

$$a'_2 = f' = -\frac{\alpha}{\pi} \left[\frac{2}{3} \ln \frac{m_p}{m_e} + (1 - \theta_e \operatorname{cth} \theta_e) \left(1 - \frac{1}{3} \operatorname{cth}^2 \theta_e \right) - \right. \\ \left. - (1 - \theta_p \operatorname{cth} \theta_p) \left(1 - \frac{1}{3} \operatorname{cth}^2 \theta_p \right) \right]. \quad (9)$$

Из сравнения (8) и (9) видно, что введение в лагранжиан слабого взаимодействия произведения нейтральных барионного и лептонного токов приводит к эффективному обрезанию расходящихся членов радиационной поправки порядка α к нейтрино-электронному рассеянию с параметром обрезания $\Lambda = m_p$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Feynman R., Gell-Mann M. Phys. Rev., **109**, 193, 1958.
2. Lee T. D., Sirlin A. Rev. Mod. Phys., **36**, 666, 1964.
3. Переломов А. М. «Ядерная физика», **1**, 1045, 1965.
4. Керимов Б. К., Цветков В. П. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., **11**, № 3, 1970.
5. Bludman S. A. Nuov. Cim., **9**, 433, 1958.
6. Зельдович Я. Б. ЖЭТФ, **36**, 964, 1959.
7. Perkins D. H., Proceedings of the CERN Torical Conference on Weak Interactions, January, 1969.
8. Albright C. H. On the existence of weak neutral currents, Preprint, CERN — 1066, 1969.
9. Oakes R. Phys. Rev. Lett., **20**, 1539, 1968.
10. Oakes R. J. Phys. Rev., **183**, 1520, 1969.
11. Швебер С. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. М., ИЛ, 1963.

Поступила в редакцию
7. 5 1970 г.

Кафедра
теоретической физики

В. П. ВОРОНИН, Л. К. ЗАРЕМБО

К ВОПРОСУ О ПОГЛОЩЕНИИ КАПИЛЛЯРНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ

Поглощение волн малой амплитуды, распространяющихся на полностью подвижной поверхности глубокой жидкости, определяется вязкой диссипацией энергии, причем коэффициент поглощения имеет вид [1]

$$\alpha_0 = \frac{4\pi\eta}{1,5\sigma} f, \quad (1)$$

где f — частота, η — сдвиговая вязкость, σ — коэффициент поверхностного натяжения. Справедливость (1) для чистых жидкостей была подтверждена рядом экспериментальных работ.

Другой особенностью волн на поверхности жидкости является дисперсия. Дисперсионное соотношение для них, как известно, имеет вид

$$\omega^2 = kg + k^3\sigma/\rho, \quad (2)$$

где $\omega = 2\pi f$, k — волновое число, ρ — плотность, g — ускорение силы тяжести. В области капиллярных волн $k \gg \left(\frac{\rho g}{\sigma}\right)^{1/2}$ при $k \ll \left(\frac{\rho g}{\sigma}\right)^{1/2}$ волны являются гравитационными; промежуточная область — область капиллярно-гравитационных и гравитационно-капиллярных волн.

Экспериментально капиллярные волны конечной амплитуды исследовались в [2, 3], где было показано, что дисперсия приводит к осцилляциям в пространстве амплитуд генерируемых при распространении второй и более высоких гармоник и, следовательно, к характерной трансформации формы колебаний поверхности. В [2] проведено также измерение зависимости парциального поглощения первой гармоники капиллярной волны от амплитуды.

В этой статье изучается до сих пор неисследованный процесс поглощения капиллярных и капиллярно-гравитационных волн конечной амплитуды; он сравнивается с известными, например для акустических волн [4], процессами нелинейного поглощения.

