АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XV 1969 Вып. 4

УДК 534.29:539.1.073.22

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

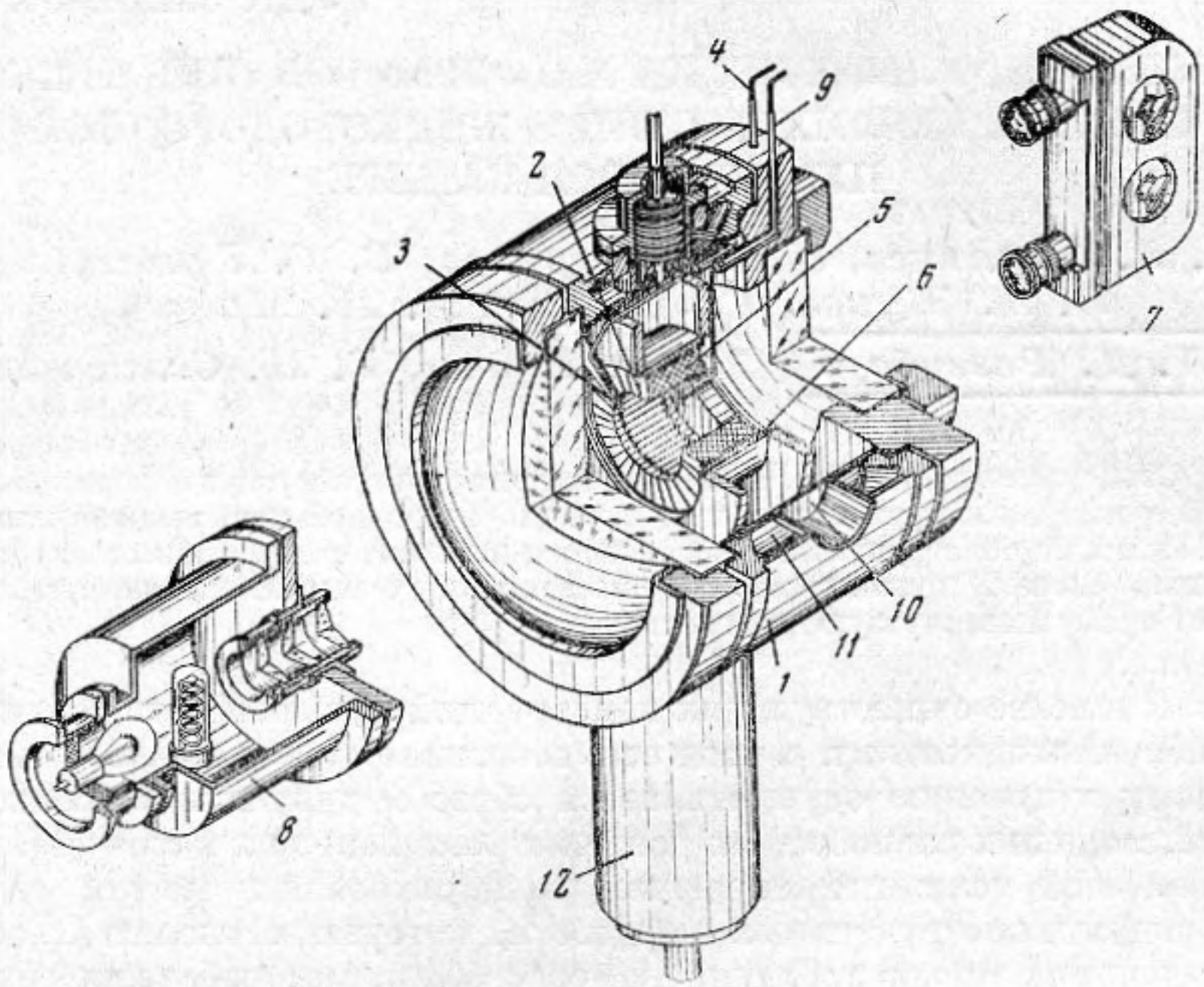
*В. А. Акуличев, Л. Р. Гаврилов, В. Г. Гребинник, В. А. Жуков, Г. Либман, А. П. Маныч, Л. Д. Розенберг, Ю. И. Рудин, Г. И. Селиванов*

Экспериментально исследовано влияние ультразвука на формирование треков ионизирующих частиц в жидководородной пузырьковой камере. Описаны конструктивные особенности и характерные режимы акустических систем, приводящие к существенному влиянию ультразвука на рост пузырьков, образующих треки.

