления в камере, вызванные механической расширительной системой (рис. 3а) и ультразвуковым излучателем (рис. 3б). На рис. 3а отмечены моменты ввода пучка ионизирующих частиц от ускорителя t_1 и фотосъемки треков t_2 . Длительность импульса понижения давления, создаваемого механической расширительной системой, была примерно равна 10 мсек. Ультразвуковой импульс длительностью 10+15 мсек подавался на излучатель с таким расчетом,

чтобы к моменту ввода частиц в камере устанавливался режим ультразвуковых колебаний. Длительность импульса пучка частиц ускорителя составляла приблизительно 0,3 мсек. Интервал времени $t_2 - t_1$ между фотосъемкой и вводом пучка ускорителя варьировался в пределах 2+2,5 мсек.

Необходимо отметить, что при введении ультразвуковой энергии камера регистрирует лишь те частицы, которые попадают в ее рабочий объем в интервалы времени, соответствующие фазе отрицательного давления ультразвуковой волны, причем время чувствительности камеры за каждый период T ультразвуковой волны несколько меньше $\frac{T}{2}$ и зависит от амплитуды давления ультразвука.

На рис. 4 представлены фотографии следов электронов от источника γ -лучей ^{60}Co в жидководородной пузырьковой камере без магнитного поля при рабочей температуре 27°K и степени расширения, уменьшенной в два раза по сравнению с обычным режимом расширения, что соответствует минимальной чувствительности камеры (ход поршня - 10 мм). Рис. 4а соответствует отсутствию ультразвука, а рис. 4б - введению в камеру ультразвукового импульса длительностью 10 мсек при напряжении на излучателе, равном 1,0 кв. При этом амплитуда давления ультразвукового импульса, создающего дополнительный перегрев в жидкости, примерно равна 1,0 атм.

На рис. 5 показаны треки фоновых частиц от синхроциклотрона в пузырьковой камере без магнитного поля при аналогичных режимах работы камеры и ультразвукового излучателя. Рис. 5а соответствует регистрации треков частиц без ультразвука, а рис. 5б - с ультразвуком.

На рис. 6 приведены фотографии треков отрицательных пионов с энергией 340 Мэв от синхроциклотрона в жидководородной пузырьковой камере с магнитным полем напряженностью 2,7 кэрст при рабочей температуре 27°K и величине расширения, соответствующей минимальной чувствительности камеры (стрелкой показано направление движения частиц от синхроциклотрона). Рис. 6а соответствует регистрации треков без ультразвука, а рис. 6б - с ультразвуком. При этом длительность ультразвукового импульса составляла 15 мсек, напряжение на излучателе - 1,2 кв, а амплитуда ультразвукового давления, создающего допол-

нительный перегрев в жидкости, была примерно равна 1,2 атм. Светлый ореол на всех фотографиях обусловлен паразитным кипением на проводниках, соединяющих ламели излучателя, а светлая точка в центральной части снимков соответствует мнимому изображению импульсного источника света.

Нетрудно видеть, что введение ультразвука существенно влияет на рост пузырьков, образующих треки ионизирующих частиц. Возбуждение излучателя на частоте первой моды колебаний обеспечило получение такого распределения акустического поля в рабочем объеме камеры, при котором удалось наблюдать непрерывные по пространству треки, а применение фокусирующей системы позволило создать в жидкости амплитуды акустического давления, значительно превышающие амплитуды давления на поверхности излучателя, что имеет существенное значение для уменьшения паразитного кипения. Некоторая неоднородность треков по длине обусловлена характером распределения акустического давления в рабочем объеме жидкости.

В общем случае форма и размеры применяемой акустической системы могут быть самыми различными (цилиндр, полусфера, сегмент и т.д.) и должны определяться формой и конструктивными особенностями пузырьковой камеры. При этом с точки зрения оптимального использования рабочего объема желательно, чтобы акустический излучатель одновременно являлся корпусом пузырьковой камеры.

Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности полной замены расширительного устройства жидководородной пузырьковой камеры ультразвуковой колебательной системой.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.А.Александров, Г.С.Воронов, В.М.Горбунков, Н.Б.Делоне, Ю.И.Нечаев. Пузырьковые камеры. М., Атомиздат, 1963.
2. A.L.Hughes. An Exploration of the Possibility of Employing Ultrasonic Radiation to Sensitize a Bubble Chamber. Proc. Int. Conf. on High Energy Physics. Berkeley, 1960.

3. В.К.Ляпидиевский, Р.М.Суляев, И.В.Фаломкин. Влияние ультразвука на работу пузырьковой и диффузионной камер. Препринт ОИЯИ 884, Дубна, 1962.
4. Ю.А.Александров, Г.С.Воронов, Н.Б.Делоне. Чувствительность к излучению неперегретой жидкости при понижении давления. Препринт А-151, ФИАН, Москва, 1962.
5. V.Hahn, R.N.Peacock. Ultrasonic Cavitation Induced by Neutrons. Nuovo Cim., 28, 2, 334-340 (1963).
6. R.C.A.Brown, H.J.Hilke, A.H.Rogers. Ultrasonic Helium Bubble Chamber. Nature, 220, 1177-1178 (1968).
7. Т.Д.Блохинцева, А.Т.Василенко, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун фан. Восьмилитровая водородно-дейтериевая пузырьковая камера в магнитном поле. ПТЭ, 5, 51-59, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 октября 1969 года.

