

источников спонтанного некогерентного О. и. были продемонстрированы в 1977—78 на синхротронах в Физ. ин-те АН СССР и Томском политехн. ин-те. В 1958—59 Р. Твиссом (R. Twiss), Модем, Р. Пантеллом (R. Pantell), Шнайдером (J. Schneider) и А. В. Гапоновым-Греховым начали обсуждаться физ. процессы в источниках индуцир. О. и. Первые такие источники были созданы и исследованы на длине волны $\lambda \approx 10$ см (1960, Р. М. Филлипс (Phillips)). В 1977 Дж. Мейди (Madey) с сотрудниками продемонстрировал работу таких источников в ИК-диапазоне на Стаanfordском линейном ускорителе электронов.

Лит.: Синхротронное излучение и его применения, 2 изд., М., 1985; Бессонов Е. Г., К теории параметрических лазеров на свободных электронах, «Квантовая электроника», 1986, т. 13, № 8, с. 1617; его же, О пространственно-временной когерентности ондуляторного излучения, «ЖТФ», 1988, т. 58, в. 3, с. 498 (библи.); Генераторы и усилители на релятивистских электронных потоках. Сб. ст., под ред. В. М. Лопухина, М., 1987; Алексеев В. И. (и др.), Параметрический лазер на свободных электронах на основе микротрона, «ДАН СССР», 1989, т. 306, № 3, с. 580; Бессонов Е. Г., Виноградов А. В., Ондуляторные и лазерные источники мягкого рентгеновского излучения, «УФН», 1989, т. 159, с. 143; Ондуляторное излучение, Лазеры на свободных электронах, «Труды ФИАН», 1991, т. 214. Е. Г. Бессонов.

ОНСАГЕРА ГИПОТЕЗА — состоит в том, что временная эволюция флуктуации данной физ. величины в равновесной термодинамич. системе происходит в среднем по тому же закону, что и макроскопич. изменение соответствующей переменной. Высказана Л. Онсагером (L. Onsager) в 1931 и послужила ему основой для разработки термодинамики неравновесных процессов. Вывод Онсагера теоремы о симметрии кинетич. коэффициентов опирается на эту гипотезу и симметрию ур-ний движения частиц относительно обращения времени.

Напр., если в системе, находящейся в состоянии термодинамич. равновесия, произошла локализованная в пространстве флуктуация темп-ры, то, согласно О. г., в среднем она будет затухать со временем, следуя ур-нию теплопроводности. Аналогично флуктуация гидродинамич. скорости будет затухать по ур-нию Навье — Стокса.

Лит.: Термодинамика необратимых процессов. Лекции в лекц. междунар. школе физики им. Э. Ферми, пер. с англ., М., 1962; Гроот С. де, Маазур П., Неравновесная термодинамика, пер. с англ., М., 1964; Onsager L., Reciprocal relations in irreversible processes, pt 1—2, «Phys. Rev.», 1931, v. 37, p. 405, v. 38, p. 2265. Д. Н. Зубарев.

ОНСАГЕРА ТЕОРЕМА (принцип Онсагера) — одна из осн. теорем термодинамики неравновесных процессов, устанавливающая свойства симметрии кинетических коэффициентов. Доказана Л. Онсагером в 1931. Кинетич. коэф. L_{ik} определяют как коэф. в линейных соотношениях между термодинамич. силами X_k и потоками J_i : $J_i = \sum_k L_{ik} X_k$, причём скорость изменения энтропии (производство энтропии) равна $\sigma = \sum_i J_i X_i$.

Согласно О. т., $L_{ik} = L_{ki}$ в отсутствие магн. поля и вращения системы как целого. Если на систему действует внеш. магн. поле H или она вращается с угл. скоростью ω , то

$$L_{ik}(H, \omega) = L_{ki}(-H, -\omega), \quad L_{ik}(\omega) = L_{ki}(-\omega).$$

Эти соотношения симметрии наз. соотношениями взаимности Онсагера.

О. т. устанавливает связь между кинетич. коэф. при перекрёстных эффектах, описывающих влияние термодинамич. силы X_k на поток J_i и термодинамич. силы X_i на поток J_k при $i \neq k$, напр. связь между коэф. термодиффузии и коэф. Дюфура эффекта — явления, обратного термодиффузии.