Измерения поглощения проводились в дистиллированной воде и в *o*-ксилоле на частотах от 10 до 1000 *гц* при $a_0/\lambda = 10^{-4} \div 10^{-2}$ (a_0 — амплитуда волны у излучателя, λ — ее длина) и числа Рейнольдса $Re = \rho a_0 \omega \lambda / \eta$ от 10 до 700¹. Для возбуждения поверхностных волн использовалась магнитная система мощного динамика, к которой крепился жесткий излучатель. Размеры его вдоль фронта волны (10–40 λ) были достаточны для получения во всем диапазоне частот и расстояний, на которых производились измерения, удовлетворительного однородного поля плоской бегущей волны. Это важно для исключения ошибок измерения, вносимых расхождением волны и особенностью измерения ее характеристик точечным приемником. В области больших a/λ однородность поля ухудшается из-за возникновения параметрических колебаний поверхности, что увеличивает ошибку определения коэффициента поглощения. Измерение параметров поверхностной волны (a , λ) производилось с помощью тонкого луча He — Ne лазера (диаметр порядка долей *мм*), падающего нормально к поверхности жидкости. Отражение от колеблющейся поверхности приводило к сканированию луча, причем максимальный угол β отклонения его от вертикали связан с амплитудой и длиной волны соотношением $\text{tg } \frac{\beta}{2} = 2\pi \frac{a}{\lambda}$. Длина волны λ измерялась независимо фазовым методом, для чего качающийся световой луч направлялся на фотоумножитель, часть фотокатода которого была закрыта. Фаза напряжения, снимаемого с ФЭУ, сравнивалась при перемещении светового луча вдоль направления распространения волны с фазой напряжения, подаваемого на излучатель. Амплитуда a определялась по ширине световой полоски, образующейся при сканировании луча. При измерении поглощения луч перемещался по поверхности жидкости, так как передвижение излучателя относительно луча приводило к неточностям, связанным с изменением условий излучения. Для устранения сильно мешавших измерениям высокочастотных вибраций кювета с жидкостью помещалась на массивной подставке, подвешенной на резиновых жгутах; вся система имела низкую частоту собственных колебаний. Ошибка описанного метода определения коэффициента поглощения не превышает 5%.

Коэффициент поглощения волн малой амплитуды α_0 измерялся при отношениях $a_0/\lambda \leq 10^{-3}$.

№	Жидкость	f , <i>гц</i>	$\lambda_{\text{эксп}}$, <i>см</i>	α_0 , см^{-1}	D
1	Вода	18	1,280	0,030	0,142
2	<i>o</i> -ксилол	20	0,926	0,032	0,168
3	Вода	25	0,960	0,041	0,187
4	<i>o</i> -ксилол	25	0,762	0,050	0,194
5	<i>o</i> -ксилол	30	0,653	0,064	0,218
6	Вода	40	0,675	0,090	0,221
7	Вода	100	0,355	0,200	0,253

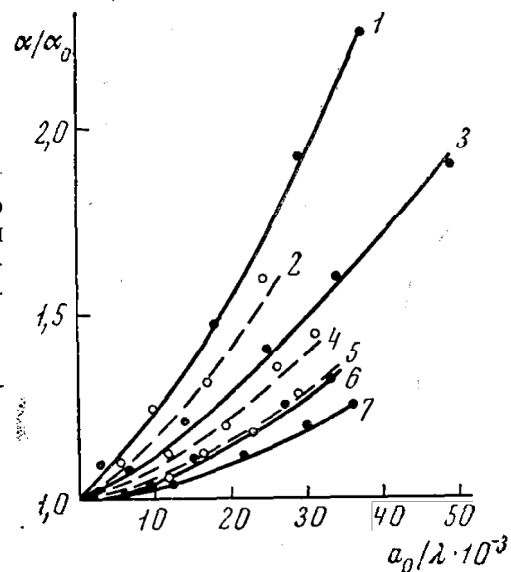
Несмотря на некоторые меры, предотвращающие загрязнение поверхности жидкости (типагельная промывка кювета, изоляция жидкости от окружающей среды и т. д.), экспериментальные значения коэффициента поглощения α_0 в дистиллированной воде в 2–3 раза превышали теоретические, вычисленные из выражения (1). Это, вероятно, было вызвано недостаточной степенью чистоты поверхности, что приводило к увеличению поглощения во всем диапазоне исследуемых частот. Линейная зависимость α_0 от частоты при этом сохранялась. Экспериментальные значения коэффициента поглощения α_0 для *o*-ксилола, благодаря большей степени его чистоты, в пределах ошибки измерений совпадали с теоретическими.