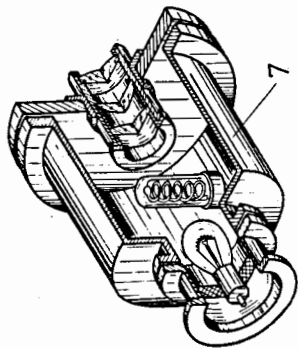
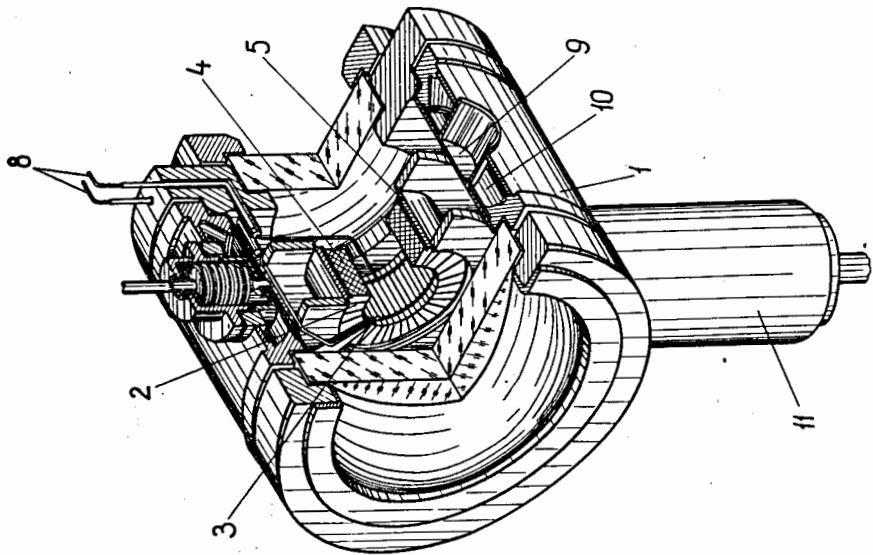
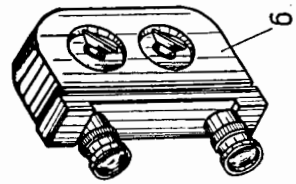