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 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 для регистрации редких событий. В связи с этим в последние годы проводятся широкие исследования, целью которых является создание перегретого состояния в 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], 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 прерывистой линии с шагом отдельных штрихов, соответствующим половине длины волны. Благоприятным обстоятельством, способствовавшим успешному проведению этих экспериментов, 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. Вместе с тем, прерывистость треков является существенным недостатком такой камеры. Кроме того, при использовании в камере плоских излучателей ультразвука представляется весьма трудным создание больших амплитуд звукового давления, которые требуются для большинства жидкостей, применяемых в качестве рабочей среды при исследовании взаимодействия элементарных частиц. В такой акустической системе амплитуда звукового давления максимальна на поверхности излучателя, что приводит к паразитному кипению на этой по-

верхности и существенно снижает значения амплитуды звукового давления, которые могут быть созданы в рабочем объеме жидкости.

Начиная с 1967 г. исследования влияния ультразвука на формирование треков частиц высоких энергий проводились совместно сотрудниками Акустического института АН СССР и Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). При этом ставилась задача изучения влияния ультразвука на чувствительность жидкого водорода, представляющего наибольший интерес при исследовании взаимодей-



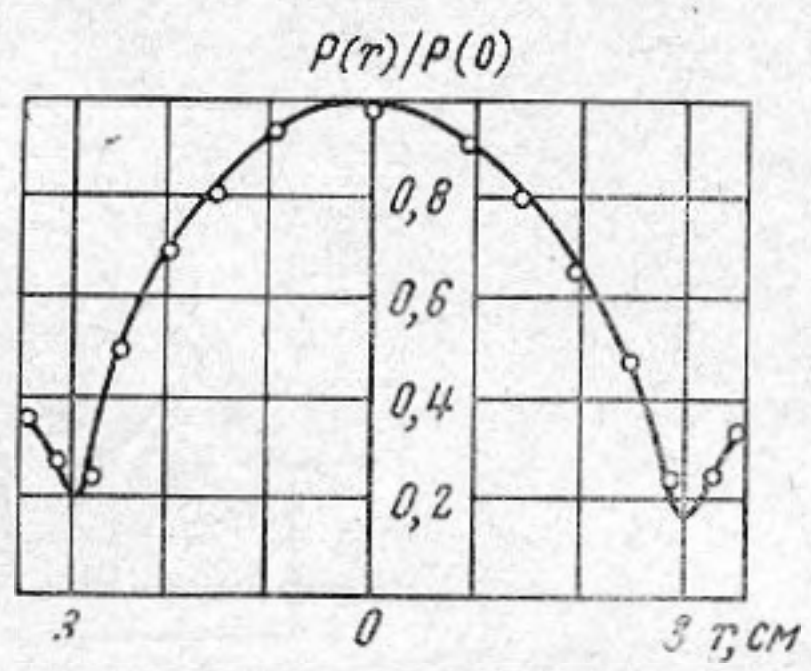

**Фиг. 1**

ствия элементарных частиц. Настоящая работа посвящена рассмотрению полученных экспериментальных результатов.

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 до значения $P_н$, приблизительно на $1{,}5 \div 2{,}0$ *атм* ниже равновесного давления паров $P_\infty$, соответствующего рабочей температуре камеры. При этом следует учесть, что до приведения в состояние чувствительности жидкость подвергается внешнему давлению $P_в$, несколько превышающему равновесное (в нашем случае $P_в - P_\infty \simeq \simeq 1$ *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 звукового давления в жидком водороде должна быть не менее $2{,}5 \div 3{,}0$ *атм*. Реализация таких амплитуд в жидком водороде является довольно сложной технической задачей, поскольку плотность жидкого водорода в интервале типичных рабочих температур (25—29° К) составляет около 0,06 *г/см*$^3$ при скорости звука порядка $0{,}9 \cdot 10^5$ *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 ЛЯП ОИЯИ [7], в рабочий объем ко-

торой были помещены излучатель звука и приемник давления. В качестве излучателя использовалась цилиндрическая фокусирующая система из секционированной керамики титаната бария. В излучателе возбуждались радиально симметричные колебания, соответствующие нулевой моде на резонансной частоте $f_0$, которую можно определить по формуле $f_0 = c_к/2\pi r$, где $c_к$ — скорость звука в керамике титаната бария, $r$ — радиус цилиндрического излучателя. В описываемом случае $f_0 = 14{,}0$ *кгц*. Излучатель располагался осесимметрично в центральной части камеры, как показано на фиг. 1. Здесь показан в разрезе корпус пузырьковой камеры *1* с вмонтированными в него излучателем *2* и приемником давления *3*; выводной кабель звукоприемника обозначен цифрой *4*. Излучатель набран из ламелей *5*, изготовленных из керамики титаната бария и армированных тонкостенным бандажом *6*. Внутренний диаметр излучателя составлял 70 *мм*, наружный — 115 *мм* и глубина — 60 *мм*. Кроме того, на фиг. 1 показаны стереофотоаппарат *7* с базой 25 *см*, осветитель *8*, токоввод излучателя *9*, тонкостенная диафрагма *10* для ввода частиц, термостатирующая рубашка *11* и расширительное устройство *12*.




