

ходит с образованием неск. спектр. линий, смещённых относительно частот падающего света на частоту Γ . (т. н. *Мандельштама — Бриллюэна рассеяние*). Исследования Γ . в ряде жидкостей привели к открытию в них зависимости скорости распространения Γ . от частоты в нек-рых областях частот (см. *Дисперсия звука*) и аномально большого поглощения Γ . в этих же областях. Изучение Γ . рентг. методами показало, что тепловые колебания атомов в кристалле приводят к диффузному рассеянию рентг. лучей, к размыванию на рентгенограмме пятен, обусловленных взаимодействием рентг. лучей с атомами, и к появлению фона. По диффузному рассеянию можно исследовать спектр гиперзвуковых волн и определять модули упругости твёрдых тел.

Излучение и приём гиперзвука. Совр. методы излучения и приёма Γ ., так же как и УЗ, основываются гл. обр. на использовании явлений *пьезоэлектричества* и *магнитострикции*. Для возбуждения Γ . можно использовать резонансные *пьезоэлектрические преобразователи* пластинчатого типа, к-рые применяются в УЗ-диапазоне частот, однако для Γ . толщина таких преобразователей должна быть очень мала ввиду малости длины волны Γ . Поэтому их получают, напр., путём вакуумного напыления плёнок из пьезоэлектрич. материалов (LiNbO_3 , AlN , CdS , ZnS , ZnO и др.) на торец звукопровода; применяют и магнитострикц. плёнки резонансной толщины (напр., плёнки никеля или пермаллоя).

Используется также нерезонансный метод возбуждения Γ . с поверхности диэлектрич. пьезоэлектрич. кристалла. Кристалл помещается торцом в электрич. поле СВЧ (в большинстве случаев — в *объёмный резонатор*). Скачок диэлектрич. проницаемости, к-рый имеет место на границе кристалла, приводит к появлению на его поверхности зарядов, меняющихся с частотой поля и сопровождающихся переменной пьезоэлектрич. деформацией. Эта деформация распространяется по кристаллу в виде продольной или сдвиговой упругой волны. Аналогично возбуждается Γ . с поверхности магнитострикц. кристаллов, в этом случае торец кристалла помещается в магнитное поле СВЧ. Однако эти методы генерации и приёма Γ . отличаются малой эффективностью преобразования эл.-магн. энергии в акустическую (порядка неск. процентов). Для генерации Γ . всё шире применяются лазерные источники, а также устройства на сверхпроводниках.

Распространение гиперзвука в твёрдых телах. На дальность распространения Γ . в твёрдых телах большое влияние оказывают его взаимодействия с тепловыми фононами, электронами, магнонами (*спиновыми волнами*) и др.

В кристаллах диэлектриков, не содержащих свободных носителей зарядов, затухание Γ . определяется в осн. его целинейным взаимодействием с тепловыми фононами. На сравнительно низких частотах действует т. н. механизм «фононной вязкости» (механизм *А х и с з е р а*). Он заключается в том, что упругая волна нарушает равновесное распределение тепловых фононов и перераспределение энергии между разл. фононами приводит к необратимому процессу диссипации энергии. Этот механизм имеет релаксац. характер, а роль времени релаксации τ играет время жизни фонона. Механизм «фононной вязкости» даёт вклад в поглощение как продольных, так и поперечных волн. Он является доминирующим при комнатных темп-рах, при к-рых выполняется условие $\omega\tau \ll 1$ (где ω — круговая частота Γ).

В области $\omega \sim 10^{10} - 10^{11}$ Гц и при низких темп-рах (при темп-ре жидкого гелия), когда $\omega\tau \gg 1$, происходит непосредств. взаимодействие когерентных фононов с тепловыми, к-рое необходимо рассматривать в рамках квантовых представлений. Неупругое взаимодействие когерентного фонона с тепловым приводит к появлению третьего фонона с изменённой частотой, т. е. к уменьше-

нию числа когерентных фононов и соответственно к поглощению Γ . (т. н. механизм *Ландау — Румера*).

При распространении Γ . в кристаллах полупроводников (а также и металлов) имеет место взаимодействие Γ . с электронами проводимости (электрон-фононное взаимодействие — см. *Акустоэлектронное взаимодействие*). Осн. механизмами здесь являются эл.-магн. связь, связь через *деформационный потенциал*, пьезоэлектрич. и магнитоупругая связи, относит. вклад к-рых определяется типом материала. В непьезоэлектрич. полупроводниках связь упругих волн с носителями заряда осуществляется гл. обр. через деформационные потенциалы. Особый интерес представляет распространение Γ . в пьезоэлектрич. материалах (напр., кристаллах CdS), где упругие волны сопровождаются эл.-магн. волнами, и наоборот. В таких кристаллах затухание и дисперсия Γ . происходят в результате его взаимодействия с пространственными зарядами, обусловленными внутр. электрич. полями. В этом случае действует также механизм электрон-фононного взаимодействия, к-рый обусловлен электрич. поляризацией, связанной с акустич. модами колебаний, и способен вызывать локальное накопление заряда и появление периодич. электрич. потенциала. Если к полупроводниковому кристаллу приложить пост. электрич. поле, вызывающее дрейф электронов со скоростью, большей скорости упругой волны, то электроны будут обгонять упругую волну, отдавая ей энергию и усиливая её. Если скорость когерентных фононов больше дрейфовой скорости электронов, то имеет место дополнит. электронное поглощение Γ . Под действием Γ . в полупроводниках возникает пост. эдс или пост. ток (т. н. *акустоэлектрический эффект*). Знак эффекта зависит при этом от соотношения скорости гиперзвуковых волн и скорости электронов.

Для металлов характерны те же эффекты, что и для полупроводников, но из-за большого затухания Γ . эти эффекты становятся заметными лишь при темп-рах ниже 10К, когда вклад в затухание за счёт колебаний решётки становится незначительным. Распространение упругой волны в металле вызывает движение положит. ионов, и если электроны не успевают следовать за ними, то возникают электрич. поля, к-рые, воздействуя на электроны, создают электронный ток. В случае продольной волны изменения плотности создают пространственный заряд, к-рый непосредственно генерирует электрич. поля. Для поперечных волн изменения плотности отсутствуют, но смещения положит. ионов вызывают осциллирующие магн. поля, создающие электрич. поле, действующее на электроны. Т. о., электроны получают энергию от упругой волны и теряют её в процессах столкновения, ответственных за электрич. сопротивление. Электроны релаксируют путём столкновений с решёткой положит. ионов (примесями, тепловыми фононами и т. д.), в результате чего часть энергии возвращается обратно к упругой волне, к-рая переносится решёткой положит. ионов. Затухание Γ . в чистых металлах при низких темп-рах пропорционально частоте. Если металл — сверхпроводник, то при темп-ре перехода в сверхпроводящее состояние электронное поглощение резко уменьшается. Это объясняется тем, что с решёткой, а следовательно, и с упругой волной взаимодействуют только нормальные электроны проводимости, число к-рых уменьшается с понижением темп-ры, а сверхпроводящие электроны (объединённые в куперовские пары — см. *Сверхпроводимость*), число к-рых при этом растёт, в поглощении Γ . не участвуют. Разрушение сверхпроводимости внеш. магн. полем приводит к резкому возрастанию поглощения.

Пост. магн. поле существенно влияет на движение электронов, искривляя их траектории, что сказывается на характере акустоэлектронного взаимодействия в металлах. При этом на определ. частотах упругих волн возможен ряд резонансных явлений, напр. кван-