

вании частоты лазерных импульсов пико- и субпико-секундной длительности нелинейные оптич. процессы могут быть нестационарными. В случае фемтосекундных световых импульсов при наличии Г. с. эффективность нелинейного процесса может уменьшаться из-за распыливания импульса, обусловленного дисперсией групповой скорости.

Лит.: Ахманов С. А., Чиркин А. С., Статистические явления в нелинейной оптике, М., 1971; Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С., Введение в статистическую радиофизику и оптику, М., 1981, с. 562-75. А. С. Чиркин.

**ГРЭЙ** (Гр, Gy) — единица СИ поглощённой дозы ионизирующего излучения, а также и кермы. Назв. в честь Л. Грэя (L. Gray). 1 Гр равен такой дозе излучения, при поглощении к-рой веществу массой 1 кг передаётся энергия 1 Дж. 1 Гр = 1 Дж/кг = 10<sup>4</sup>эрг/г = 10<sup>2</sup> рад. **ГРЮНАЙЗЕНА ЗАКОН** — устанавливает одинаковую температурную зависимость уд. теплоёмкости  $C_V$  и коэф. теплового расширения  $\alpha$  твёрдых диэлектриков:  $\alpha = \gamma C_V / 3K$ , где  $K$  — модуль всестороннего сжатия (см. Модули упругости),  $\gamma$  — параметр Грюна и айзена. Г. з. установлен Э. Грюнайзеном (E. Grüneisen) в 1908. Г. з. соблюдается не строго, для его выполнения необходимы одинаковая зависимость частот всех нормальных колебаний кристаллической решётки (фононных мод) от объёма  $V$  и отсутствие температурной зависимости  $K$ . Г. з. справедлив в пределах применимости закона соответственных состояний, например в рамках Дебая теории твёрдого тела, когда  $\gamma = -\partial(\ln \omega_D) / \partial(\ln V)$  не зависит от темп-ры ( $\omega_D$  — Дебая частота). Величина  $\gamma$  обычно  $\sim 1$ . Г. з. выполняется для кристаллов большинства чистых хим. элементов и для ряда простых соединений, напр. галлоидных солей.

Иногда Г. з. расширительно понимают как одинаковую температурную зависимость  $C_V$  и  $\alpha$  твёрдых тел в области достаточно низких темп-р, когда теплоёмкость твёрдого тела определяется всего одним типом длинноволновых возбуждений (квазичастиц). В этом смысле Г. з. является точным. Так, для диэлектриков (фононная теплоёмкость) при  $T \rightarrow 0$   $C_V$  и  $\alpha$  пропорциональны  $T^3$ , для металлов (электронная теплоёмкость) —  $T$ , для магнитных диэлектриков с квадратичным бесщелевым энергетич. спектром магнонов (магнонная теплоёмкость) —  $T^{3/2}$ .

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, 3 изд., ч. 1, М., 1976; Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твердого тела, пер. с англ., т. 1—2, М., 1979. А. Э. Мейерович.

**ГУКА ЗАКОН** — основной закон теории упругости, выражающий линейную зависимость между напряжениями и малыми деформациями в упругой среде. Установлен Р. Гуком (R. Hooke) в 1660.

При растяжении стержня длиной  $l$  его удлинение  $\Delta l$  пропорц. растягивающей силе  $F$ ; в этом случае Г. з. имеет вид  $\sigma_1 = E \epsilon_1$ , где  $\sigma_1 = F/S$  — нормальное напряжение в поперечном сечении стержня,  $\epsilon_1 = \Delta l/l$  — относит. удлинение,  $S$  — площадь поперечного сечения. Константа материала  $E$  наз. м о д у л е м Ю н г а. При этом относит. изменение поперечных размеров стержня  $\epsilon_2$  пропорц. относительному удлинению:  $\epsilon_2 = -\nu \epsilon_1$ . Константа  $\nu$  наз. коэф. Пуассона.

При кручении тонкостенного трубчатого образца касат. напряжение  $\tau$  в поперечном сечении пропорц. сдвигу:  $\tau = G \gamma$ , где  $G$  — модуль сдвига,  $\gamma$  — угол сдвига. При гидростатич. сжатии тела относит. изменение объёма  $\theta$  пропорц. давлению  $p$ :  $\theta = -Kp$ , где  $K$  — модуль объёмной упругости. Поскольку  $\theta = \epsilon_{11} + \epsilon_{22} + \epsilon_{33} = 3\epsilon$ , где  $\epsilon$  — средняя (гидростатич.) деформация, и  $p = -\sigma$ , где  $\sigma = (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})/3$  — среднее (гидростатич.) напряжение, получаем Г. з. в виде:  $\sigma = 3K\epsilon$ . Константы  $E$ ,  $\nu$ ,  $G$ ,  $K$  характеризуют упругие свойства материала.

