

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПУЧКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ
ЧАСТИЦ СКВОЗЬ ЖИДКОСТИ, С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П. И. Голубничий, Г. С. Каложный, С. И. Никольский.
В. И. Яковлев

УДК 539.1.074

Исследованы характеристики акустического излучения, инициированного лазерным лучом в жидкости. Обнаружено полное совпадение с характеристиками акустического излучения, возникающего в жидкости при прохождении протонных пучков.

Акустические методы детектирования частиц привлекают к себе все большее внимание. Возросший интерес к проблеме объясняется простотой используемой методики, которая в то же время позволяет получить достаточно полную информацию о частице - величину энерговыделения и направление траектории (при использовании системы датчиков). В частности, на широком применении акустического метода детектирования основан проект регистрации нейтринно высоких энергий в глубинах океана ДОМАНД /1-3/.

Впервые на возможность существования акустического излучения от треков частиц в жидкости было указано Г. А. Аскарьяном в 1957 году /4/. Это излучение может быть обусловлено либо тепловым механизмом - за счет повышения давления в области взаимодействия вследствие выделения энергии частицей, либо излучением микропузырьков, образовавшихся в местах большого локального энерговыделения. Последняя экспериментальная работа /5/, в которой всесторонне исследованы характеристики акустического излучения от протонных пучков при взаимодействии последних с различными жидкими средами, свидетельствует об определяющей роли теплового механизма.

Согласно тепловой теории /2,5/, акустический сигнал, излучаемый цилиндрической возмущенной областью, имеет вид симметрично-

го биполярного импульса. Длительность его определяется временем пробега акустической волны по возмущенной области $T \sim d/c$, где d — диаметр цилиндра, c — скорость звука в жидкости. Амплитуда импульса при регистрации под углом 90° к оси пучка равна в ближней зоне (при условии $d \gg ct$, где t — время выделения энергии)

$$p = \frac{kEc^2}{4c_p d^{3/2} L\sqrt{R}} \quad (I)$$

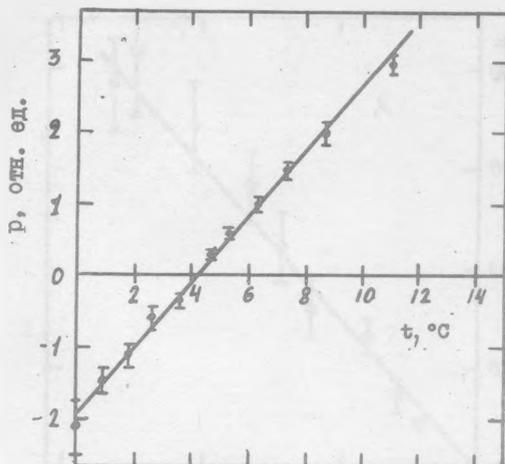
где k — коэффициент теплового расширения жидкости, c_p — удельная теплоемкость, E — выделяющаяся энергия, L — длина области энерговыделения, R — расстояние от оси пучка до точки наблюдения $/2/$. Граница ближней зоны определяется неравенством $R \ll L^2/\lambda$, где λ — длина волны акустического излучения.

Исследования, проведенные авторами настоящей работы, показали, что аналогичными характеристиками обладает акустическое излучение, инициированное прохождением пучка лазерного инфракрасного света ($\lambda = 1$ мкм) сквозь жидкость. В работе использовался твердотельный лазер ЛТИПЧ-6, работающий в режиме модулированной добротности с максимальной энергией в импульсе $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ Дж и длительностью импульса 10 нс. Акустическое излучение регистрировалось пьезодатчиком, изготовленным на основе пьезокерамики ЦТС-19 по методике, описанной в работе $/6/$.

Измеренные зависимости амплитуды акустического сигнала от температуры, диаметра пучка, расстояния до оси пучка и поглощенной энергии, а также длительности сигнала от диаметра пучка совпадают в пределах ошибок эксперимента с соответствующими зависимостями для протонных пучков $/5/$ и согласуются с формулой (I).

С точки зрения доказательства тепловой природы акустического излучения наиболее показательна полученная нами зависимость амплитуды акустического импульса от температуры, приведенная на рис. 1. Вследствие изменения знака коэффициента теплового расширения воды при температурах ниже 4°C в этой области температур фаза акустического импульса меняется на π , что соответствует переворачиванию сигнала. Этот эффект возможен только в случае теплового механизма генерации акустического излучения.