О. т. является следствием микроскопич. обратимости ур-ний механики, т. е. инвариантности ур-ний движения относительно обращения времени (замены $t \rightarrow -t$). Инвариантность относительно обращения времени означает, что при изменении направлений скоростей v всех частиц на обратные (и одновременно, изменении направлений H и ω) частицы будут двигаться в обратном

направлении по своим прежним траекториям. Изменение направлений H и ω необходимо потому, что иначе при замене $v \rightarrow -v$ сила Лоренца и сила Кориолиса, пропорциональные $[vH]$ и $[v\omega]$, изменили бы свои направления на обратные.

Онсагер рассмотрел также общий случай, когда отклонение системы от термодинамич. равновесия определяется параметрами α_i и β_i , симметричными и антисимметричными относительно обращения времени. Термодинамич. силы равны $X_i = \partial \Delta S / \partial \alpha_i$, $Y_i = \partial \Delta S / \partial \beta_i$, где ΔS — отклонение энтропии от её равновесного значения; потоки равны $J_i = d\alpha_i/dt$, $I_i = d\beta_i/dt$. При малом отклонении системы от термодинамич. равновесия имеют место линейные феноменологич. соотношения между X_i , Y_i и J_k , I_k :

$$d\alpha_i/dt = \sum_k L_{ik}^{\alpha\alpha} X_k + \sum_k L_{ik}^{\alpha\beta} Y_k \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

$$d\beta_i/dt = \sum_k L_{ik}^{\beta\alpha} X_k + \sum_k L_{ik}^{\beta\beta} Y_k \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

В этом случае соотношения Онсагера принимают вид

$$L_{ik}^{\alpha\alpha}(H, \omega) = L_{ki}^{\alpha\alpha}(-H, -\omega), \quad L_{ik}^{\alpha\beta}(H, \omega) = L_{ki}^{\beta\alpha}(-H, -\omega),$$

$$L_{ik}^{\beta\beta}(H, \omega) = -L_{ki}^{\beta\beta}(-H, -\omega),$$

а скорость изменения энтропии описывается билинейным выражением относительно потоков и термодинамич. сил, входящих в феноменологич. соотношения:

$$d\Delta S/dt = \sum_i J_i X_i + \sum_i I_i Y_i.$$

Доказательство О. т. основано на термодинамич. теории флуктуаций с использованием гипотезы о характере их затухания и свойства микроскопич. обратимости. О. т. справедлива также для векторных и тензорных потоков, причём для тензорных кинетич. коэф. соотношения Онсагера таковы: $L^{\alpha\alpha}(H, \omega) = \tilde{L}^{\alpha\alpha}(-H, -\omega)$, где \tilde{L} — матрица, транспонированная к L . При линейном преобразовании потоков и термодинамич. сил соотношения Онсагера для новых кинетич. коэф. сохраняются, если преобразование оставляет неизменным производство энтропии.

В статистич. теории необратимых процессов получают выражения для кинетич. коэф. в виде временных корреляц. ф-ций потоков (см. Грина—Кубо формулы), из к-рых с учётом микроскопич. обратимости непосредственно следуют соотношения взаимности Онсагера.

Лит. см. при ст. Термодинамика неравновесных процессов, Онсагера гипотеза. Д. Н. Зубарев.

ОПАЛЕСЦЕНЦИЯ КРИТИЧЕСКАЯ — резкое усиление рассеяния света чистыми веществами в критических состояниях, а также растворами жидкостей или газами при достижении ими критических точек. О. к. объяснена в 1907 М. Смолюховским (M. Smoluchowski), показавшим, что при критич. темп-ре сжимаемость вещества сильно возрастает, в связи с чем энергия теплового движения его частиц становится достаточной для «внезапного» сильного увеличения числа микроскопич. флуктуаций плотности. В результате этого среда, практически прозрачная при темп-рах выше и ниже критической, в критич. состоянии становится мутной средой. **ОПЕРАТОР** в математике, см. Линейный оператор.

ОПЕРАТОРНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ — представление произведений неск. локальных операторов, определённых в разл. точках пространства-времени, в виде суммы отд. локальных операторов.

В квантовой теории поля (КТП) из-за сингулярного поведения Грина функций на малых расстояниях возникает трудность при построении локальных составных операторов из произведений гейзенберговских полей (см. Гейзенберга представление) $\phi_i(x)$ (x — точка