

смещения (см. *Кристаллоакустика*). При распространении У. в. в кристаллах может возникнуть ряд специфич. эффектов, напр. различие в направлениях фазовой и групповой скоростей, усиление ультразвука за счёт акустоэлектронного взаимодействия, дислокац. поглощение.

В любой упругой среде из-за внутр. трения и теплопроводности распространение У. в. сопровождается её поглощением (см. *Поглощение звука*). Если на пути У. в. имеется к.-л. препятствие (отражающая стенка, вакуумная полость и т. д.), то происходит дифракция волн на этом препятствии; простейшей случай дифракции — отражение и прохождение У. в. на плоской границе двух полупространств.

В У. в. механич. напряжения пропорц. деформациям (*Гука закон*). Если амплитуда деформации в твёрдом теле превосходит предел упругости материала, в волне появляются пластич. деформации и её наз. *упругопластической волной*. Аналогом таких волн в жидкостях и газах являются волны т. н. конечной амплитуды. Скорость их распространения зависит от величины деформации.

Диапазон частот У. в. простирается от малых долей Гц до 10^{13} Гц. В последнем случае длины У. в. становятся сравнимыми с параметрами кристаллич. решётки.

Область применения упругих волн чрезвычайно широка: низкочастотные упругие волны используются в сейсмологии (для регистрации землетрясений), в сейсморазведке. У. в. килогерцевого диапазона применяются в гидролокации и при исследованиях океана. У. в. ультра- и гиперзвукового диапазонов служат в физике для определения разл. параметров твёрдых, жидких и газообразных сред, применяются в акустоэлектронике, в промышленности для технол. и контрольно-измерит. целей, в медицине и др. областях. См. также *Гиперзвук*, *Ультразвук*.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория упругости, 4 изд., М., 1987; Кольский Г., Волны напряжения в твёрдых телах, пер. с англ., М., 1955; Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Бреховских Л. М., Волны в слоистых средах, 2 изд., М., 1973, гл. I; Физическая акустика, под ред. У. Мэсона, пер. с англ., т. 1, ч. А, М., 1966, гл. 1—2, б; т. 4, ч. А, М., 1969, гл. I; Виктор И. А., Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике, М., 1966. *И. А. Виктор*.

УПРУГООПТИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ (постоянная Поккельса) — величина, характеризующая зависимость показателя преломления материала от упругой деформации. У. п. $p = (\epsilon_0 - \epsilon) / \epsilon_0^2 S$, где ϵ_0 и ϵ — диэлектрич. проницаемости невозмущённой и возмущённой сред соответственно, S — деформация среды.

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ ВОЛНА — волна в деформируемом твёрдом теле, при прохождении к-рой амплитуда деформации превосходит предел упругости вещества и возникают пластич. деформации. Скорость распространения таких волн зависит от величины деформации. В стержне, по к-рому прошла У. в., сохраняются остаточные деформации; по их распределению можно судить о динамич. механич. характеристиках материала.

УПРУГОСТИ ТЕОРИЯ — раздел *механики*, в к-ром изучаются перемещения, деформации и напряжения, возникающие в покоящихся или движущихся упругих телах под действием нагрузки. У. т. — основа расчётов на прочность, деформируемость и устойчивость в строит. деле, авиа- и ракетостроении, машиностроении, горном деле и др. областях техники и промышленности, а также в физике, сейсмологии, биомеханике и др. науках. Объектами исследования методами У. т. являются разнообразные тела (машины, сооружения, конструкции и их элементы, горные массивы, плотины, геол. структуры, части живого организма и т. п.), находящиеся под действием сил, температурных полей, радиоакт. облучения и др. воздействий. В результате расчётов методами У. т. определяются: допустимые нагрузки, при к-рых в рассматриваемом объекте не возникают напряжения или перемещения, опасные с точки зрения прочности или недопустимые по условиям функционирования; наиб. целесообразные конфигурации и размеры сооружений, конструкций и их деталей; перегрузки, возникающие при динамич. воздействии, напр. при про-

хождении упругих волн; амплитуды и частоты колебаний конструкций или их частей и возникающие в них динамич. напряжения; усилия, при к-рых рассчитываемый объект теряет устойчивость. Этими расчётами определяются также материалы, наиб. подходящие для изготовления проектируемого объекта, или материалы, к-рыми можно заменить части организма (костные и мышечные ткани, кровеносные сосуды и т. п.). Методы У. т. эффективно используются и для решения нек-рых классов задач *пластичности теории* (в методе последоват. приближений).