**Фиг. 2**

На фиг. 2 показано радиальное распределение звукового давления, создаваемого излучателем в четыреххлористом углероде, скорость звука в котором близка к скорости звука в жидком водороде при рабочей температуре камеры. Измерения проводились миниатюрным приемником давления в центральной плоскости излучателя. По оси абсцисс показано значение радиуса $r$, по оси ординат — отношение давления в точке с координатой $r$ к величине максимального давления на оси.

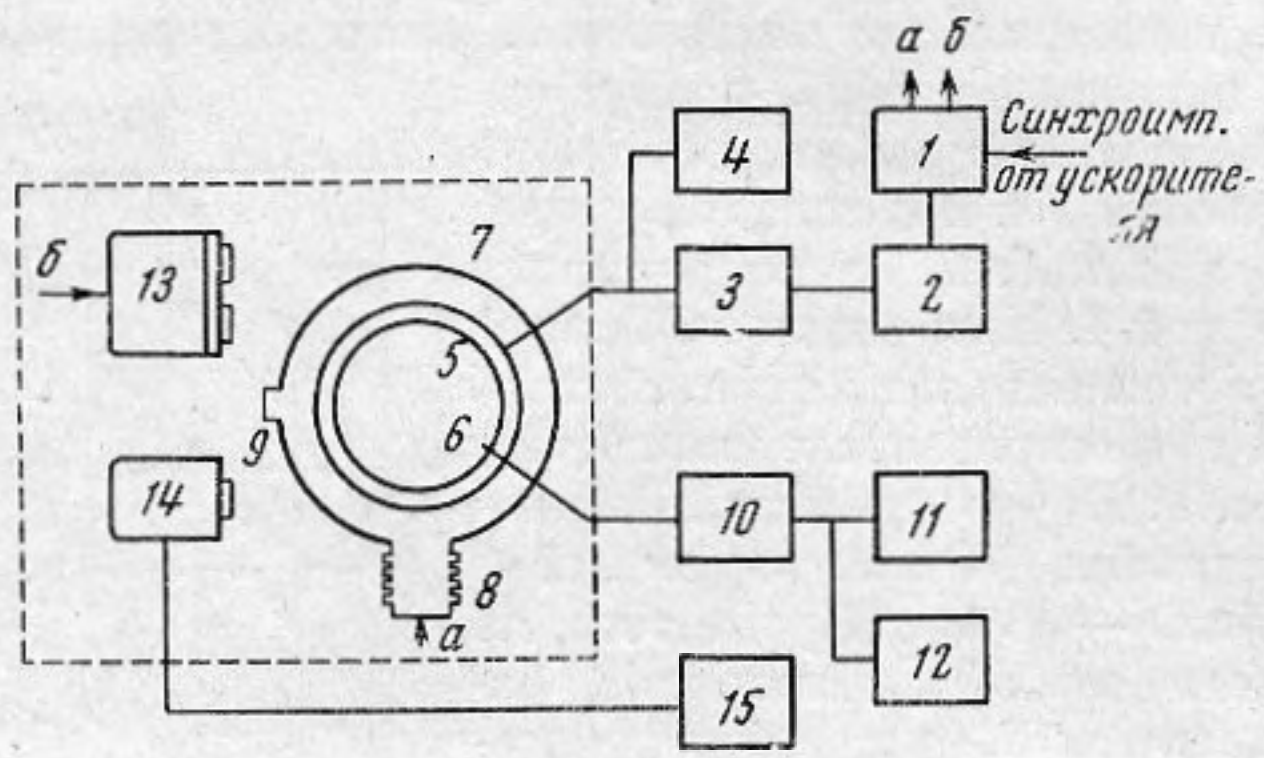
Для образования треков ионизирующих частиц использовался либо радиоактивный источник $\gamma$-лучей $Co^{60}$ интенсивностью 25 *мкюри* и энергией частиц около 1,2 *Мэв*, либо пучок $\pi^-$-мезонов с энергией $340 \pm 12$ *Мэв* от синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. В последнем случае 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 показана на фиг. 3. Здесь *1* — блок синхронизации пузырьковой камеры, запускаемый синхроимпульсом, поступающим от ускорителя, либо от внутреннего генератора, *2* — задающий генератор ультразвуковых импульсов, *3* — мощный ультразвуковой усилитель, *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, наблюдение осуществлялось с помощью телевизионной установки. Треки ионизирующих частиц в пузырьковой камере фотографировались стереофотоаппаратом, синхронизированным с работой камеры. Изменения давления в камере, вызванные механической расширительной системой и акустическим излучателем, регистрировались с экрана двухлучевого осциллографа *11* фотокамерой (типа РФК).

