

УДК 534.29;539.1.073.3

ФИЗИКА

В. А. АКУЛИЧЕВ, В. Г. ГРЕБИННИК, В. А. ЖУКОВ, А. М. КОПОВА,
В. А. КРАСИЛЬНИКОВ, А. П. МАНЫЧ, Г. И. СЕЛИВАНОВ, В. П. ЮШИН

ТРЕКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ В ЖИДКОВОДОРОДНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

(Представлено академиком Б. М. Понтекорво 25 VII 1973)

Ультразвуковые пузырьковые камеры (у.з.п.к.) являются новыми трековыми детекторами ионизирующих частиц, разработка которых началась в последние годы (¹⁻⁵). Применение у.з.п.к. в физике высоких энергий представляется перспективным в связи с их быстродействием и возможной реализацией селективного отбора полезных событий с помощью внешней логической системы. После того как были получены треки частиц в гелиевой у.з.п.к. (¹) и показана принципиальная возможность их формирования в жидком водороде под влиянием ультразвука (²), дальнейшие усилия были направлены на создание жидководородной у.з.п.к., представляющей наибольший интерес для физики элементарных частиц. Это потребовало решения достаточно сложных научных и технических задач, обусловленных в основном трудностью получения мощных ультразвуковых полей в жидком водороде, обладающем малым акустическим сопротивлением.

В работах (³⁻⁵) были намечены основные принципы построения ультразвуковых систем в жидководородных у.з.п.к., создающих ультразвуковые поля стоячих волн достаточно больших амплитуд.

В настоящей работе представлены основные результаты экспериментальных исследований жидководородной у.з.п.к., позволившей регистрировать треки ионизирующих частиц только за счет ультразвукового поля без применения каких-либо обычных механических расширительных систем.

Ультразвуковое поле стоячих волн создавалось двумя идентичными излучателями, помещенными в 25-сантиметровую жидководородную камеру (⁶), расширительная система которой во время проведения измерений не использовалась. Применялись специально разработанные составные пьезокерамические армированные излучатели (⁷), резонансная частота которых была равна 38,4 кгц, а их акустико-механический коэффициент полезного действия, измеренный в условиях излучения бегущих волн в жидком водороде, был близок к 0,35. Применение системы парных излучателей, создающих в камере поле стоячих волн на резонансной частоте, позволило увеличить входной импеданс излучателей в жидком водороде. Это привело к повышению эффективности излучения ультразвука, а также к уменьшению внутренних механических напряжений и связанных с ними потерь энергии.

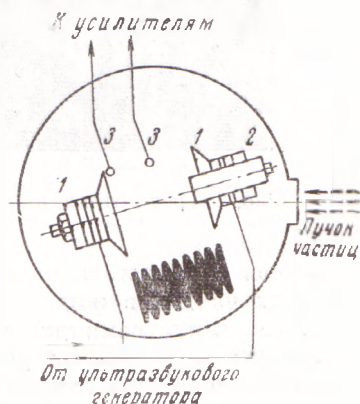


Рис. 1. Расположение ультразвуковых систем в жидководородной у.з.п.к. 1 — ультразвуковые излучатели, 2 — устройство для перемещения излучателя, 3 — приемники ультразвука

На рис. 1 схематически показано расположение ультразвуковых систем в рабочем объеме пузырьковой камеры. Условно представлено распределение давления в поле стоячих волн между излучателями. Рабочая температура в камере была равна 27°K . Между излучателями устанавливалось расстояние $a=90 \text{ мм}$, что соответствовало 4 длинам волн ультразвукового поля (9 зонам чувствительности к ионизирующему излучению) в камере в жидком водороде. Диаметр излучающей поверхности преобразователей был равен 70 мм.

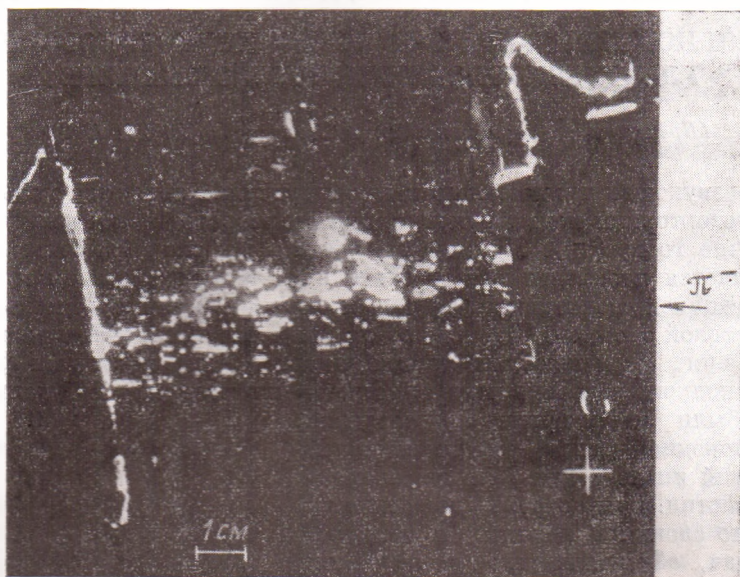


Рис. 2. Треки отрицательных пионов в поле стоячих волн в жидководородной у.з.п.к.