Законы упругости, имеющие место для большинства материалов, по крайней мере, при малых (а иногда и больших) деформациях, отражают взаимно однозначные зависимости между текущими (мгновенными) значениями напряжений и деформаций. Осн. физ. закон У. т. — обобщённый *Гука закон*, согласно к-рому напряжения линейно зависят от деформаций. Для изотропных материалов эти зависимости имеют вид

$$\sigma_{11} = 3\lambda\epsilon + 2\mu\epsilon_{11}, \quad \sigma_{22} = 3\lambda\epsilon + 2\mu\epsilon_{22},$$

$$\sigma_{33} = 3\lambda\epsilon + 2\mu\epsilon_{33}, \quad (1)$$

$$\sigma_{12} = 2\mu\epsilon_{12}, \quad \sigma_{23} = 2\mu\epsilon_{23}, \quad \sigma_{31} = 2\mu\epsilon_{31},$$

где $\epsilon = (1/3)(\epsilon_{11} + \epsilon_{22} + \epsilon_{33})$ — ср. (гидростатич.) деформация, λ и μ — постоянные Ламе. Т. о., упругие свойства изотропного материала характеризуются двумя постоянными λ и μ или к.-н. выраженными через них двумя *модулями упругости*.

Равенство (1) можно также представить в виде

$$\sigma_{11} - \sigma = 2\mu(\epsilon_{11} - \epsilon), \quad \dots$$

$$\sigma_{12} = 2\mu\epsilon_{12}, \quad \dots, \quad \sigma = 3K\epsilon. \quad (2)$$

где $\sigma = (1/3)(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})$ — ср. (гидростатич.) напряжение, K — модуль объёмной упругости.

Для нелинейного упругого изотропного материала в равенства (2) всюду вместо μ входит коэф. $\Phi(\epsilon_u)/3\epsilon_u$, а соотношение $\sigma = 3K\epsilon$ заменяется равенством $\sigma = f(\epsilon)$, где величина ϵ_u наз. интенсивностью деформации, а ф-ции Φ и f , универсальные для данного материала, определяются из опытов. Когда $\Phi(\epsilon_u)$ достигает нек-рого критич. значения, возникают пластич. деформации.

Матем. задача У. т. при равновесии состоит в том, чтобы, зная действующие внеш. силы (нагрузки) и т. н. граничные условия, определить в любой точке тела значения компонентов тензоров напряжений и деформаций, а также компоненты u_x, u_y, u_z вектора перемещения частицы тела, т. е. определить эти 15 величин в виде ф-ций от координат x, y, z точек тела. Исходными для решения этой задачи являются дифференц. ур-ния равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial z} + \rho X = 0,$$

$$\frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial z} + \rho Y = 0,$$

$$\frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{32}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial z} + \rho Z = 0,$$

где ρ — плотность материала, X, Y, Z — проекции на координатные оси действующей на каждую частицу тела массовой силы (напр., силы тяжести), отнесённой к массе этой частицы.

К трём ур-ниям равновесия присоединяются 6 равенств (1) в случае изотропного тела и ещё 6 равенств вида

$$\epsilon_{11} = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \dots, \quad 2\epsilon_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}, \quad \dots, \quad (4)$$

устанавливающих зависимости между компонентами деформаций и перемещений.

Когда на часть S_1 граничной поверхности тела действуют заданные поверхностные силы (напр., силы контактного взаимодействия), проекции к-рых, отнесённые к единице площади, равны F_x, F_y, F_z , а для части S_2 этой поверхности заданы перемещения её точек $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$, граничные условия имеют вид