Совпадение характеристик акустического излучения для протонных и лазерных пучков дает возможность использовать лазерные пуч-



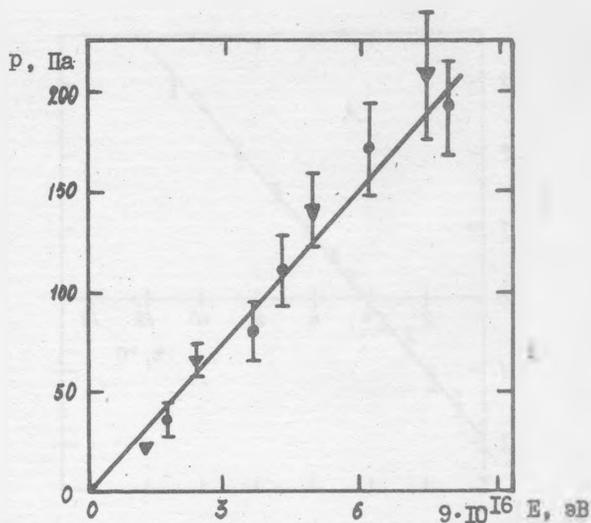
Р и с. 1. Зависимость амплитуды p акустического сигнала от температуры воды

ки для моделирования протонных. С этой точки зрения особенно интересно сравнение энергетических зависимостей для обоих случаев.

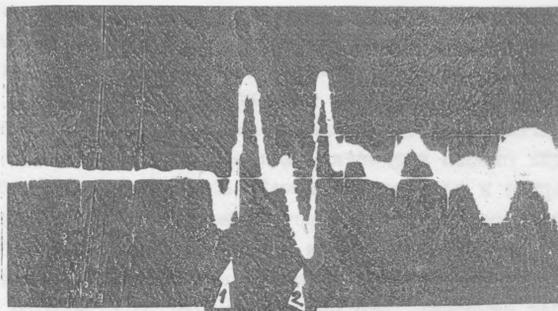
На рис. 2 показана зависимость амплитуды акустического импульса от величины поглощенной энергии. Там же нанесены пересчитанные данные из области энергий $(1 + 4) \cdot 10^{20}$ эВ для протонных пучков /5/. Сплошной линией показана прямая, рассчитанная по формуле (1). Видно хорошее согласие всех трех групп данных.

Предлагаемый метод моделирования прохождения пучков ионизирующих частиц сквозь жидкости может оказаться полезным в физике высоких энергий и космических лучей. Он может применяться при настройке и калибровке систем акустического детектирования ливней, вызванных космическими лучами в веществе, при калибровке систем акустического определения параметров пучков на ускорителях и т.д.

Следует отметить, что при помощи одного лазерного луча можно моделировать прохождение нескольких пучков частиц, используя отражение луча от зеркала или же преломление в призме. На рис. 3 показана осциллограмма акустического сигнала при использовании зеркала для получения второго луча.



Р и с. 2. Зависимость амплитуды акустического сигнала p в воде от величины поглощенной энергии. Параметры пучка: $d = 2,6$ мм, $R = 3,5$ см, $L = 7,5$ см. \bullet - данные для лазерного пучка, \blacktriangledown - данные для протонного пучка, пересчитанные из работы /5/, прямая проведена согласно формуле (I)



Р и с. 3. Осциллограмма акустического сигнала, полученная при отражении лазерного луча зеркалом. 1 - сигнал от отраженного луча, 2 - сигнал от падающего луча. Развертка 2,5 мкс/деление. Разность хода акустических сигналов ~ 5 мм

К достоинствам метода относятся также низкая стоимость и простота методики эксперимента, более широкие возможности лазерных систем (по величине плотности энергии в пучке и диапазону изменения длительности импульсов) по сравнению с пучками ускорителей. Изменяя с помощью различного рода примесей коэффициент поглощения лазерного излучения жидкостью, легко моделировать прохождение частиц с различными удельными потерями энергии.

Поступила в редакцию
16 июня 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. А. Аскарьян, Б. А. Долгошеин, Письма в ЖЭТФ, 25, № 5, 232 (1977).
2. Г. А. Аскарьян, Б. А. Долгошеин, Препринт ФИАН № 160, 1976 г.
3. В. С. Березинский, Г. Т. Зацепин, УФН, 122, 3 (1977).
4. Г. А. Аскарьян, Атомная энергия, 3, 152 (1957).
5. L. R. Sulak, T. Bowen, B. Pifer, P. Polakos, T. Armstrong "Neutrino 77", Proceedings of International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Baksan Valley, 18-24 June, 1977, vol. 2, pp. 350-368, "Nauka", Moscow, 1978.
6. Ю. Е. Нестерихин, Р. И. Солоухин, Методы скоростных измерений в газодинамике и физике плазмы. М., "Наука", 1967 г.