

БИБЛИОГРАФИЯ

019.941:534.0

Л. К. Зарембо, В. А. Красильников. Введение в нелинейную акустику (Звуковые и ультразвуковые волны большой интенсивности), М., «Наука», 1966, 519 стр.

Нелинейные волновые процессы за последние годы начали привлекать к себе большое внимание. Это объясняется главным образом тем, что как в области упругих, так и в области электромагнитных волн были получены и стали применяться большие интенсивности, при которых нелинейные эффекты не только проявляются заметным образом, но в ряде случаев являются и определяющими. В связи с использованием больших интенсивностей упругих волн в газах, жидкостях и твердых телах (в особенности ультразвукового диапазона, а для твердых тел и гиперзвукового диапазона) получила существенное развитие нелинейная акустика. Получение больших интенсивностей электромагнитных волн радио- и оптического диапазонов привело к большому развитию работ и к существенным результатам в нелинейной электродинамике и нелинейной оптике<sup>1,2</sup>.

Нелинейные эффекты в акустике давно привлекали к себе внимание исследователей. Достаточно упомянуть работы Ирншоу, Пуассона и Римана, выполненные еще в прошлом веке и заложившие основы нелинейной теории распространения упругих волн в недиссипативной среде. Эти работы стали в настоящее время классическими. Кроме важного познавательного значения изучение нелинейных эффектов в акустике имеет также практический интерес. Звуки большой интенсивности, сопровождаемые заметными нелинейными эффектами, используются в мощных ультразвуковых установках, генерируются при работе реактивных и ракетных двигателей, образуются при взрывах и т. д. Изучение нелинейных взаимодействий упругих волн необходимо для физики твердого тела. Известно, что взаимодействиями дебаевских упругих волн определяются такие явления, как теплопроводность, отклонение от закона Дюлонга и Пти, поглощение гиперзвука высоких частот. Изучение взаимодействия тепловых колебаний решетки неизбежно требует привлечения результатов исследования нелинейных волновых процессов. Большой практический интерес имеет нахождение модулей упругости третьего порядка в нелинейной теории упругости, знание которых важно, в частности, при разработке параметрических усилителей звука на твердом теле.

Распространение ударных волн в океане, атмосфере или в твердых телах, излучаемых при взрыве, а также при сверхзвуковых полетах самолетов, в определенной области существования волн удается успешно описать в приближении нелинейной акустики.

Наконец, ряд нелинейных эффектов, таких, как кавитация, возникновение постоянных течений в звуковом поле, оказывает определяющее влияние при воздействии звука большой интенсивности на вещество, при интенсификации процессов массо- и теплообмена ультразвуком и т. д.

Рецензируемая книга является первой в мировой литературе монографией по нелинейной акустике, обобщающей результаты многочисленных работ<sup>\*)</sup>. Потребность в такой работе назрела уже давно. Ценность книги в значительной степени повышается тем обстоятельством, что авторы ее сами внесли существенный вклад в исследование нелинейных акустических явлений. Монография состоит из введения и двенадцати глав. Во введении дается общее понятие о предмете нелинейной акустики и перечисляются отдельные ее проблемы, рассматриваемые более подробно в последующих главах.

В гл. 1, посвящей вспомогательный характер, приводятся уравнения гидродинамики в переменных Эйлера и Лагранжа для идеальных и диссипативных сред.

---

<sup>\*)</sup> Вслед за этой книгой появилась также работа<sup>3</sup>.

При этом уравнение состояния жидкости несколько неудачно записывается в форме уравнения адиабаты идеального газа без упоминания того обстоятельства, что даваемая этой формулой величина отличается от имеющего обычный физический смысл давления в жидкости на аддитивный параметр, зависящий от энтропии среды и близкий к 3000 атм.

Приводятся также общие выражения для плотности энергии и плотности потока энергии в сжимаемой среде. В заключение гл. 1 проводится анализ полной системы гидродинамических уравнений методом последовательных приближений, позволяющий выяснить (во втором приближении) характер взаимодействия вихрей, тепловых возмущений и звука.

В гл. 2 излагаются основы теории распространения волн конечной амплитуды в идеальном газе или жидкости. Приводится точное решение уравнений гидродинамики (так называемое решение Римана), описывающее распространение простой волны. В качестве более сложных примеров рассматриваются распространение периодического сигнала произвольной формы и стоячие волны конечной амплитуды. Достоинством этой главы является четкое изложение вопроса о рассеянии звука на звуке, подводющее итог ряду подчас противоречивых работ в этой области. Показано, что в жидкостях и газах во втором приближении рассеяние звука на звуке отсутствует в том смысле, что при взаимодействии звуковых пучков нет излучения рассеянной волны в области, где отсутствуют первичные волны.

В гл. 3 излагается теория распространения волн конечной амплитуды в диссипативной жидкой или газообразной среде. Приводится ряд приближенных решений уравнений гидродинамики, основанных на малости числа Маха — условия, обычно выполняющегося в акустике.

При этом одна группа решений описывает изменение формы профиля волны при ее распространении, в то время как другая, представляющая собой, по существу, разложение решений первой группы в ряд Фурье, описывает изменение спектра волны. Рассматривается распространение сферических и цилиндрических волн, волн конечной амплитуды в релаксирующих средах, поглощение интенсивного звука.

В гл. 4 описаны экспериментальные методы исследования распространения волн конечной амплитуды, позволяющие определить нелинейный эффект изменения формы волны при распространении (или ее спектра), поглощение волны, а также измерить параметр, входящий в уравнение состояния жидкости и характеризующий ее нелинейные свойства. Приводятся результаты экспериментальных исследований распространения волн конечной амплитуды в газах и жидкостях, которые сравниваются с теорией предыдущих параграфов.

