

ствии более сильного поглощения волны в области больших амплитуд. Изменение распределения интенсивности звука по сечению пучка может быть вызвано также процессами самофокусировки или самодефокусировки. При распространении звука в жидкости эти процессы обычно обусловлены локальным изменением скорости звука в результате нагрева среды, вызванного диссипацией акустич. энергии. Вблизи оси пучка интенсивность звука больше и соответственно среда сильнее разогревается. Если при этом скорость звука с ростом темп-ры падает, то происходит самофокусировка; напротив, если скорость звука растёт с увеличением темп-ры, пучок дефокусируется. Дефокусирующее влияние оказывают также *акустические течения*, развивающиеся в поле мощного пучка и приводящие к добавочному переносу звуковой волны вблизи оси пучка.

Разнообразны механизмы самовоздействия звука в жидкостях с пузырьками газа. Появление пузырьков приводит к снижению скорости звука. Если их распределение по сечению пучка неравномерно и концентрация пузырьков в прюсовой области более высока, что может быть связано, напр., с развитием кавитации, то скорость звука в центр. части пучка снижается и пучок фокусируется. Процесс самовоздействия звука может развиваться и при равномерном распределении пузырьков в жидкости, т. к. вследствие сильной нелинейности такой среды в ней наблюдается не только различие в скоростях перемещения разных точек профиля волны, но и скорость переноса волны как целого оказывается зависящей от амплитуды. Это приводит, в силу неравномерности распределения амплитуды звука по радиусу пучка, к самофокусировке (если скорость звука падает с ростом амплитуды) или к самодефокусировке (в обратном случае).

Ряд эффектов связан с трансляц. движением пузырьков. К их числу относится эффект нелинейного просветления пузырьковой среды, заключающийся в сильном уменьшении поглощения звука в пузырьковой среде по мере увеличения интенсивности акустич. волны. Это происходит вследствие того, что пульсирующие в звуковом поле пузырьки сближаются и сливаются, что приводит к уменьшению числа резонансных пузырьков, диссипирующих звуковую энергию, и поглощение среды уменьшается.

Нелинейное взаимодействие звуковых волн. При возбуждении в среде одновременно неск. волн большой интенсивности они не распространяются независимо, а порождают новые волны, т. н. *комбинационные тона*, частоты k -рых равны сумме и разности частот первичных волн. Наб. выражены комбинац. тона, отвечающие резонансному взаимодействию волн, возникающему при выполнении условий синхронизма:

$$\begin{aligned} \mathbf{k} &= \mathbf{k}' \pm \mathbf{k}'' \\ \omega &= \omega' \pm \omega'' \end{aligned} \quad (4)$$

где ω и \mathbf{k} — частота и волновой вектор волны комбинац. тона, ω' , ω'' и \mathbf{k}' , \mathbf{k}'' — частоты и волновые векторы первичных волн. Амплитуда волны комбинац. тона A_k при резонансном взаимодействии описывается уравнем

$$A_k = V_{kk'k''} A_{k'} A_{k''}$$

где $V_{kk'k''}$ — потенциал взаимодействия, определяемый характером нелинейности среды, $A_{k'}$, $A_{k''}$ — амплитуды исходных волн. В приближении заданного поля ($A_{k'} = \text{const}$, $A_{k''} = \text{const}$) это уравнение приводит к линейно нарастающей со временем амплитуде A_k . Это значит, что по мере распространения волны происходит нарастание комбинац. тона до тех пор, пока влияние поглощения или ослабления первичных волн из-за перекачки энергии в комбинац. тона не замедлит этот процесс. Если условия синхронизма не выполняются и имеется расфазировка, интенсивность комбинац. тона

не нарастает, а меняется периодически по мере распространения волны.

Эффект генерации комбинац. тона в среде при взаимодействии звуковых пучков разл. частоты лежит в основе работы т. н. *параметрических излучателей и приёмников звука*, в k -рых область взаимодействия первичных волн (наз. волнами накачки) играет роль «бестелесной» антенны.

При распространении звука в жидкостях и газах влияние дисперсии чаще всего не существенно и все коллинеарно распространяющиеся волны оказываются в резонансе. Если же дисперсия скорости звука существенна, как, напр., в жидкости с пузырьками газа или в нек-рых твёрдых телах, то для определения условий резонансного взаимодействия пользуются методом дисперсионных диаграмм. В простейшем случае коллинеарного взаимодействия волн для каждой из них строится дисперсионная характеристика $\omega_i(k_i)$ (где $i = 1, 2, 3$), k -рая представляет кривую (рис. 5) (или прямую — при отсутствии дисперсии). Наклон вектора, проведённого из начала координат O в точку, лежащую на дисперсионной характеристике, определяет фазовую скорость волны с данной частотой. Каждой из взаимодействующих волн ставится в соответствие

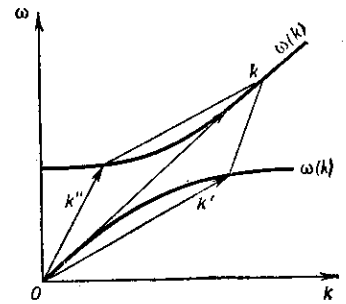


Рис. 5. Дисперсионная диаграмма трёхволнового коллинеарного взаимодействия звуковых волн в жидкости с пузырьками газа. Кривые изображают две ветви дисперсионной зависимости $\omega(k)$.

вектор с компонентами (ω_i, k_i) . При выполнении условий синхронизма (4) необходимо, чтобы вектор, соответствующий третьей компоненте взаимодействующих волн, представлял собой сумму векторов, отвечающих двум другим компонентам триплета, т. е. чтобы три вектора, вершины k -рых лежат на дисперсионной кривой, образовали треугольник.

Если точного сложения векторов не происходит, то считается, что условия синхронизма выполняются приближённо и в условия (4) вводится расстройка по волновому вектору Δk или по частоте $\Delta \omega$:

$$\begin{aligned} \omega_1 \pm \omega_2 &= \omega_3 + \Delta \omega \\ \mathbf{k}_1 \pm \mathbf{k}_2 &= \mathbf{k}_3 + \Delta \mathbf{k} \end{aligned}$$

Наличие расстройки приводит к пространственным или временным биезиям результирующей волны. Если дисперсия отсутствует и все волны распространяются с одинаковой скоростью, то резонансные условия выполняются только для коллинеарного взаимодействия, что характерно для большинства жидкостей и газов. В изотропных твёрдых телах скорости продольных и сдвиговых волн различны, что открывает возможность выполнения условий синхронизма и для волн, распространяющихся под углом друг к другу (рис. 6).

Взаимодействие звука с «незвуковыми» возмущениями среды — с температурными волнами, а в жидкости с капиллярными волнами и пузырьками газа — может приводить к явлению вынужденного рассеяния звука, подобного вынужденному *Мандельштама — Бриллюэна рассеянию* в оптике. Звук, рассеиваясь на возмущении среды и взаимодействуя с ним, увеличивает амплитуду возмущения, что в свою очередь приводит к ещё более сильному рассеянию звука.

Если интенсивность одной из взаимодействующих волн во много раз больше интенсивности другой волны, то можно пренебречь обратным воздействием слабой волны на сильную и рассматривать воздействие интенсивной волны (волны накачки) как фактор, изменяющий