На рисунке показаны полученные зависимости относительного коэффициента поглощения поверхностных волн α/α_0 от их амплитуды. Существование такой зависимости указывает на нелинейный характер процесса их поглощения. Нелинейное поглощение достаточно хорошо изучено для случая акустических волн конечной амплитуды. В общих чертах его механизм сводится к следующему: в процессе распространения волны генерируются высшие гармоники, энергетический вес которых благодаря отсутствию дисперсии возрастает с расстоянием. Поскольку в подавляющем большинстве случаев поглощение в жидкостях пропорционально квадрату частоты, а амплитуда второй гармоники квадратична относительно амплитуды первой гармоники, очевидно, что коэффициент поглощения волны конечной амплитуды α увеличивается по сравне-

¹ Измерение при меньших a_0/λ и Re использованным оптическим методом не представлялось возможным из-за дифракционного расширения пучка света.

нию с коэффициентом поглощения волны малой амплитуды α_0 . Степень увеличения коэффициента поглощения определяется акустическим числом Рейнольдса Re : при $R \gg 1$, в области, где сформировалась пилообразная волна, $\alpha = \alpha_0 Re$ и может в десятки раз превышать α_0 . При $Re \ll 1$ $\alpha \sim Re^2$, и увеличение α с амплитудой волны

Экспериментальные зависимости относительного коэффициента поглощения поверхностных волн от амплитуды при различных значениях дисперсионного числа. (Точки и сплошные линии — вода, кружки и пунктирные линии — о-ксиллол.)
Нумерация кривых соответствует таблице



незначительно. Таким образом, характер нелинейного поглощения акустических волн в жидкости определяется отсутствием дисперсии скорости и квадратичным ростом коэффициента поглощения с частотой.

Исследуемый случай волн на поверхности жидкости, в отличие от вышерассмотренного, характеризуется линейной зависимостью поглощения от частоты и сильной дисперсией, приводящей к периодическому изменению направления перекачки энергии от одной гармоники к другой. Из рисунка и таблицы видно, что характер изменения относительного коэффициента поглощения при увеличении амплитуды капиллярной или капиллярно-гравитационной волны определяется как параметром соответствующим

дисперсионным числом $D = \frac{c_{2\omega} - c_{\omega}}{c_{\omega}}$, где c_{ω} и $c_{2\omega}$ — фазовые скорости волн на

частотах ω и 2ω , которое с некоторым приближением может характеризовать эффективность обмена энергией между гармониками. Действительно, как это следует из (2), в области перехода от капиллярных к гравитационным волнам, т. е. вблизи минимума скорости распространения поверхностных волн, существует узкий диапазон частот, где дисперсия почти полностью отсутствует. Минимальное дисперсионное число, которое, оставаясь в области капиллярно-гравитационных волн, удалось получить в экспериментальных условиях, $D = 0,142$ ¹. Поглощение в этом случае (кривая 1) наиболее сильно зависит от амплитуды. Однако линейная зависимость коэффициента поглощения капиллярных волн малой амплитуды и достаточно сильная дисперсия обуславливают значительно меньшее его относительное изменение ($\alpha \approx 2\alpha_0$), чем в аналогичном акустическом случае. При увеличении частоты в области капиллярных волн дисперсионное число стремится к максимальному значению $D = 0,26$ и зависимость поглощения от амплитуды становится очень слабой. Это объясняется очень малой зависимостью коэффициента поглощения поверхностных волн от амплитуды на частотах, превышающих 100 гц.

Полученные результаты могут играть определенную роль для выяснения динамики затухания поверхностных волн конечной амплитуды, генерируемых при морском волнении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лемб Г. Гидродинамика. М., Гостехиздат, 1947.
2. Зарембо Л. К., Красильников В. А., Тхай Тхань Лонг. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 5, 132, 1969.
3. Зарембо Л. К., Красильников В. А., Тхай Тхань Лонг. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 6, 121, 1969.
4. Зарембо Л. К., Красильников В. А. Введение в нелинейную акустику. М., «Наука», 1966.

Поступила в редакцию
20. 6 1970 г.

Кафедра
акустики

¹ Получение меньших D возможно при переходе в область больших длин волн (гравитационно-капиллярные волны). В этих условиях начинало сильно сказываться отражение от стенок кюветы.