

товые осцилляции (*де Хааза — ван Альфена эффект* и *Шубникова — де Хааза эффект*) и акустич. циклотронный резонанс. Изучение затухания Г. в металлах на электронах проводимости позволяет получить важные характеристики металлов (поверхность Ферми, энергетич. щель в сверхпроводниках и др.).

В парамагнетиках прохождение Г. подходящей частоты и поляризации в результате *спин-фононного взаимодействия* может вызвать изменение магн. состояния атомов. Так, Г. частотой $\sim 10^{10}$ Гц, распространяясь в кристаллах парамагнетиков, помещённых в магн. поле напряжённостью ~ 1000 Э, может вызвать переход атома с одного магн. уровня на другой, сообщая ему определ. энергию. При этом происходит избират. поглощение Г. на частоте, соответствующей разности уровней, т. е. возникает *акустический парамагнитный резонанс* (АПР). При помощи АПР оказывается возможным изучать переходы между такими уровнями атомов в парамагнетиках, к-рые являются запрещёнными для *электронного парамагнитного резонанса*. В магнитоупорядоченных кристаллах (антиферро- и ферромагнетиках, ферримагнетиках), помимо рассмотренных выше взаимодействий Г. с веществом, появляются другие, где играют роль магнитоупругие взаимодействия (магнот-фононные 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 эл.-магн. волны под действием упругой волны обуславливает фотон-фононное взаимодействие. Примерами такого взаимодействия являются *дифракция света на ультразвуке*, а также спонтанное и вынужденное рассеяние Магделъштата — Бриллюэна. К такого рода взаимодействию можно отнести и возникновение упругой волны под действием эл.-магн. волны в результате эффекта электрострикции. На частотах Г. преобладает т. н. брегговская дифракция, при к-рой для диффрагиров. света наблюдаются только нулевой и первый порядки. Частота диффрагиров. света равна $\Omega - \omega$ (стоксова компонента) либо $\Omega + \omega$ (антистоксова компонента), где Ω — частота падающего света, ω — частота Г. Этот процесс можно представить как рассеяние фотона на фононе, при этом знак «—» соответствует испусканию фонона, а знак «+» — поглощению.

При *Магделъштата — Бриллюэна* рассеянии механизм взаимодействия света с тепловыми колебаниями кристаллич. решётки (тепловыми фононами) является таким же, как и для рассмотренного выше случая дифракции света с искусственно возбуждённым Г. (когерентными фононами), однако в этом случае свет рассеивается во всех направлениях. При достаточно больших интенсивностях, когда напряжённость электрич. поля в падающей световой волне $\sim 10^4 - 10^8$ В/см, это поле может влиять на гиперзвуковую волну, на к-рой происходит рассеяние, обеспечивая непрерывную подкачку в неё энергии. В результате происходит генерация интенсивного Г. — т. н. вынужденное рассеяние Магделъштата — Бриллюэна.

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

Лит.: Физическая акустика, под ред. У. Мэсона, Р. Терстона, пер. с англ., т. 1—7, М., 1966—74; Та кер Дж., Рэмpton В., Гиперзвук в физике твёрдого тела, пер. с англ., М., 1973; Магнитная квантовая акустика, М., 1977.

ГИПЕРЗВУКОВОЕ ТЕЧЕНИЕ — предельный случай *сверхзвукового течения* газа, при к-ром скорость v частиц газа во всей области течения или в её значит. части

намного превосходит скорость звука a в газе, так что $v \gg a$ или *Маха число* $M = va \gg 1$. Т. к. скорость звука по порядку величины равна ср. скорости теплового (хаотического) движения молекул, то при Г. т. кинетич. энергия поступат. движения частицы газа намного превосходит её внутр. тепловую энергию. Поэтому при Г. т. небольшие относит. изменения v в результате превращения кинетич. энергии частиц газа во внутреннюю вызывают сильное изменение внутр. тепловой энергии газа, т. е. его темп.-ры. При уменьшении кинетич. энергии, напр. при торможении газа в *ударной волне* перед обтекаемым телом или при торможении газа в *пограничном слое* у поверхности тела, в газе могут возникать области с очень высокой темп.-рой. При изучении движения газа в этих областях необходимо учитывать происходящие в газах (в частности, в воздухе) физ.-хим. процессы: возбуждение внутр. степеней свободы молекул и их диссоциацию, хим. реакции между компонентами газа, ионизацию атомов. При достаточно большой плотности газа физ.-хим. процессы в нём происходят настолько быстро, что газ можно считать находящимся в состоянии *равновесия термодинамического* (течения газа в равновесном состоянии). В др. предельном случае газодинамич. процессы столь быстры, что за характерное для этих процессов время изменением внутр. состояния молекул и атомов можно пренебречь (течение газа в замороженном состоянии). В промежуточных случаях, напр. при полёте тел с гиперзвуковой скоростью на больших высотах, необходимо принимать во внимание конечную скорость протекания в газе физ.-хим. процессов и дополнять систему ур-ний *газовой динамики* ур-ниями кинетики физ.-хим. процессов.

Теория Г. т. газа развивается гл. обр. в связи с проблемами *аэродинамики* — полётами снарядов, ракет и самолётов со скоростями, во много раз превышающими скорость звука, и входом в плотные слои атмосферы Земли и др. планет и торможением в ней космич. аппаратов. Эта теория, к-рая развивалась вначале для модели идеального газа применительно к задачам обтекания тел, т. н. асимптотич. теория ур-ний газовой динамики при очень больших значениях числа M ($1/M^2 \rightarrow 0$), позволила получить ряд важных результатов. При очень большом M набегающего потока, когда можно пренебречь величиной $1/M^2$ по сравнению с единицей, параметры газа (v/v_∞ , ρ/ρ_∞ , $p/p_\infty v_\infty^2$) в прилегающей к телу возмущённой области за ударной волной перестают зависеть от условий в набегающем потоке

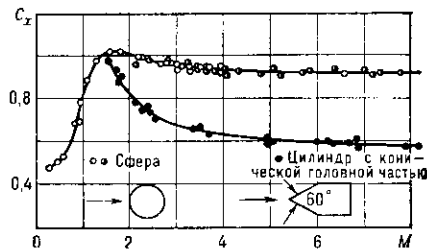


Рис. 1. Значения коэффициента сопротивления сферы и цилиндра с конической головкой; начиная с $M=4$ эти значения перестают заметно изменяться.

(v , ρ , p — скорость, плотность и давление газа за ударной волной, а v_∞ и ρ_∞ — соответствующие параметры в набегающем потоке). Это свойство наз. с т а б и л и з а ц и е й течения около тел при гиперзвуковых скоростях; при этом стабилизация течения около тупых вперед тел наступает при меньших значениях числа M , чем около тонких, заострённых — т. н. тел аэродинамически совершенной формы (рис. 1).

Т. к. при гиперзвуковой скорости набегающего на тело потока даже при малых возмущениях скорости $\Delta v/v$ изменения давления и плотности не малы ($\sim M^2 \Delta v/v$), то при изучении гиперзвукового обтекания тел аэродинамически совершенной формы необходимо, в отличие от обтекания их потоком с умеренной сверхзвуковой скоростью, учитывать нелинейные эффекты. Представления аэродинамики умеренных сверхзвуко-