

2. Komura S., Kunitomi N., Hamaguchi Y., Sakamoto M. J. Phys. Soc. Japan, **16**, 486, 1961.
3. Komura S., Kunitomi N., Poh Kun Tseng, Shikazono N., Takekoshi H. J. Phys. Soc. Japan, **16**, 1479, 1961.
4. Lin S. T., Ogilvie R. E., J. Appl. Physics, **34**, 1372, 1963.
5. Komura S., Shikazono. J. Phys. Soc. Japan, **18**, 323, 1964.
6. Baenziger N. S., Rundle R. E., Snow A. J., Wilson A. S. Acta Cryst., **3**, 34, 1950.
7. Головин В. А., Иркаев С. М., Кузьмин Р. Н., Чачхиани Л. Г. «Приборы и техника эксперимента», **1**, 111, 1969.

Поступила в редакцию
5.3 1969 г.

Кафедра
физики твердого тела

УДК 534.2

Л. К. ЗАРЕМБО, В. А. КРАСИЛЬНИКОВ, ТХАИ ТХАНЬ ЛОНГ

О НЕЛИНЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН

Насколько нам известно, экспериментальных работ по исследованию нелинейных явлений в капиллярных волнах пока нет.

Экспериментальная установка для излучения и приема капиллярных волн весьма проста. Волны возбуждались на поверхности воды легким алюминиевым *T*-образным бойком, основание которого было приклеено к диффузору звукового динамика, возбуждаемого звуковым генератором. Широкая часть (3,5 см) бойка касалась поверхности воды. Размеры поверхности воды 40×30 см; глубина 4—5 см. В качестве преобразователя капиллярных волн в переменный электрический сигнал использовался поляризованный электрод. В воду была погружена медная пластина, на которую подавалось отрицательное напряжение 6—14 в. Другим электродом служила стальная тонкая проволока, конец которой касался поверхности жидкости. Под действием волны менялось сопротивление промежутка (1,5—2 см) между электродами; переменный потенциал усиливался затем селективным усилителем. Преобразователь-приемник закреплялся в координатном устройстве, позволяющем детально исследовать поле.

Амплитуда волны и чувствительность приемника были достаточными для наблюдения нелинейных эффектов только в ближнем поле, которое, как известно, неоднородно. Наиболее однородное поле, при котором излучались плоские волны с почти одинаковой амплитудой по фронту, подбиралось путем изменения частоты и амплитуды колебания источника. Поле при этом визуализировалось стробоскопическим освещением поверхности.

Одной из проверок методики измерения являлось измерение фазовой скорости распространения капиллярных волн методом фазового интерферометра (по фигурам Лиссажу). Результаты измерения фазовой скорости c капиллярных волн согласуются с теоретической $c_0 = (\sigma k / \rho)^{1/2}$, где σ — коэффициент поверхностного натяжения (73 дн/см²), $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, ρ — плотность в пределах ошибки измерения ~3%. Следует сказать, что фазовый интерферометр с поляризованным электродом в качестве приемника работал исключительно четко. В дальнейшем контроль гармоник, возникающих при распространении капиллярной волны, осуществлялся так же по фигурам Лиссажу. Это давало возможность контролировать отсутствие наводок и бегущий характер волны.

Исследование нелинейных эффектов проводилось на частотах 40—300 гц при максимальных амплитудах волны в области 40—80 гц, $a \sim 0,15$ см. При больших амплитудах возникали сильные постоянные потоки, однородность поля ухудшалась. Для частоты 80 гц ($\lambda = 0,41$ см), на которой проведено большинство измерений, число Маха $M = a/\lambda \approx 4 \cdot 10^{-2}$ и число Рейнольдса $R = \omega \lambda / \nu \approx 3 \cdot 10^2$ (здесь ω — круговая частота волны, а ν — кинематическая вязкость).

На рис. 1 показана зависимость для 80 гц амплитуды $A_{2\omega}$ второй гармоники от расстояния между бойком и приемником. Генерация второй гармоники могла быть вызвана нелинейными эффектами при излучении волны. Однако рядом контрольных измерений было показано, что эта генерация была незначительной. Величина второй гармоники в первом максимуме составляет ~15% от амплитуды A_ω первой гармоники, которая приведена на рис. 2. Амплитуда второй гармоники квадратично зависела от

амплитуды первой. Можно было наблюдать и более высокие гармоники, вплоть до пятой.