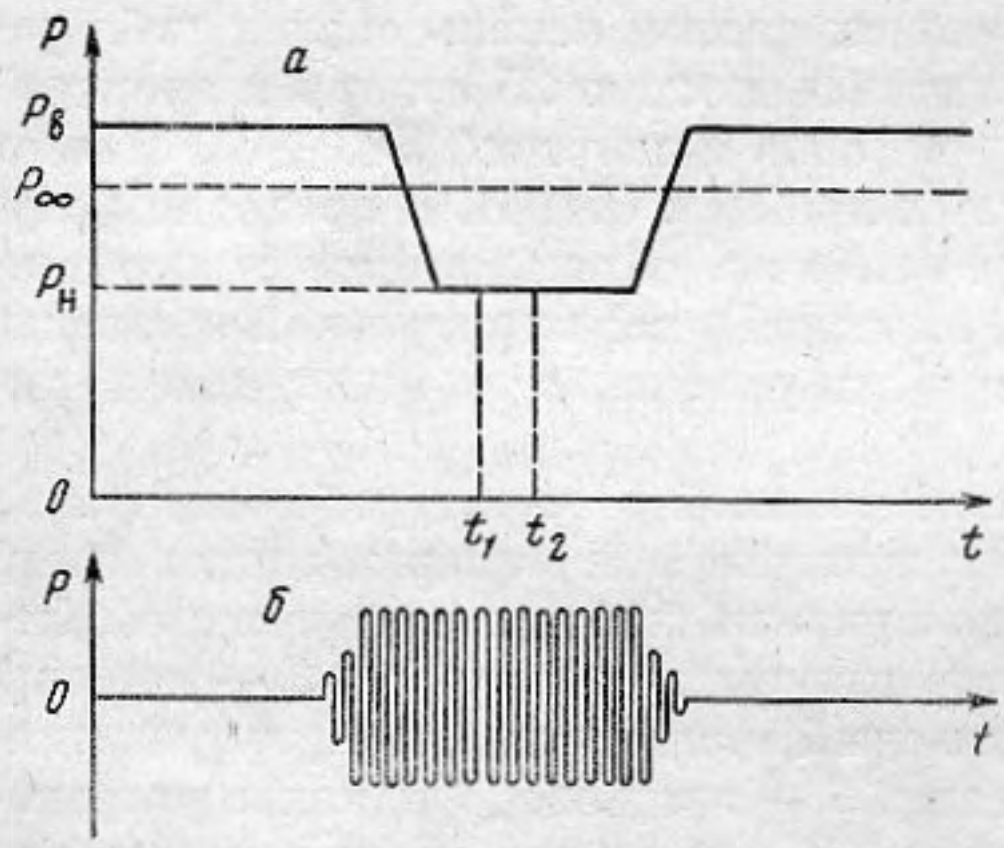
Экспериментальные исследования влияния ультразвука на формирование треков ионизирующих частиц проводились, как правило, следующим образом. В рабочем объеме камеры, первоначально доведенной до опти-

мального режима чувствительности, 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 фиг. 4 показаны временные диаграммы, характеризующие изменения давления в




