

($\nu=5-10$ Гц); колесо автомобиля при скорости 60 км/ч ($\nu\sim 10$ Гц); звуковые волны, воспринимаемые человеком на слух ($\nu=20-2\cdot 10^4$ Гц); стандартная частота колебаний перем. тока ($\nu=50$ Гц); УЗ ($\nu=2\cdot 10^4-10^9$ Гц); эл.-магн. колебания радиодиапазона ($\nu=10^5-3\cdot 10^8$ Гц); эл.-магн. колебания СВЧ-диапазона ($\nu=3\cdot 10^8-3\cdot 10^{11}$); гиперзвук ($\nu=10^9-10^{13}$ Гц); оптика (видимый свет) ($\nu=0,4\cdot 10^{14}-0,75\cdot 10^{14}$ Гц); УФ-излучение ($\nu\sim 10^{15}-10^{17}$ Гц); рентг. излучение ($\nu\sim 10^{18}-10^{19}$ Гц); гамма-лучи ($\nu\sim 10^{20}$ Гц); короткоживущие частицы-резонансы ($T=10^{-22}-10^{-24}$ с).

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, [3 изд.], М., 1981; Стретт Дж. В. (Лорд Рэлей), Теория звука, пер. с англ., 2 изд., т. 1—2, М., 1955; Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Бишоп Р., Колебания, пер. с англ., 3 изд., М., 1986. М. А. Миллер, М. И. Рабинович.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В АТМОСФЕРАХ Солнца, звёзд и планет — представляют собой гидродинамич. и магн.-гидродинамич. колебания и волны (см. Упругие волны, Волны в плазме) в неоднородной атмосфере в поле силы тяжести.

Под влиянием силы тяжести гидродинамич. волны приобретают свойства, отличные от свойств волн в однородной среде из-за действия на колеблющийся объём силы плавучести (возникающей в результате изменения плотности в ней). Кроме того, в присутствии силы тяжести в атмосфере образуются гравитац. волны, подобные волнам в тяжёлой жидкости (см. Волны на поверхности жидкости), но отличающиеся от них из-за сжимаемости атмосферы. Особенно большое разнообразие типов волн характерно для проводящей атмосферы с магн. полем, когда на колеблющийся объём действуют три возвращающие силы: давления, плавучести и магнитная.

Стратификация (расслоение, вертикальная неоднородность) атмосферы приводит к линейному (т. е. пропорц. амплитуде) взаимодействию волн. Разл. типы волн распространяются не независимо, происходит перекачка энергии от одного типа волн к другому. Линейное взаимодействие наиб. существенно в сильно неоднородных атмосферах, где длина волны больше или порядка высоты однородной атмосферы и перекачка энергии от одного типа волн к другому не является малым эффектом. При достаточно больших амплитудах происходит и нелинейное взаимодействие волн (напр., в верх. хромосфере Солнца). В проводящей атмосфере с магн. полем осуществляется тройное линейное взаимодействие альвеновских и магн.-звуковых (быстрой и медленной) волн, свойство к-рых к тому же видоизменены силой тяжести. В ряде случаев на свойства волн оказывает влияние лучистый теплообмен, т. е. волны не являются адиабатическими. В стратифицированной атмосфере условия теплообмена также сильно изменяются с высотой. Это приводит к тому, что возникает линейное взаимодействие гидродинамич. и магн.-гидродинамич. волн с температурными волнами. На Солнце разнообразие типов колебаний и волн ещё более увеличивается из-за тенденции к разбеганию магн. поля на отд. магн. трубки. Однако пока изучены волны только в магн. трубках с пост. параметрами вдоль оси трубки. В этом случае линейное взаимодействие разл. мод колебаний не возникает.

При наличии взаимодействия волновой процесс описывается системой двух дифференц. ур-ний второго порядка или одним ур-нием четвёртого порядка. Общий случай неадиабатич. магн.-гидродинамич. волн в стратифицированной атмосфере должен описываться четырьмя взаимно связанными ур-ниями. Такая система ур-ний до сих пор не изучалась. Рассмотрен ряд более простых случаев (неадиабатич. гидродинамич. волн в стратифицированной атмосфере, магн.-звуковые волны в атмосфере с пост. магн. полем), к-рые являются основой совр. теории волн в атмосферах Солнца и звёзд.