На рис. 2 представлена одна из типичных фотографий треков ионизирующих частиц в жидководородной у.з.п.к. Ультразвуковое поле возбуждалось импульсами длительностью 4,5 мсек. Пучок частиц π^- -мезонов с энергией 340 Мэв от ускорителя вводился в камеру примерно через 1 мсек. после начала каждого ультразвукового импульса. Интервал времени между фотосъемкой и моментом ввода пучка составлял 2 мсек. (примерно 80 периодов ультразвукового поля). Длительность импульса пучка ионизирующих частиц равнялась примерно 0,3 мсек. (10–15 периодов ультразвукового поля). Треки частиц регистрировались при пережатии жидкого водорода в камере $\Delta P \approx 0,35 \text{ бар}$ и электрическом напряжении на излучателях 1,5 кв, которое соответствовало амплитуде давления ультразвукового поля $P_m \approx 3,0 \text{ бар}$.

На рис. 3а приведена гистограмма распределения по радиусам одиночных паровых пузырьков треков ионизирующих частиц в единице объема жидкого водорода, чувствительного к ионизирующему излучению. Распределение хорошо аппроксимируется нормальным законом с наиболее вероятным значением радиусов около 0,02 см, превышающим в 2–3 раза расчетные значения ⁽⁸⁾, что, по-видимому, можно считать неплохим согласием с теорией.

На фотографиях имеется также значительное количество сплошных треков, для радиусов поперечных сечений которых на рис. 3б также приведена гистограмма распределения. Если считать, что поперечные размеры сплошных треков определяются размерами составляющих их пузырьков, то в случае сплошных треков экспериментальные и теоретические результаты расходятся уже на порядок. Возможно, что для сплошных тре-

ков, образованных частицами с высокой ионизирующей способностью и имеющих большую плотность пузырьков, существенным становится взаимодействие пузырьков в ультразвуковом поле и их динамика отличается от динамики одиночных пузырьков, описываемых теорией ⁽⁸⁾.

Проведенные нами исследования показали, что на величину ультразвукового поля в рабочем объеме у.з.п.к. существенное ограничение накладывает поглощение ультразвука, определяемое не столько коэффициентом обычного поглощения α_1 , обусловленного вязкими и релаксационными

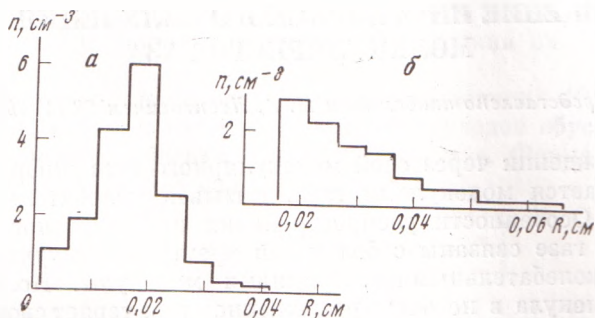


Рис. 3. Распределение размеров пузырьков треков в единице объема жидкого водорода. а — одиночные пузырьки, б — сплошные треки

потерями в жидкости, сколько коэффициентом поглощения α_2 , вызванного затуханием ультразвука вследствие потерь энергии на рост паровых пузырьков треков ионизирующих частиц. Средняя концентрация таких пузырьков в нашем случае составляла примерно $n \approx 10 \text{ см}^{-3}$, что позволило оценить $\alpha_2 \sim 10^{-2} \text{ см}^{-1}$. Значение α_2 существенно превышает α_1 , величина которого для жидкого водорода составляет 10^{-7} см^{-1} ⁽⁹⁾.

Таким образом, потери энергии ультразвукового поля в рабочем объеме у.з.п.к. обусловлены в основном возникновением треков ионизирующих частиц. Величину α_2 можно уменьшать разумным выбором частоты f ультразвукового поля, которая должна быть меньше резонансной частоты f_0 наиболее вероятных пузырьков треков в рабочей жидкости камеры. В нашем случае для приведенных выше размеров пузырьков можно оценить $f_0 \sim 100 \text{ кгц}$. Поэтому рабочая частота в у.з.п.к. соответствовала указанному выше условию. Кроме того, поскольку амплитуда давления ультразвукового поля в у.з.п.к. уменьшается при возникновении паразитного кипения (кавитации) на поверхности излучателей ⁽⁴⁾, то ее влияние снижалось путем увеличения коэффициента полезного действия излучателей за счет различных конструктивных усовершенствований, а также за счет уменьшения длительности ультразвуковых импульсов при регистрации треков.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности создания и практического применения нового трекового детектора ионизирующих частиц — жидководородной ультразвуковой пузырьковой камеры.

Акустический институт
Москва

Объединенный институт ядерных исследований
Дубна Московской обл.

Поступило
5 VII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. C. A. Brown, H. J. Hilke, A. H. Rogers, Nature, v. 220, 1177 (1968). ² В. А. Акуличев, Л. Р. Газрилов и др., ДАН, т. 189, 973 (1963). ³ R. C. A. Brown, G. Hargel, H. J. Hilke, Nucl. Instr. and Meth., v. 82, 327 (1970). ⁴ В. А. Акуличев, В. Г. Гребинник и др., Препринт ОИЯИ Р13—6513, Дубна, 1972. ⁵ R. C. A. Brown, H. J. Hilke, P. D. Jarman, Nucl. Instr. and Meth., v. 106, 573 (1973). ⁶ Т. Д. Блохинцева, А. Т. Василенко и др., Приборы и техника эксп., т. 5, 51 (1962). ⁷ В. А. Акуличев, А. М. Копова, VIII Всесоюзн. Акустич. конфер., 3 Ув-5, М., 1973. ⁸ Л. Г. Ткачев, В. Д. Шестаков, Акустич. журн., т. 19, 257 (1973). ⁹ Л. Бергман, Ультразвук и его применение в науке и технике, М., 1957.