Упругие свойства изотропного материала определяются только двумя константами, и в произвольном сложном напряжённом состоянии зависимости между ком-

понентами тензоров напряжений  $\sigma_{ij}$  и деформаций  $\epsilon_{ij}$  представляются линейными соотношениями обобщённого Г. з.:

$$\sigma_{11} = \lambda\theta + 2\mu\epsilon_{11}, \sigma_{22} = \lambda\theta + 2\mu\epsilon_{22}, \sigma_{33} = \lambda\theta + 2\mu\epsilon_{33},$$

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

в к-рых коэф.  $\lambda$  и  $\mu$  наз. упругими константами Л а м е, причём

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}, \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}, G = \mu, K = \lambda + \frac{2}{3}\mu.$$

Если в тензорах  $\sigma_{ij}$  и  $\epsilon_{ij}$  выделить компоненты девиатора напряжений  $S_{ij}$  и девиатора деформации  $\mathcal{E}_{ij}$ , то обобщённый Г. з. будет иметь вид соотношений:

$$S_{11} = 2G\mathcal{E}_{11}, s_{22} = 2G\mathcal{E}_{22}, \dots, s_{31} = 2G\mathcal{E}_{31}, \sigma = 3K\epsilon,$$

к-рые показывают, что для изотропного тела девиаторные свойства, отражающие изменение формы, и шаровые (или сферические) свойства, характеризующие объёмную деформацию, независимы между собой.

Обобщённый Г. з. имеет место в ограниченной области значений напряжений и деформаций, а именно лишь до тех пор, пока интенсивность напряжений  $\sigma_m$  не превышает предел текучести  $\sigma_s$  ( $\sigma_m \leq \sigma_s$ ), определяемый в опыте на растяжение образца, т. е. при  $\epsilon_m \leq \epsilon_s = \sigma_s/3G$ , где  $\epsilon_s$  — предел упругих деформаций. Для металлов  $\epsilon_s$  порядка 0,3–0,5%. При превышении этих значений возникают пластич. деформации.

Для анизотропного материала обобщённый Г. з. имеет вид

$$\sigma_{11} = g_{11}\epsilon_{11} + g_{12}\epsilon_{22} + g_{13}\epsilon_{33} + g_{14}\epsilon_{12} + g_{15}\epsilon_{23} + g_{16}\epsilon_{31},$$

$$\sigma_{22} = g_{21}\epsilon_{11} + g_{22}\epsilon_{22} + g_{23}\epsilon_{33} + g_{24}\epsilon_{12} + g_{25}\epsilon_{23} + g_{26}\epsilon_{31},$$

$$\dots$$

$$\sigma_{31} = g_{61}\epsilon_{11} + g_{62}\epsilon_{22} + g_{63}\epsilon_{33} + g_{64}\epsilon_{12} + g_{65}\epsilon_{23} + g_{66}\epsilon_{31},$$

причём из 36 модулей упругости  $g_{ij}$  в общем случае анизотропии независимы 21. В частных случаях анизотропии число независимых упругих констант меньше. Напр., в ортотропных материалах, представителями к-рых являются композиты, армированные волокнами в двух перпендикулярных направлениях, фанера и др., независимых констант 9. В анизотропных материалах независимость девиаторных и шаровых свойств не имеет места. В частности, при всестороннем сжатии шар превращается в эллипсоид, т. е. имеют место сдвиги.

Лит.: Ляв А., Математическая теория упругости, пер. с англ., М.—Л., 1935; Лейбензон Л. С., Курс теории упругости, 2 изд., М.—Л., 1947; Тимошенко С. П., Гудьер Дж., Теория упругости, пер. с англ., 2 изд., М., 1979. В. С. Ленский.

**ГУРЕВИЧА ЭФФЕКТ** — возникновение решёточного вклада в термоэлектрические явления и термомагнитные явления, связанного взаимным увлечением электронов и фононов (см. Увлечение электронов фононами). Теория построена Л. Э. Гуревичем в 1945. Напр., в условиях измерения Пельтье эффекта поток тепла  $Q$ , порождаемый проходящим электрич. током  $I$ , наряду с обычной электронной составляющей  $Q_e$  содержит решёточный вклад  $Q_r$ , вызванный увлечением фононов электронами. Этот вклад может изменить порядок величины и знак коэф. Пельтье.

Лит.: Займан Дж., Принципы теории твёрдого тела, пер. с англ., М., 1974, гл. 7, § 11; Gurvich L., Thermoelectric properties of conductors I—II, «J. Phys.», 1945, v. 9, p. 477; 1946, v. 10, p. 67; ег о ж е, Thermomagnetic and galvanomagnetic properties of conductors III, там же, 1946, v. 10, p. 174. Э. И. Раиба.

**ГЮГОНЬО УРАВНЕНИЕ** — ур-ние, связывающее плотность  $\rho_1$  и давление  $p_1$  в струйке газа до скачка уплотнения с плотностью  $\rho_2$  и давлением  $p_2$  после скачка уплотнения:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{(k+1)\frac{p_2}{p_1} + (k-1)}{(k-1)\frac{p_2}{p_1} + (k+1)},$$

где  $k = c_p/c_v$  — отношение теплоёмкостей при пост. давлении и пост. объёме. Назв. по имени П. А. Гюгоньо (P. N. Hugoniot, 1887). Кривая, изображающая Г. у., наз. кривой Гюгоньо, или а д и а б а т о й Гюгоньо, в