Фиг. 3

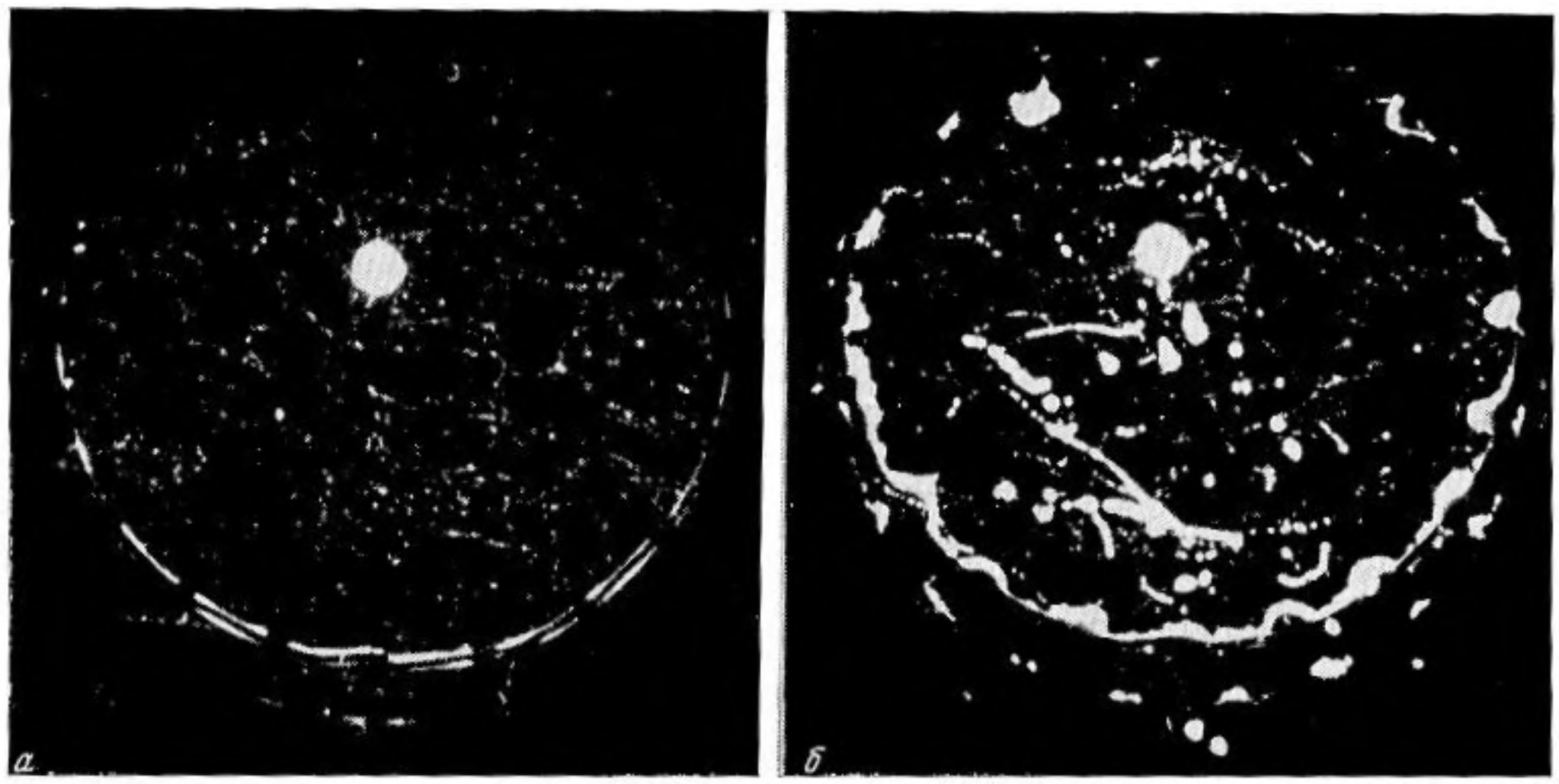
камере, вызванные механической расширительной системой (*а*) и ультразвуковым излучателем (*б*). На фиг. 4, *а* отмечены моменты ввода пучка ионизирующих частиц от ускорителя $t_1$ и фотосъемки треков $t_2$. Длительность импульса понижения давления, создаваемого механической расширительной системой, была равна примерно 10 *мсек*. Ультразвуковой импульс длительностью $10 \div 15$ *мсек* подавался на излучатель с таким расчетом, чтобы к моменту ввода частиц в камере достигался стационарный 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 $2 \div 2{,}5$ *мсек*.