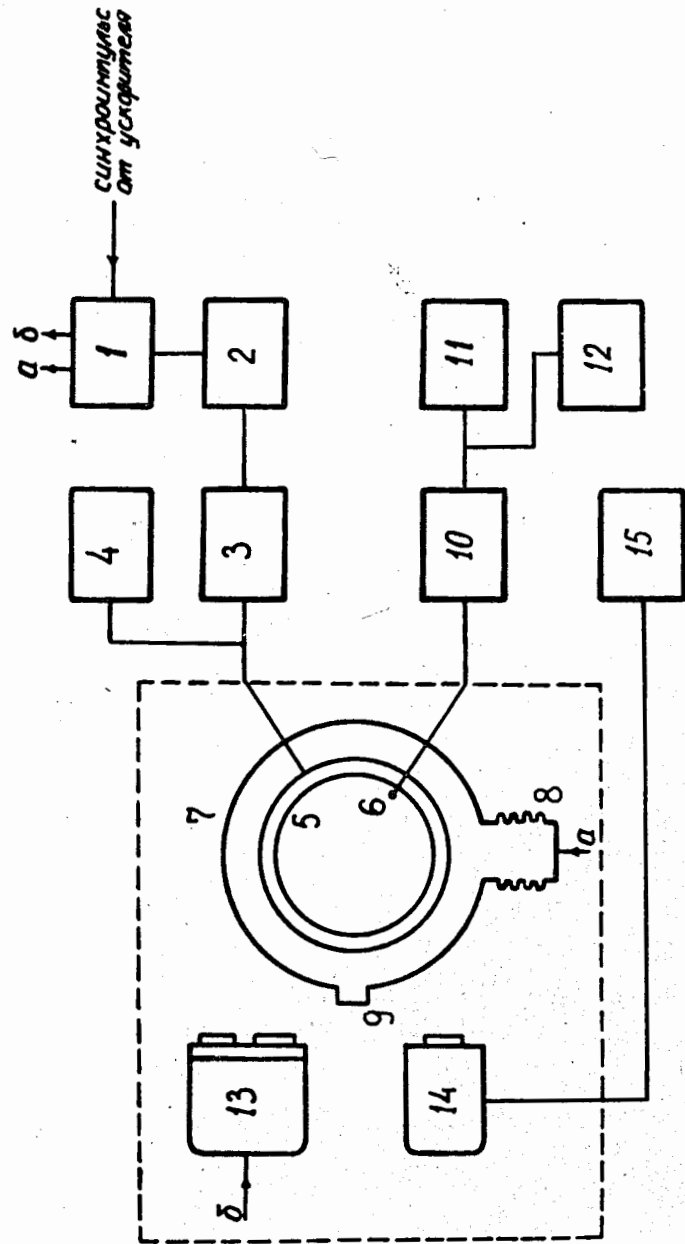
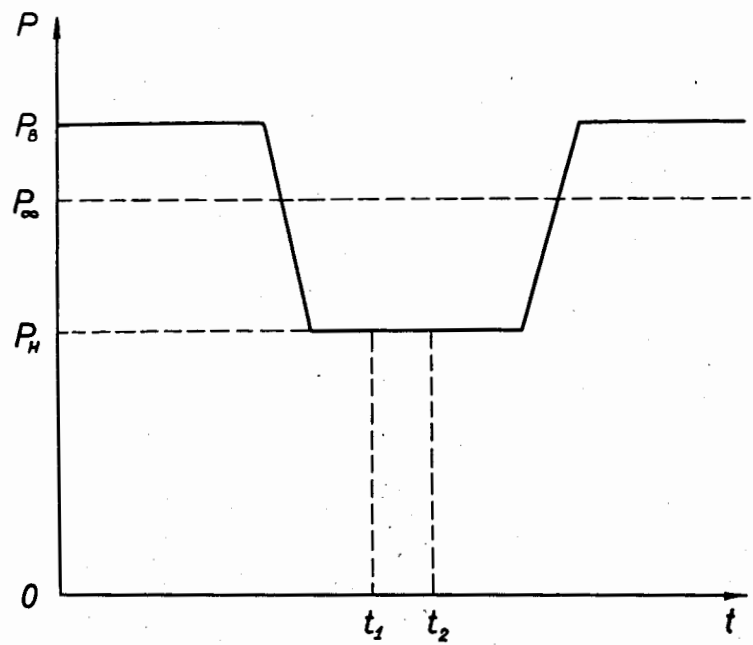
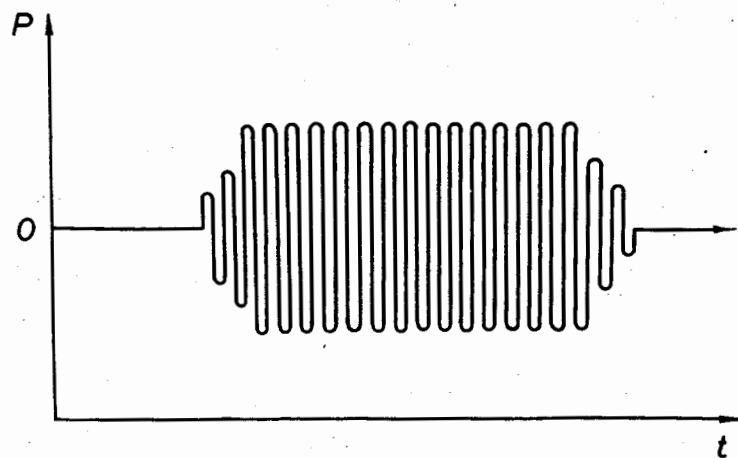


