

дислокаций. Такое сопротивление движению дислокаций часто (по аналогии с вязкостью жидкостей) наз. вязким. В. т. в сильно деформированных материалах объясняется взаимным торможением дислокаций и т. д.

В качестве методов измерения В. т. применяются: а) изучение затухания свободных колебаний (продольных, поперечных, крутильных, изгибных); б) изучение резонансной кривой для вынужденных колебаний; в) изучение затухания УЗ-импульса с длиной волны  $\lambda$ . Мерами В. т. служат: а) декремент колебаний  $\delta$ ;  $\text{tg } \delta = Q^{-1}$ , где  $\delta$  — сдвиг фазы между напряжением  $\sigma$  и деформацией  $\epsilon$  при упругих колебаниях, величина  $Q$  аналогична добротности электр. колебательного контура; в) относительное рассеяние упругой энергии  $\Delta W/W$  за один период колебаний; г) ширина резонансной кривой  $\Delta\omega/\omega$ , где  $\Delta\omega$  — отклонение от резонансной частоты  $\omega$ , при к-рой квадрат амплитуды вынужденных колебаний уменьшается в 2 раза. Разл. меры В. т. при малых значениях затухания ( $\delta \ll 1$ ) связаны между собой:

$$\text{tg } \delta = \Delta W / 2\pi W = \delta / \pi \approx \Delta\omega / \omega \sqrt{3} = Q^{-1}.$$

Для исключения пластич. деформации амплитуда колебаний при измерениях должна быть настолько мала, чтобы  $Q^{-1}$  от неё не зависело.

Спектр релаксации можно получить, изменяя не частоту циклич. колебаний, а темп-ру. При отсутствии релаксационных процессов в исследуемом интервале температур В. т. монотонно растёт, а если такой процесс имеет место, то на кривой температурной зависимости появляется максимум (пик) В. т. при температуре  $T_m = H / [k \ln(1/\omega\tau_0)]$ , где  $H$  — энергия активации релаксац. процесса,  $\tau_0$  — материальная постоянная,  $\omega$  — циклич. частота колебаний.

Методом свободных крутильных колебаний малой амплитуды и низкой частоты можно изучать растворимость и параметры диффузии атомов, образующих твёрдые растворы внедрения, фазовые превращения, кинетику и энергетич. характеристики распада пересыщенных твёрдых растворов и др. Колебания от 5 кГц до 300 кГц пригодны для изучения движения границ ферромагнитных доменов, колебания около 30 МГц применены к исследованию в металле рассеяния колебаний кристаллич. решётки (фононов) электронами проводимости. Изучение В. т. твёрдых тел — источник сведений о состояниях и процессах, возникающих в твёрдых телах, в частности в чистых металлах и сплавах, подвергнутых разл. механ. и тепловым обработкам.

Лит.: Постников В. С., Внутреннее трение в металлах, 2 изд., М., 1974; Физическая акустика, под ред. У. Мэсона, пер. с англ., т. 3, ч. А — Влияние дефектов на свойства твердых тел, М., 1969; Новик А. С., Берри Б., Релаксационные явления в кристаллах, пер. с англ., М., 1975.

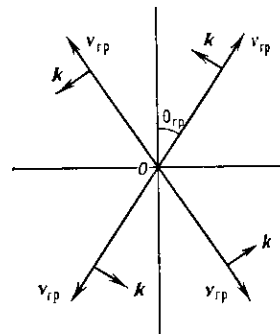
Б. Н. Финкельштейн.

**ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ** в жидкостях и газах — то же, что *вязкость*

**ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ** (внутренние гравитационные волны) — вид волновых движений в слоистой (стратифицированной) жидкости (газе), плотность к-рой  $\rho$  растёт с глубиной  $z$ . Простейший случай — В. в. на границе раздела двух однородных несжимаемых жидкостей, из к-рых нижняя имеет большую плотность ( $\rho_2 > \rho_1$ ). Такие волны аналогичны волнам на поверхности жидкости ( $\rho_1 = 0$ ) и описываются теми же ф-лами, но с заменой ускорения силы тяжести  $g$  на  $g_{\text{эфф}} = g(\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$ . В несжимаемой жидкости с непрерывной зависимостью  $\rho$  от  $z$  осн. параметром, определяющим свойства В. в., служит частота плавучести (частота Брента — Вэйселя)  $N = \sqrt{\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$ , равная частоте собств. колебаний элемента жидкости в вертик. направлении. Если  $N$  везде одинаково (т. е.  $\rho$  зависит от  $z$  по экспоненте), то частота  $\omega$  плоской гармонич. В. в. связана с углом  $\theta$  её волнового вектора  $k$  относительно вертикали (рис.) дисперс. ур-нем  $\omega = N \sin \theta$ ; т. о., частота В. в. всегда меньше  $N$ .