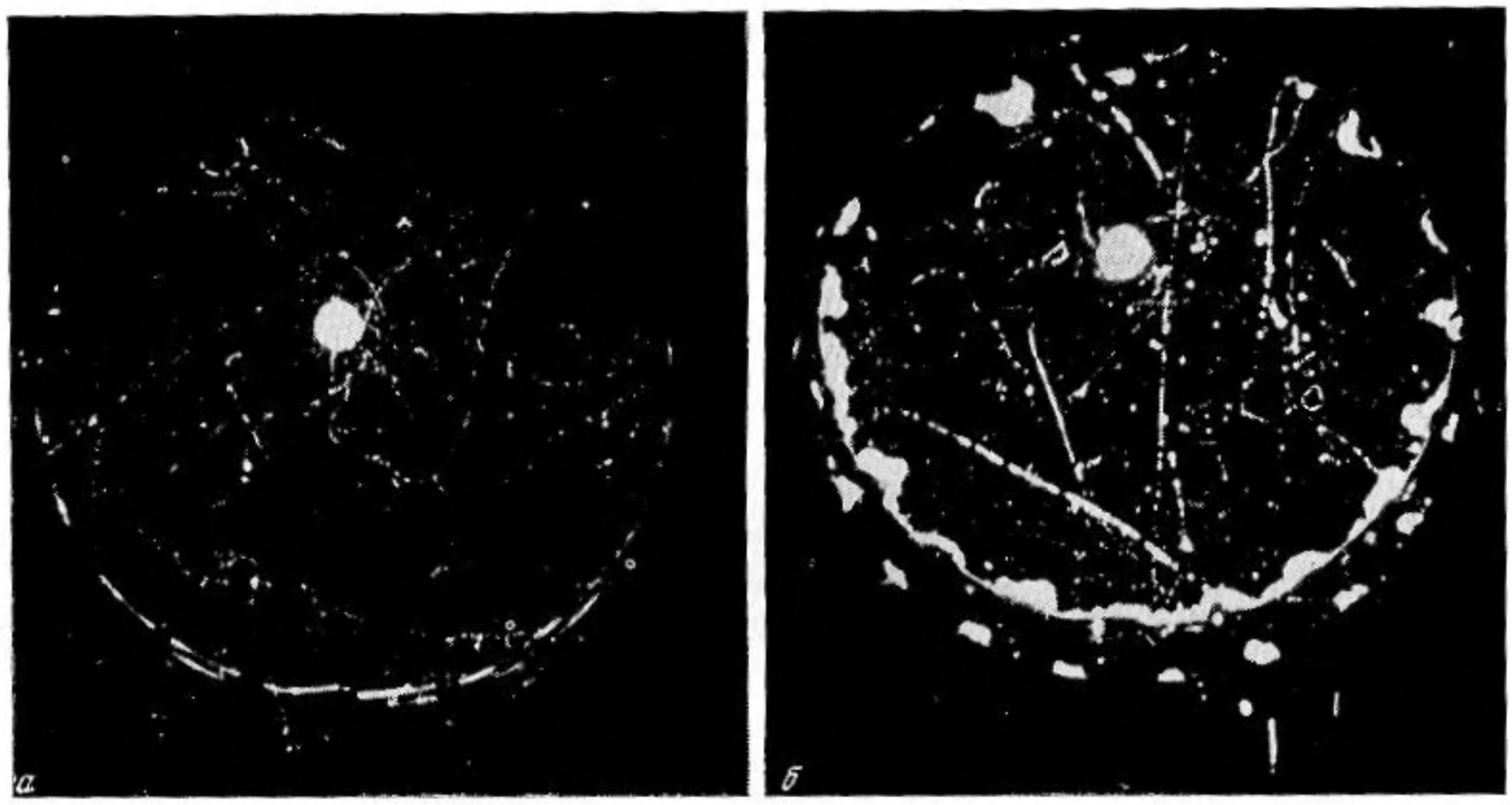

Фиг. 4

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 $T/2$ и зависит от амплитуды давления ультразвука.

