

ние газа. Поэтому релаксац. кривые для газов обычно изображаются как ф-ции величины  $\omega/P$ . Это позволяет при эксперим. определении зависимостей  $\alpha_p$  и  $c$  от  $\omega$  изменять давление газа, а не частоту звука, что сильно упрощает измерения. В многоатомных газах обычно преобладает колебат. релаксация. Области частот, в к-рых проявляются колебат. и вращат. релаксации, обычно чётко разделяются, т. к. времена релаксации для этих двух процессов различаются на неск. порядков. Наличие примесей др. газов влияет на время релаксации. Напр., в воздухе осн. вклад в поглощение звука даёт колебат. релаксация молекул  $O_2$  и  $N_2$ , причём частота релаксации для  $O_2$  выше, чем для  $N_2$ . Примеси паров воды и изменение темп-ры воздуха существенно влияют на положение релаксац. максимума. В двухатомных газах значения  $\tau$  обычно очень велики и область релаксации лежит в звуковом диапазоне частот. Для более сложных газов частота  $\omega_p$  выше (порядка  $10^5$ – $10^7$  Гц при давлении 1 атм).

В жидкостях времена релаксации значительно меньше, чем в газах, т. к. все процессы перестройки жидкостей совершаются быстрее. Поэтому в большинстве жидкостей частота  $P$  а. лежит в области гиперзвука.

В твёрдых диэлектриках при отклонении системы фононов от равновесия время релаксации связано с временем жизни фононов  $\tau_p = 3\kappa/Cs^2$ , где  $\kappa$  — коэф. теплопроводности,  $C$  — теплоёмкость решётки,  $s$  — ср. значение скорости звука,  $\tau_p \sim 1/T$  при темп-ре  $T$  порядка и выше дебаевской. При распространении звука в пьезополупроводниках частота релаксации  $\omega_p$  растёт с ростом проводимости кристалла и уменьшается с ростом темп-ры и подвижности носителей тока, а величина дисперсии скорости звука определяется коэф. элетротромеханич. связи. Дислокац. поглощение звука в монокристаллах также имеет релаксац. характер, причём время релаксации зависит от длины колеблющегося отрезка дислокации, вектора Бюргера и постоянных решётки. Релаксац. процессы имеют место также в полимерах, резинах и разл. вязкоупругих средах, в этих веществах наблюдается значит. дисперсия скорости звука, связанная с релаксацией механизма высокой эластичности.

Лит.: Мандельштам Л. И., Леонтович М. А., К теории поглощения звука в жидкостях, «ЖЭТФ», 1937, т. 7, в. 3, с. 438; Михайлов И. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964; Физическая акустика, под ред. У. Мэсона, пер. с англ., т. 2, ч. А и Б, М., 1968–69; Herzfeld K. F., Litovitz T. A., Absorption and dispersion of ultrasonic waves, N. Y. — L., 1959.

**РЕЛАКСАЦИЯ КОМПОНЕНТ ПЛАЗМЫ** — процесс изменения функций распределения заряж. частиц в плазме за счёт столкновений при стремлении их к равновесию термодинамическому, приводящий к установлению максвелловского распределения.

В простой полностью ионизованной плазме, состоящей из электронов и ионов одного сорта, времена обмена импульсом и энергией при кулоновских столкновениях частиц одного знака между собой и с др. частицами существенно различны. Времена обмена импульсом и энергией при столкновениях одинаковых частиц есть величины одного порядка и даются выражением:

$$\tau_{jj} = 3m_j^{1/2} T_j^{3/2} / 4\sqrt{2\pi} \Lambda e^4 n_j Z_j^4,$$

где  $\Lambda$  — кулоновский логарифм,  $Z_j$  — зарядовое число,  $n_j$  — концентрация,  $T_j$  — темп-ра. При этом для сравнимых темп-р  $T_e \sim T_i$  релаксация импульса и энергии электронов происходит значительно быстрее:  $\tau_{ee} \sim \tau_{ii} (m_e/m_i)^{1/2}$ . Передача импульса при столкновениях электронов с ионами характеризуется временем  $\tau_{ei}^p \sim \tau_{ei}$ , а обмен энергиями происходит за значительно большее время  $\tau_{ei}^e \sim \tau_{ei}^p m_i/m_e$ . Поэтому часто встреча-

ется ситуация, когда распределения электронов и ионов близки к максвелловским, но  $T_e \neq T_i$ , т. е. плазма двухтемпературная (частичное равновесие).