Волны в атмосфере могут быть стоячими или бегущими. Если стоячие волны (колебания) являются еди-

ным (когерентным) процессом, охватывающим всё Солнце или звезду, то говорят о пульсациях (в физике используется термин «собственные резонансные колебания») Солнца или звёзд.

На Солнце обнаружены как гидродинамич., так и магн.-гидродинамич. колебания и волны. Во всех слоях атмосферы (фотосфере, хромосфере и короне) наблюдаются (по доплеровскому смещению спектральных линий) пятиминутные колебания, представляющие собой акустич. волны, захваченные в атм. волноводе, к-рый находится в верх. слоях конвективной зоны. Амплитуда колебаний от 100—200 м/с в фотосфере и до 1—2 км/с в хромосфере. Горизонтальная (вдоль поверхности Солнца) длина волны $\sim 10^3-10^4$ км. Спектр пятиминутных колебаний состоит из отд. полос. Каждая из полос расщепляется на две из-за вращения Солнца. Поскольку атм. волновод для волн разл. частот находится на разной глубине, удаётся определить, как изменяется скорость вращения Солнца с глубиной. Кроме коротковолновых пятиминутных колебаний наблюдаются длинноволновые резонансные пятиминутные пульсации с масштабами порядка радиуса Солнца. Эти пульсации, так же как и более низкочастотные, имеют столь малые амплитуды (1—10 км) на поверхности Солнца, что наблюдаются на пределе чувствительности совр. аппаратуры. Особый интерес вызывают 160-минутные пульсации Солнца, открытые А. Б. Северником с сотрудниками. Общепринятой теории, объясняющей это явление, пока не существует. В солнечных пятнах, где имеются сильные магн. поля, наблюдаются магн.-гидродинамич. колебания и волны. Это — трёхминутные колебания в хромосфере и фотосфере над тенью пятна и бегущие волны с периодами порядка четырёх минут в полутени. Возникновение этих колебаний связано с наличием резонансных слоёв для разл. типов волн. Волны, захваченные в разл. резонансных слоях, взаимодействуют друг с другом вследствие стратификации атмосферы. Существует полная теория резонансных слоёв в проводящей атмосфере с вертикальным магн. полем, что даёт возможность, напр., построить детальную модель колебаний хромосферы над пятнами.

Развивается новое направление исследований Солнца — гелиосейсмология (см. Солнечная сейсмология), к-рая занимается определением структуры атмосферы на основе наблюдательных данных о её колебаниях. На основе наблюдений пульсаций предпринимаются попытки проверки моделей внутр. строения Солнца. Успешно развивается сейсмология солнечных пятен.

Лит.: Гибсон Э., Спокойное Солнце, пер. с англ., М., 1977; Кокс Д. П., Теория звездных пульсаций, пер. с англ., М., 1983; Жугжда Ю. Д., Джагитов Н. С., Линейная трансформация магнитогравитационных волн в наклонном магнитном поле, «Физика плазмы», 1983, т. 9, с. 1006; Zhugzhda Y. D., Losans V., Staudé J., Seismology of sunspot atmospheres, «Solar Phys.», 1983, v. 82, p. 369. Ю. Д. Жугжда.

КОЛЕБАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ — согласованные смещения атомов или молекул, образующих кристалл, относительно их положений равновесия (см. также Динамика кристаллической решётки). Если смещения малы и справедливо т. н. гармонич. приближение, то независимыми собственными К. к. р. являются нормальные колебания (моды), каждое из к-рых увлекает в движение все атомы кристалла. Нормальное колебание имеет вид плоской волны, характеризующейся волновым вектором k , к-рый определяет направление распространения фронта волны и её длину λ , вектором поляризации $e(k)$, указывающим направление смещения атомов в волне. В процессе нормального колебания все атомы кристалла колеблются около положений равновесия по гармонич. закону с одинаковой частотой $\omega=\omega_s(k)$ ($s=1, 2, 3, \dots, 3\nu$), где s — номер ветви закона дисперсии, ν — число атомов в элементарной ячейке кристалла. Т. о., одному и тому же k отвечает 3ν мод, отличающихся