Рис. 1



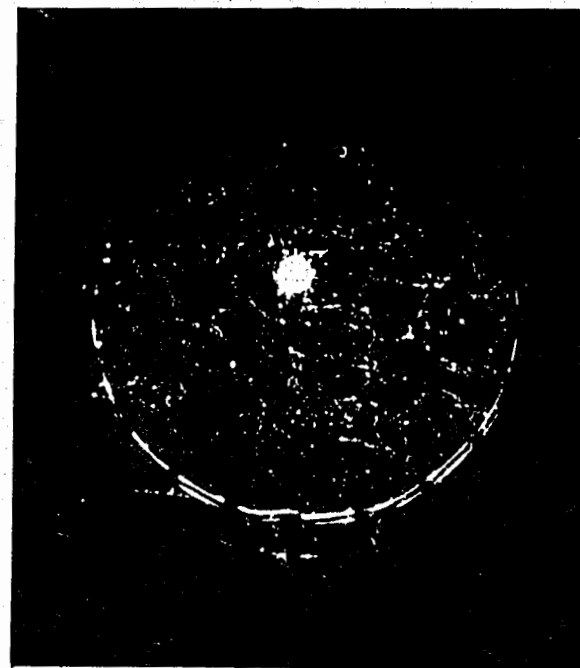


α



δ

Рис. 3



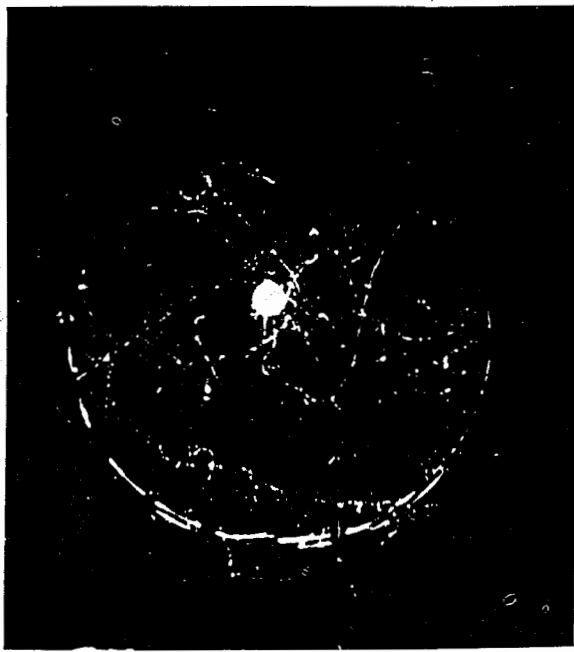
α



δ

Рис. 4

a



б

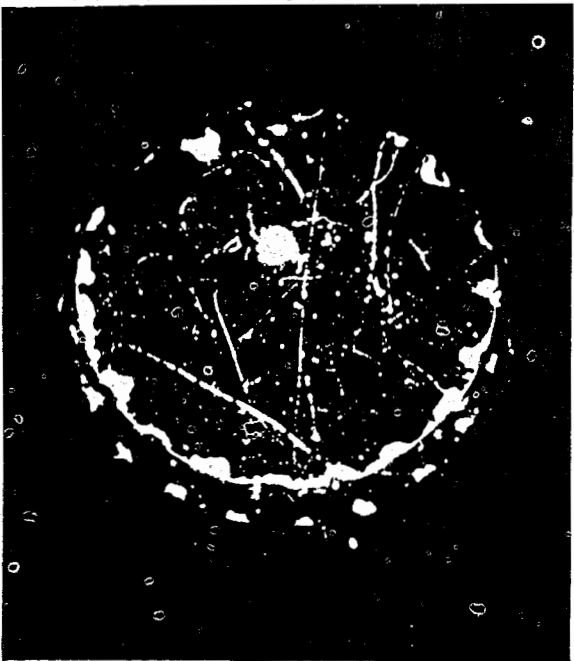
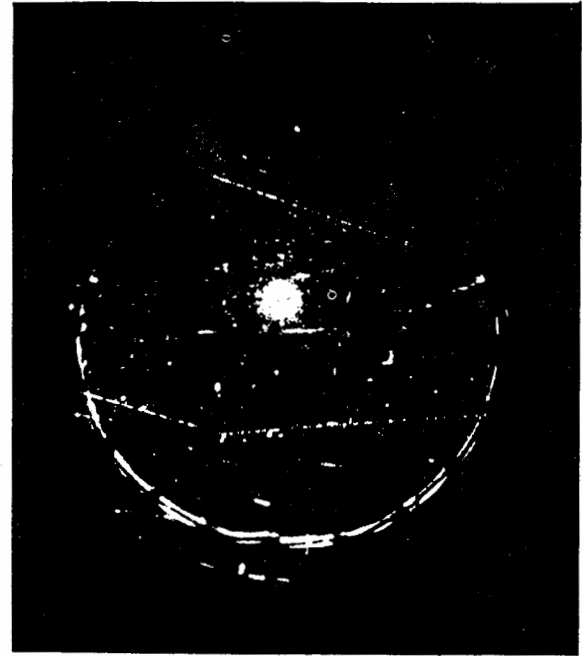


Рис. 5

a



б

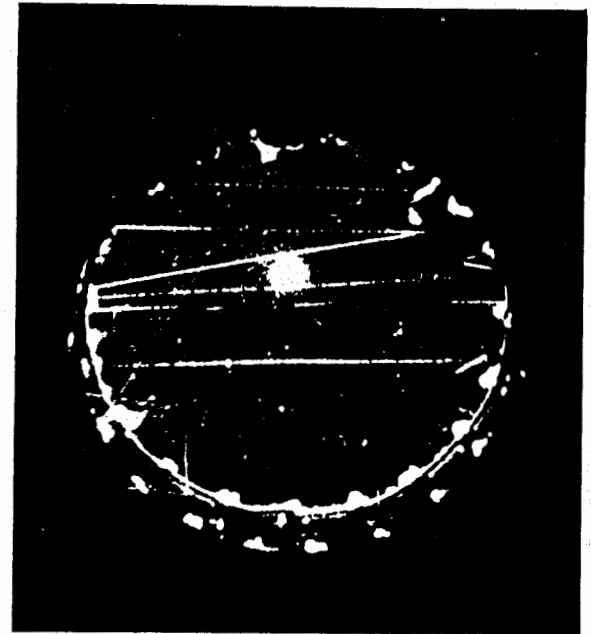


Рис. 6