Амплитуда гармоник, как и следовало ожидать, из-за отсутствия синхронизма при дисперсии периодически изменяется в пространстве, осциллирует. Период осцилляции второй гармоники, как это видно из рис. 1, $\sim 0,8$ см; согласно теории этот период $2\pi/(2k_1 - k_2) \approx 1,0$ см. Измеренный период осцилляции третьей гармоники $\sim 0,5$ см; $2\pi/(3k_1 - k_3) \approx 0,44$ см. Это является одним из подтверждений того, что гармоники генерируются в процессе распространения капиллярной волны.

Большие нелинейные искажения сказываются, естественно, на затухании капиллярных волн. Коэффициент поглощения волны малой амплитуды, как известно, имеет вид $\alpha = \nu k^2/c_0$, что для 80 гц дает $\alpha = 0,07$ см⁻¹. Коэффициент поглощения на рис. 2 на расстоянии до 2-х см в пять раз больше коэффициента поглощения волны малой амплитуды. Интересно отметить, что нелинейные недиспергирующие звуковые волны при $R \sim 10^2$ имели бы коэффициент затухания на два порядка больший¹. Дисперсия капиллярных волн, таким образом, приводит к меньшему увеличению затухания не-

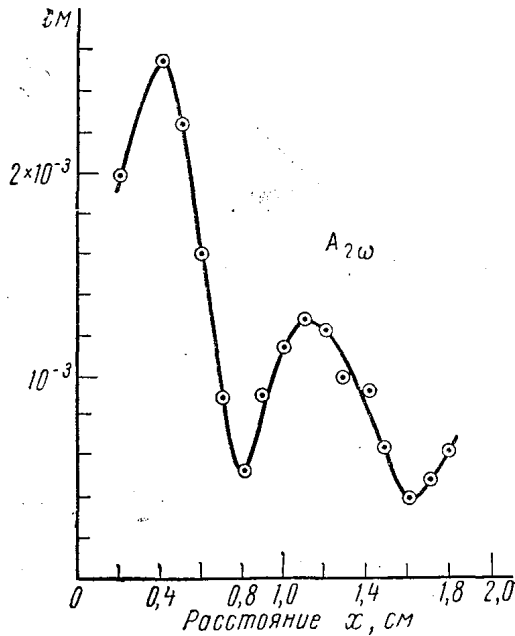


Рис. 1

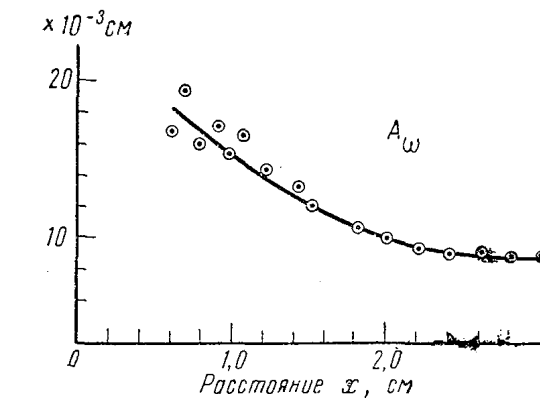


Рис. 2

линейных волн, чем в средах без дисперсии. С точки зрения нелинейного взаимодействия волн, механизм нелинейного затухания, вероятно, играет существенную роль в установлении равномерного спектра волнения поверхности.

Следует сказать, что незначительное (по сравнению с недиспергирующими средами) увеличение поглощения, а также осцилляции гармоник указывают на то, что энергия волны не направлена преимущественно в высокочастотные гармоники (как в случае сред без дисперсии), а происходит непрерывный обмен между гармониками. Это, в частности, должно было бы привести к осцилляциям амплитуды первой гармоники. Такие осцилляции наблюдались, особенно вблизи источника (на рис. 2 проведена усредненная кривая), однако их количественные измерения осложнялись неоднородностью ближнего поля.

Приведенные предварительные результаты показывают, что нелинейные эффекты при распространении капиллярных волн выражены очень сильно, несмотря на дисперсию.

Поступила в редакцию
22.3 1969 г.

Кафедра
акустики

¹ См., например, в кн. Л. К. Зарембо, В. А. Красильникова. Введение в нелинейную акустику. М., «Наука», 1966.