

параметры среды, в к-рой распространяется слабая (сигнальная) волна. Перекачка энергии от сильной волны к слабой лежит в основе работы параметрич. усилителей и генераторов, применяемых в оптике. В акустике осн. трудность при создании параметрич. усилителей звука связана с тем, что из-за слабой дисперсии звуковых волн первичная волна накачки обычно быстро затухает в результате генерации ВЧ-гармоник, не успев передать энергию в сигнальную волну. Для преодоления этой трудности специально создаются нелинейные системы с дисперсией. Один из примеров такой системы — акустич. резонатор в виде полого кольца (тора), в одном из сечений к-рого помещён ВЧ-излучатель накачки. Наличие волноводной дисперсии позволяет осуществить в такой системе параметрич. усиление и генерацию НЧ-звука. Другая возможность — использование дисперсии в самом веществе путём выбора специальных сред и соответствующих частот. Например, параметрическое усиление звука в поле высокочастотной УЗ-накачки наблюдалось в кристаллах окиси магния.

В изотропном твёрдом теле пересекающиеся под углом волны могут образовать пять видов резонансных триплетов, в анизотропных телах (кристаллах) их число возрастает до 21. В кристаллах, кроме того, появляется зависимость эффективности взаимодействия от ориен-

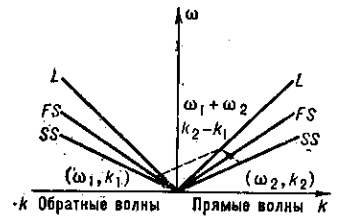
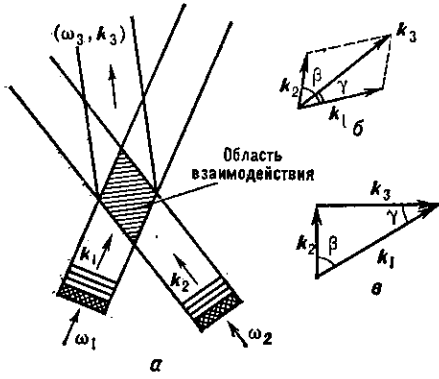


Рис. 7. Дисперсионная диаграмма встречного коллинеарного взаимодействия бездисперсионных акустических волн: быстрой сдвиговой *FS* и медленной сдвиговой *SS* с образованием продольной волны *L* суммарной частоты.

Рис. 6. Область взаимодействия при неколлинеарном взаимодействии волн (*a*) и образование волн суммарной (*b*) и разностной (*в*) частот.



Режимы параметрич. усиления могут осуществляться и при взаимодействии звука с др. видами возмущений среды. Так, в пьезополупроводнике, помещённом в электрич. поле, имеет место параметрич. усиление звука за счёт дрейфа электронов в приложенном электрич. поле и обратного пьезоэффекта.

Особенности нелинейного взаимодействия в твёрдых телах. В отличие от газов и жидкостей, в твёрдых телах вдоль произвольного направления могут распространяться (в общем случае) три упругие волны с разл. фазовыми скоростями и со взаимно ортогональными направлениями колебаний частиц среды (см. *Кристаллоакустика*). Это увеличивает число видов взаимодействия акустич. волн, разрешённых условиями фазового синхронизма (4). В твёрдом теле оказывается возможным, в частности, резонансное взаимодействие встречных волн, отсутствующее в жидкостях и газах. Напр., в изотропном твёрдом теле коллинеарно распространяющиеся встречные быстрая (*FT*) и медленная (*ST*) поперечные волны с частотами ω_1 и ω_2 образуют резонансный триплет с продольной волной (*L*) суммарной частоты (рис. 7) при след. соотношении частот:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1 - c_L/c_{FT}}{1 + c_L/c_{ST}}$$

где c_L , c_{FT} , c_{ST} — скорости соответствующих волн. Резонансные триплеты могут образовывать также волны, распространяющиеся под углом друг к другу. Напр., резонансное возбуждение продольной волны суммарной частоты поперечными волнами, пересекающимися под углом β , происходит при выполнении условия

$$\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{c_L}\right)^2 = \left(\frac{\omega_1}{c_{FT}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_2}{c_{ST}}\right)^2 + 2\frac{\omega_1\omega_2}{c_{FT}c_{ST}} \cos\beta.$$

тации волновых векторов взаимодействующих волн относительно кристаллографич. осей. При этом генерация тонов для поперечных волн может происходить с поворотом плоскости поляризации волны.

Взаимодействия волн в твёрдых телах обусловлены обычно нелинейностью упругих возмущений, описываемых нелинейными уравнениями механики сплошной среды. Возможны также механизмы нелинейности, связанные с взаимодействием упругих деформаций с др. видами возмущений в твёрдом теле. В пьезоэлектрич. кристаллах может проявиться нелинейность пьезоэффекта; в пьезополупроводниках доминирующим механизмом часто оказывается электронная (концентрационная) нелинейность, обусловленная нелинейной зависимостью концентрации носителей заряда от деформации, вызванной акустич. волной. Соответственно, если при эксперим. исследовании нелинейных искажений УЗ-волны в большинстве твёрдых тел при частотах в неск. МГц и амплитудах деформации $\sim 10^{-5}$ величина второй гармоники не превышает неск. % от амплитуды первой гармоники, то в пьезополупроводниковых кристаллах, благодаря вкладу акустоэлектронной нелинейности, она возрастает более чем на порядок.

В пьезоэлектрич. кристаллах акустич. волны могут взаимодействовать не только между собой, но и с эл. магн. волнами, в частном случае — с однородным электрич. или магн. полем. Напр., встречное взаимодействие бегущих акустич. волн одинаковой поляризации в пьезоэлектрич. кристалле приводит к возбуждению однородного электрич. поля удвоенной частоты. Этот эффект используется в устройствах обработки сигналов в *акустоэлектронике*.

При излучении в пьезоэлектрич. образец одной акустич. волны и одновременно возбуждении электрич. поля на удвоенной частоте наблюдается параметрич. генерация встречной акустич. волны — третьей компоненты рассматриваемого резонансного триплета, образованного двумя встречными акустич. волнами и электрич. полем. Описанные эффекты взаимодействия акустич. волн и переменного электрич. поля лежат в основе *электроакустического* *эха* и являются одним из примеров *обращения волнового фронта*.

Нелинейные взаимодействия приводят к изменению параметров акустич. волны под влиянием постоянных или медленно меняющихся механич. или электрич. полей. При механич. деформировании кристаллов, напр., изменяются фазовая и групповая скорости акустич. волн и их поляризация. В пьезоэлектрич. кристаллах фазовая скорость акустич. волн изменяется также при приложении постоянных электрич. полей. Указанные эффекты используются для измерения внутр. напряжений, определения модулей упругости третьего и более высоких порядков, управления акустич. волнами.

Исследование нелинейных взаимодействий УЗ-волн в твёрдых телах важно для определения характеристик фонон-фононных взаимодействий, лежащих в основе процессов установления теплового равновесия, теплопроводности, теплового расширения твёрдых тел.