Колебания частиц жидкости в такой волне перпендикулярны  $k$  и лежат в плоскости ( $z, k$ ); так же направлена групповая скорость волны  $v_{гр}$ . В частности, при колебаниях тела в слоистой жидкости вся энергия В. в. излучается по образующей «группового конуса», с углом при вершине  $\theta_{гр}$ , таким, что  $\cos \theta_{гр} = \omega / N$ . Если  $N$  зависит от глубины, то частота В. в. не может превышать макс. значения  $N$ , а волна испытывает рефракцию.

В слое жидкости, ограниченном сверху и снизу от-



Направления групповой скорости  $v_{гр}$  и волнового вектора  $k$  внутренних волн частоты  $\omega$ , распространяющихся под углом  $\theta$  от гармонического источника  $\theta_{гр}$  от гармонического источника, находящегося в точке  $O$ , при  $N = \text{const}$ .

ражающими поверхностями и являющемся поэтому волноводом, возможны направляемые В. в. в виде *нормальных волн* (мод), имеющих «стоячую» структуру по вертикали и бегущих в горизонтальном направлении.

В сжимаемой среде свойства В. в., кроме  $N$ , зависят также от скорости звука  $c$  и их, строго говоря, нельзя отделить от звуковых (акустич.) волн. Поэтому в общем случае говорят об акустико-гравитац. волнах в сжимаемой слоистой среде, к-рые при определённых условиях могут быть разделены на высокочастотную акустическую и низкочастотную гравитационную ветви.

В. в. повсеместно распространены в океане и атмосфере Земли. В частности, с ними связано явление «мёртвой воды» — торможение судна из-за расхода энергии на возбуждение В. в. на ниж. границе слоя тёплой (т. е. более лёгкой) жидкости, лежащей поверх более холодной. В толще океана, где плотность меняется с глубиной из-за изменений темп-ры и содержания солей, существуют В. в. разнообразных масштабов и периодов — от десятков секунд до десятков часов, к-рые эффективно взаимодействуют между собой и с др. типами движений. Они играют существ. роль в процессах вертик. переноса энергии, возникновения турбулентности, тонкой структуры и т. д. В. в. наблюдаются и в атмосфере Земли. Такие волны, по-видимому, участвуют и в процессах переноса энергии в атмосфере Солнца.

Лит.: Гэллинский Н. Т., Внутренние волны в океанах и морях, М., 1973; Тернер Дж., Эффекты плавучести в жидкостях, пер. с англ., М., 1977; Госсард Э., Хук У., Волны в атмосфере, пер. с англ., М., 1978; Миропольский Ю. З., Динамика внутренних гравитационных волн в океане, Л., 1981; Лайтхилл Дж., Волны в жидкостях, пер. с англ., М., 1981; Леблон П., Майсек Л., Волны в океане, пер. с англ., [ч.] 1—2, М., 1981. Л. А. Островский.

**ВНУТРЕННЯЯ КОНВЕРСИЯ** — см. *Конверсия внутренняя*.

**ВНУТРЕННЯЯ СИММЕТРИЯ** в квантовой теории поля (КТП) — инвариантность относительно преобразований над квантовыми полями, при к-рых не затрагиваются пространственно-временные координаты. С преобразованиями пространственно-временных координат ( $x$ ) связаны *пространственно-временные симметрии*.

Каждому закону сохранения соответствует нек-рая симметрия, в частности В. с. Поэтому утверждение о существовании симметрии часто заменяется на эквивалентное высказывание о сохранении к.-л. физ. величины. Напр., говорят о сохранении странности ( $S$ ) в сильном взаимодействии, что эквивалентно В. с. гамилтониана сильного взаимодействия относительно фазового преобразования  $\Phi \rightarrow \exp(iS\omega)\Phi$ , где  $\Phi$  — оператор квантового поля,  $\omega$  — параметр преобразования. Однако обратное утверждение, вообще говоря, не верно, т. е. не любая В. с. ассоциируется с соответствующим законом сохранения.