Глава 5 посвящена радиационному давлению, т. е. постоянному избыточному давлению, возникающему в звуковом поле и проявляющемуся, в частности, в возникновении постоянных сил, действующих на препятствие при падении на него звуковой волны. Излагаются теоретические результаты по радиационному давлению (давление в бегущих плоских волнах, в звуковых пучках, стоячих волнах, давление звука на препятствие) и методы экспериментального измерения этой величины.

В гл. 6 рассматриваются постоянные течения, вызванные звуком, называемые еще акустическими течениями. Дается расчет акустических течений для различных граничных задач (течения в пограничном слое стоячей волны, течение в трубке Кундта, течение, вызванное звуковым пучком в свободном пространстве), описываются методы экспериментального исследования течений и результаты экспериментов.

Следует, однако, заметить, что определение скорости акустического течения, даваемое в этой главе, как усредненное по времени значения скорости, справедливо лишь в переменных Лагранжа (вопреки сказанному в § 1 этой главы).

Глава 7 посвящена кавитации — образованию каверн в жидкости, заполненной газом или паром, под действием интенсивного звука. Рассматриваются вопросы прочности жидкости, динамика роста и захлопывания одиночного кавитационного пузырька под действием звуковой волны, а также приводятся экспериментальные результаты исследования ультразвуковой кавитации — данные о пороге кавитации и его зависимости от частоты, величины гидростатического давления, концентрации растворенного воздуха, о шумах кавитации, возникающих в результате излучения волн сжатия кавитационными пузырьками, а также о явлениях, сопровождающих кавитацию, — люминесценции и дегазации жидкости при наличии кавитации в ней.

В гл. 8 рассматривается распространение акустических волн конечной амплитуды в твердых телах. Здесь приводятся основы нелинейной теории упругости, применяемые затем при изложении теории распространения и взаимодействия упругих волн в твердых телах. Освещены также результаты экспериментального исследования распространения звука в твердом теле. Отмечается, что ряд наблюдаемых при этом нелинейных эффектов обусловлен неидеальностью структуры твердых тел. Обсуждаются нелинейные эффекты в пьезоэлектрических кристаллах.

В гл. 9 описаны методы получения мощных звуковых периодических волн в газах, жидкостях и твердых телах. Анализируются факторы, ограничивающие, на современном техническом уровне, дальнейшее повышение интенсивности ультра-

звука. Приводятся данные о рекордных достигнутых интенсивностях ультразвука в газах, жидкостях и твердых телах.

Последние три главы посвящены проблемам аэротермоакустики.

В гл. 10 рассматривается генерация звука аэродинамическим потоком в отсутствие грани. Излагаются результаты теории Лайтхилла о генерации звука турбулентным дозвуковым потоком, позволяющей определить интенсивность излучаемого шума. Приводятся теоретические соображения о спектре шума, излучаемого турбулентным потоком, о шуме потока при учете средней скорости потока и о шумах сверхзвуковых потоков. Приводятся также результаты экспериментального исследования шумов турбулентных потоков и их сопоставление с теорией.

В гл. 11 рассматривается аэродинамическая генерация звука при наличии в потоке твердых тел. Описан автоколебательный механизм возникновения краевых тонов, вихревые звуки, а также шумы турбулентного пограничного слоя как в дальней зоне, так и непосредственно в ближнем поле.

В гл. 12 рассматриваются теоретические вопросы термической генерации звука, касающиеся как излучения звука в результате изменения температуры неподвижной границы, так и генерации звука при автоколебаниях в тепловых системах, когда обратная связь обеспечивается возникшей звуковой волной (тона Рийке, поющие пламена, вибрационное горение).

Уже из этого краткого перечня видно, что монография охватывает широкий круг вопросов, в ней систематизирован большой экспериментальный и теоретический материал. Достаточно указать, что список литературы насчитывает 457 названий, в монографии — 114 рисунков. Уже эта полнота рассмотрения привлекает внимание.

Естественно, что при обработке и осмысливании столь значительного материала возникали известные трудности. Неудачно изложен вопрос об энергетических характеристиках звуковой волны, о чем свидетельствует, в частности, следующий пример.

Если в начале книги авторы неоднократно отмечают, что полученные во втором приближении из общих гидродинамических соотношений выражения для плотности энергии и плотности потока энергии в среде, где распространяется звуковая волна, отличаются от используемых обычно в акустике выражений, то в дальнейшем изложении, без каких-либо пояснений, используются обычные формулы. Следует указать также на ошибочность примечания на стр. 67.

Представляется односторонним и неточным замечание, приводимое в аннотации и повторяемое во введении, о том, что нелинейная акустика есть область, промежуточная между линейной акустикой и ударными волнами, хотя бы потому, что это определение весьма затруднительно применить к целому ряду нелинейных эффектов, таких, как акустические течения или распространение интенсивных волн разрежения.

Весьма ценным свойством книги, придающим ей монографический характер, является совместное изложение теоретических и экспериментальных результатов, включая сведения о методах измерения, а также то обстоятельство, что проблемы нелинейной акустики рассматриваются не только в чисто научном аспекте, но и в связи с задачами современной техники.

Монография представляет несомненный интерес для широкого круга специалистов.

*К. А. Наугольных*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. А х м а н о в, Р. В. Х о х л о в, Проблемы нелинейной оптики («Итоги науки»), М., Изд. ВИНТИ, 1964.
2. В. Н. Ц ы т о в и ч, Нелинейные эффекты в плазме, М., «Наука», 1967.
3. Г. А. О с т р о у м о в, Основы нелинейной акустики, Л., Изд-во ЛГУ, 1967.