



ГИПЕРЗВУК

ГИПЕРЗВУК, упругие волны с частотами от 10^9 до 10^{12} – 10^{13} Гц. По физич. природе Г. не отличается от звуковых и УЗ-волн. Благодаря более высоким частотам и, следовательно, меньшим, чем в УЗ-области, длинам волн значительно более существенными становятся взаимодействия Г. с квазичастицами в среде – с электронами проводимости, тепловыми фононами, магнонами и др. Г. также часто представляют как поток квазичастиц – *фононов*.

Упругие волны могут распространяться в среде только при условии, что их длина волны заметно больше длины свободного пробега частиц в газах или больше межатомных расстояний в жидкостях и твёрдых телах. Частота 10^9 Гц в воздухе при нормальном атмосферном давлении и комнатной тем-ре соответствует длине волны Г. $3,4 \cdot 10^{-5}$ см (порядка длины свободного пробега молекул в воздухе при этих условиях). Поэтому в газах (в частности, в воздухе) при нормальном атмосферном давлении гиперзвуковые волны распространяться не могут. В жидкостях затухание Г. очень велико и дальность распространения мала. Сравнительно хорошо Г. распространяется в твёрдых телах – монокристаллах, особенно при низких температурах.

Природа гиперзвука

Существует Г. теплового происхождения и возбуждаемый искусственно. Тепловые колебания атомов или ионов, составляющих кристаллич. решётку, можно рассматривать как совокупность продольных и поперечных плоских упругих волн разл. частот, распространяющихся по всем направлениям. Эти волны называются дебаевскими волнами или тепловыми фононами; в области частот 10^9 – 10^{13} Гц их рассматривают как Г. теплового происхождения. Гиперзвуковые тепловые фононы в кристалле имеют широкий спектр частот, тогда как Г., искусственно генерируемый с

помощью спец. излучателей, может иметь высокую степень монохроматичности. В жидкостях флуктуации плотности, вызываемые тепловым движением молекул (а в жидкостях с большой вязкостью – и сдвиговые деформации), также удобно представить как результат наложения плоских упругих волн, распространяющихся во всех направлениях. Скорости распространения и коэф. поглощения гиперзвуковых волн теплового происхождения определяют на основе эффекта молекулярного рассеяния света.

Излучение и приём гиперзвука

Совр. методы излучения и приёма Г., так же как и ультразвука, основываются гл. обр. на использовании явлений пьезоэлектричества и магнитострикции. Для возбуждения Г. можно использовать резонансные пьезоэлектрич. преобразователи пластинчатого типа, которые применяются в УЗ-диапазоне частот. Толщина таких преобразователей должна быть очень мала ввиду малости длины волны Г. Поэтому их получают в виде напылённых на торец звукопровода плёнок из пьезоматериалов. Используется также нерезонансный метод возбуждения Г. с поверхности диэлектрич. пьезоэлектрич. или магнитострикционного кристалла, помещённого торцом в СВЧ электрическое (соответственно магнитное) поле; однако эти методы генерации и приёма Г. отличаются малой эффективностью преобразования электромагнитной энергии в акустическую (порядка нескольких процентов). Для генерации Г. широко применяются также лазерные источники и устройства на сверхпроводниках.

Распространение гиперзвука в твёрдых телах

На дальность распространения Г. в твёрдых телах большое влияние оказывают его взаимодействия с тепловыми фононами, электронами, магнонами и др.

В кристаллах диэлектриков, не содержащих свободных носителей зарядов, затухание Г. определяется в осн. его нелинейным взаимодействием с тепловыми фононами. На сравнительно низких частотах действует т. н. механизм «фононной вязкости» (механизм Ахиезера). 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 релаксационный характер, а роль времени релаксации τ играет время жизни фонона. Механизм Ахиезера является доминирующим при комнатных темп-рах, при которых выполняется условие $\omega\tau \ll 1$ (где ω – круговая частота Γ). В области частот порядка 10^{10} – 10^{11} Гц и при низких темп-рах (при темп-ре жидкого гелия), когда $\omega\tau \gg 1$, происходит непосредственное взаимодействие когерентных фононов с тепловыми, которое необходимо рассматривать в рамках квантовых представлений.

При распространении Γ в кристаллах полупроводников имеет место взаимодействие Γ с электронами проводимости (электрон-фононное взаимодействие – см. [Акустоэлектронное взаимодействие](#)). Осн. механизмами здесь являются электромагнитная связь, связь через деформационный потенциал, пьезоэлектрич. и магнитоупругая связи, относительный вклад которых определяется типом материала. Особый интерес представляет распространение Γ в пьезоэлектрич. материалах (напр., кристаллах CdS), где упругие волны сопровождаются электромагнитными волнами и наоборот. Под действием Γ в полупроводниках возникает постоянная эдс или постоянный 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 10 К, когда вклад в затухание, обусловленный колебаниями решётки, становится незначительным. Постоянное магнитное поле существенно влияет на движение электронов, искривляя их траектории, что сказывается на характере акустоэлектронного взаимодействия в металлах. При этом на определённых частотах упругих волн возможен ряд резонансных явлений, напр. квантовые осцилляции ([де Хааза – ван Альвена эффект](#) и [Шубникова – де Хааза эффект](#)) и акустич. циклотронный резонанс.

В парамагнетиках прохождение Γ подходящей частоты и поляризации в результате спин-фононного взаимодействия может вызвать изменение магнитного состояния атомов (переход атомов с одного уровня на другой). При этом происходит избирательное поглощение Γ на частоте, соответствующей разности уровней, т. е. возникает [акустический парамагнитный резонанс](#). В магнитоупорядоченных

кристаллах (антиферро- и ферромагнетиках, ферримагнетиках), помимо рассмотренных выше взаимодействий Г. с веществом, возникают магнитоупругие взаимодействия (магнотфононные взаимодействия). Так, распространение гиперзвуковой волны вызывает появление спиновой волны, и наоборот, спиновая волна вызывает появление гиперзвуковой волны. Поэтому в общем случае в таких кристаллах распространяются не чисто спиновые или упругие волны, а связанные магнитоупругие волны.

Взаимодействие гиперзвука со светом

Изменения показателя преломления электромагнитной волны под действием упругой волны обуславливает фотон-фононное взаимодействие. Примером такого взаимодействия является спонтанное и вынужденное [Мандельштама – Бриллюэна рассеяние](#). К такого рода взаимодействию можно отнести и возникновение упругой волны под действием электромагнитной волны в результате эффекта электрострикции. На частотах Г. преобладает т. н. брэгговская дифракция, при которой для дифрагированного света наблюдаются только нулевой и первый порядки.

Свойства Г. позволяют использовать его для исследования состояния вещества, особенно в физике твёрдого тела. Существенную роль играет использование Г. для т. н. акустич. линий задержки в СВЧ-области, а также для создания др. устройств акустоэлектроники и акустооптики.

Литература

Лит.: Фабелинский И. Л. Молекулярное рассеяние света. М., 1965; Физическая акустика / Под ред. У. Мэзона, Р. Терстона. М., 1967–1974. Т. 1–7; Такер Дж., Рэмpton В. Гиперзвук в физике твердого тела. М., 1975; Магнитная квантовая акустика. М., 1977.