В слабоионизованной плазме время релаксации импульса электронов при столкновениях с атомами  $\tau_{ea}^p \sim \nu_{ea}^{-1}$ , где  $\nu_{ea}$  — частота столкновений, а время релаксации энергии при упругих столкновениях  $\tau_{ea}^e = m_i/2m_e \nu_{ia}$ . Неупругие столкновения могут приводить к гораздо более быстрой релаксации распределения электронов в нек-рых областях энергии. Так, напр., в газовых разрядах электроны с энергией, превышающей первый потенциал возбуждения, релаксируют по энергии быстрее, чем тепловые, для к-рых характерное время есть  $\tau_{ea}^e$ .

Релаксация пучка пробных частиц в полностью ионизованной плазме описывается Фоккер-Планка уравнением. При этом происходит как торможение пучка за счёт динамич. трения, так и размытие пучка по скоростям — диффузия в пространстве скоростей. Для быстрых частиц время релаксации определяется их энергией, поэтому хвосты ф-ций распределения релаксируют значительно медленнее, чем тепловые частицы. Торможение и рассеяние пучка быстрых электронов с энергией  $\epsilon$  происходит как на ионах, так и на электронах практически с одним и тем же характерным временем

$$\tau_{ej} = m_e^{1/2} \epsilon^{3/2} / \pi \sqrt{2} \Lambda n_j Z_j^4 e^4.$$

Ионы же с очень большой энергией  $\epsilon > (m_i/m_e) T_i$  тормозятся на электронах с характерным временем  $\tau_{ie}^e = (m_e/m_i)^{1/2} \tau_{ei}$ , почти не рассеиваясь. В обратном случае релаксация пучка ионов по энергии и по импульсу происходит за счёт ион-ионных столкновений со временем

$$\tau_{ii} = m_i^{1/2} \epsilon^{3/2} / \pi \sqrt{2} \Lambda n_i Z_i^4 e^4.$$

В плазме с редкими столкновениями релаксация пучка может происходить гораздо быстрее, чем столкновительная, за счёт генерации волн в результате равновесия пучковой неустойчивости и последующего торможения и рассеяния частиц на возникающих при этом волнах.

Лит.: Трубников Б. А., Столкновения частиц в полностью ионизованной плазме, в сб.: Вопросы теории плазмы, в. 1, М., 1963; Хинтон Ф., Явления переноса в столкновительной плазме, пер. с англ., в кн.: Основы физики плазмы, т. 1, М., 1983.

**РЕЛАКСАЦИЯ МАГНИТНАЯ** — процесс установления термодинамич. равновесия в системе магн. моментов вещества. Как правило, Р. м. — сложный, многоступенчатый процесс; его характеризуют разл. временами релаксации (см. также Релаксация).

Магн. свойства веществ (за исключением диамагнетиков) обусловлены микроскопич. магн. моментами, к-рые обычно связаны со спином электронов и ядер и образуют т. н. магн., или спиновую, систему (СС). Энергия СС складывается из её взаимодействия с внеш. магн. полем  $H$  (зеемановская энергия, см. Зеемана эффект), внутрикристаллическим полем и между самими микроскопич. моментами (энергия спин-спинового взаимодействия). Р. м., при к-рой полная энергия СС не меняется, а лишь перераспределяется между степенями свободы магн. моментов, наз. спиновой. Р. м., изменяющая полную энергию СС, наз. спиновой релаксацией. Она устанавливает равновесие между СС и термостатом («решёткой»); последний термин часто не ограничивают случаем решётки кристалла, а имеют в виду все степени свободы, кроме ориентации спинов (тепловое движение молекул жидкости, электронов проводимости в металле и пр.).

**Парамагнетик.** Равновесному состоянию парамагнетика, находящегося при т-ре  $T$  во внеш. магн. поле  $H$ ,