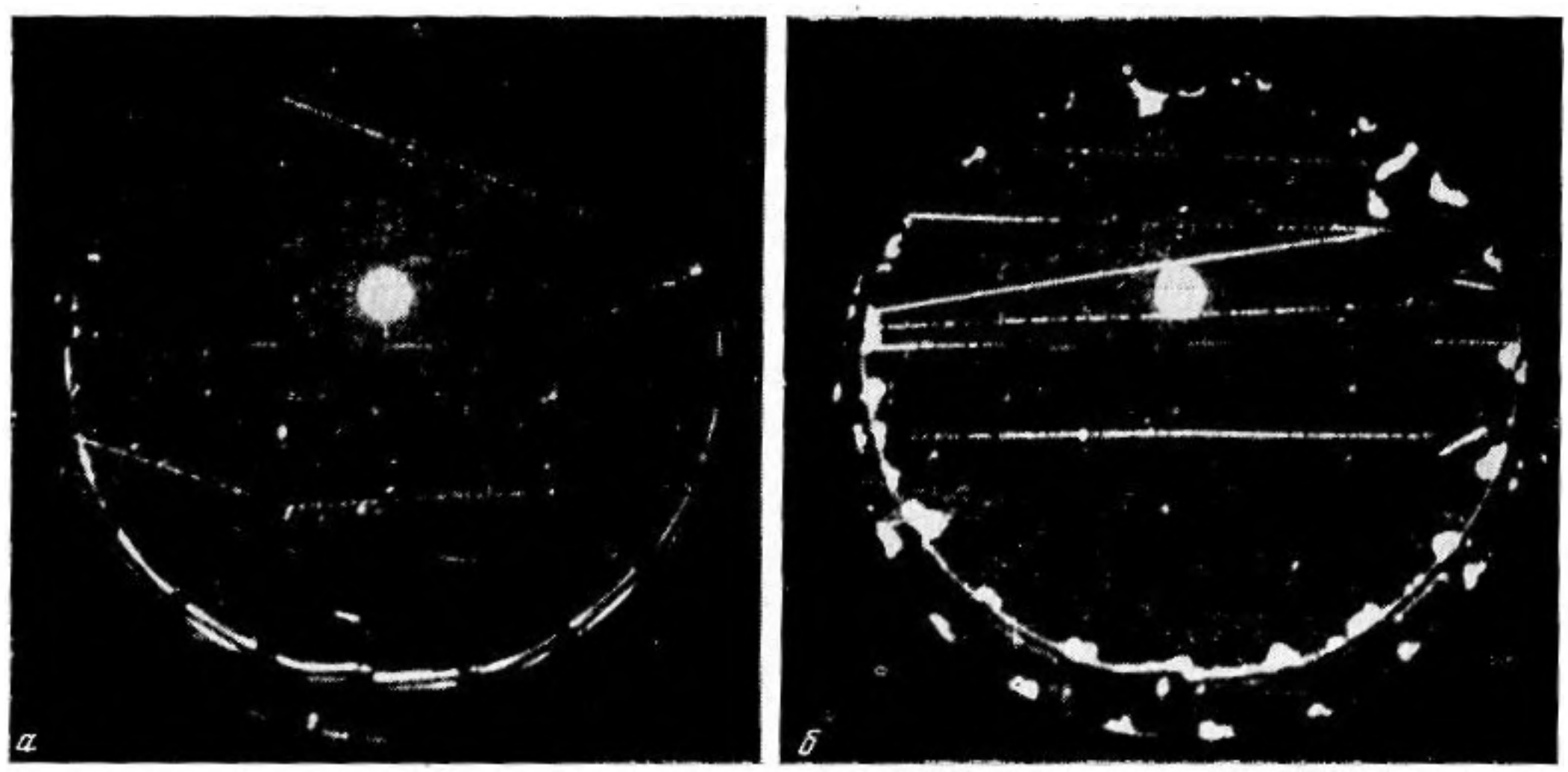
На фиг. 5 представлены фотографии следов электронов от источника $\gamma$-лучей $Co^{60}$ в жидководородной пузырьковой камере без магнитного поля при рабочей температуре 27° К и степени расширения, уменьшенной в два раза по сравнению с обычным режимом расширения, что соответствует минимальной чувствительности камеры (ход поршня — 10 *мм*). Фиг. 5, *а* соответствует отсутствию ультразвука, а фиг. 5, *б* — 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*.




Фиг. 5



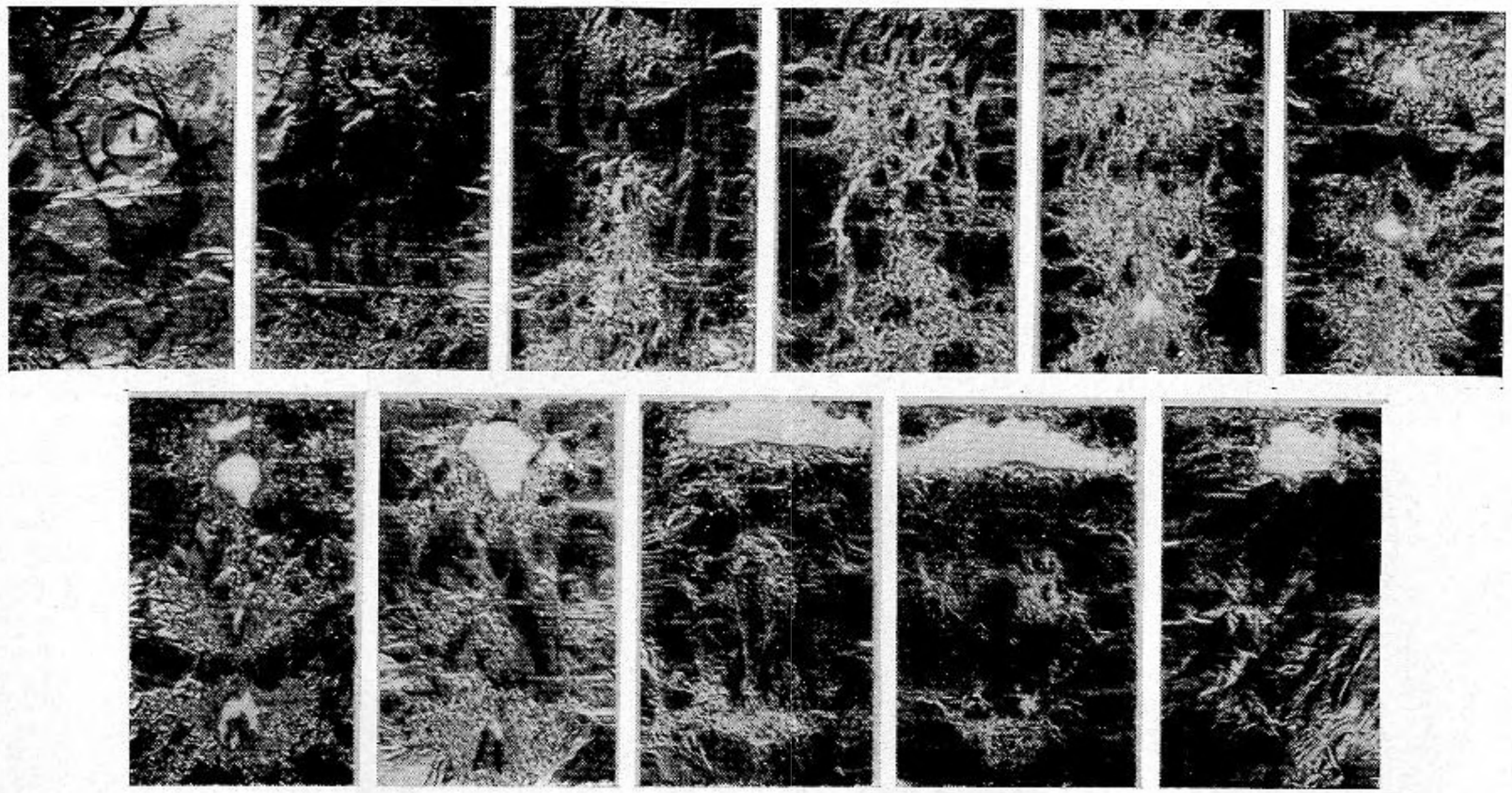

Фиг. 6




Фиг. 7

Рисунки к статье В. А. Акуличева и др.

*Вклейка к статье Б. А. Аграната, В. И. Башкирова (стр. 605)*



Фиг. 6

На фиг. 6 показаны треки фоновых частиц от синхроциклотрона в пузырьковой камере без магнитного поля при аналогичных режимах работы камеры и ультразвукового излучателя. Фиг. 6, *а* соответствует регистрации треков частиц без ультразвука, а фиг. 6, *б* — с ультразвуком.

На фиг. 7 показаны 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° К и величине расширения, соответствующей минимальной чувствительности камеры. (Стрелкой показано направление движения частиц от синхроциклотрона.) Фиг. 7, *а* соответствует регистрации треков без ультразвука, а фиг. 7, *б* — с ультразвуком. При этом длительность ультразвукового импульса составляла 15 *мсек*, напряжение на излучателе — 1,2 *кв*, а амплитуда ультразвукового давления, создающего дополнительный 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 нулевой моды колебаний обеспечило получение такого распределения акустического поля в рабочем объеме камеры, при котором удалось наблюдать непрерывные по пространству треки, а применение цилиндрической фокусирующей системы позволило создать в жидкости амплитуды акустического давления, существенно превышающие давление 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.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Ю. А. Александров, Г. С. Воронов, В. М. Горбунков, Н. Б. Делоне, Ю. И. Нечаев. Пузырьковые камеры. М., Госатомиздат, 1963.
2. A. L. Hughes. An exploration of the possibility of employing ultrasonic radiation to sensitize a bubble chamber. Proc. Int. Conf. High — Energy Physics. Berkeley, 1960.
3. В. К. Ляпидиевский, Р. М. Суляев, И. В. Фаломкин. Влияние ультразвука на работу пузырьковой и диффузионной камер. Препринт № 884, ОИЯИ, 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. B. Hahn, R. N. Peacock. Ultrasonic cavitation induced by neutrons. Nuovo Cimento, 1963, 28, 2, 334—340.
6. R. C. A. Brown, H. J. Hilke, A. H. Rogers. Ultrasonic helium bubble chamber. Nature, 1968, 220, 1177—1178.
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. Приборы и техн. эксп., 1962, 5, 51—59.



Акустический институт АН СССР,
Объединенный институт ядерных исследований
Москва — Дубна



Поступила в редакцию
7 мая 1969 г.