

мод существенно, если характерное время изменения параметров системы меньше или порядка периода биевой $2\pi/|\Omega_l - \Omega_m|$ между к.-л. двумя модами l и m . Если ф-ции $\omega_l(t)$ и $\alpha_{lj}(t)$ достаточно гладкие, то моды остаются независимыми; изменение их амплитуд (в отсутствие диссипации энергии мод W_l) происходит в соответствии с законом сохранения *адиабатических инвариантов* $I_l = W_l/\Omega_l$. Поэтому говорят также о неадиабатич. переходе между модами (см. также *Пересечение уровней*). Линеиное взаимодействие колебаний возникает при столкновении молекул, в связанных радиотехн. контурах, СВЧ- или акустич. резонаторах и др. нестационарных колебат. системах.

Аналогично, если свойства стационарной сплошной среды или *волновода* меняются вдоль направления распространения волн (ось z), то возникает линеиное взаимодействие монохроматич. нормальных волн с показателями преломления $n_l(\omega, z)$ (и одинаковой частотой ω). Исходная система ур-ний для вектора e , образованного N комплексными компонентами $x_\beta(z)$

рассматриваемого волнового поля, имеет вид $e' = -i\hat{T}e$. Здесь опущен множитель $\exp(i\omega t)$, штрих обозначает дифференцирование по безразмерной координате $\zeta = k_0 z$, где $k_0 = \omega/c$, $c = \text{const}$ — характерная фазовая скорость волн. В каждой точке ζ с помощью ур-ния $\hat{T}e_l = -n_l e_l$ определяют полную систему собств. векторов e_l и их собств. значения n_l , $l=1, \dots, N$; $(e_l e_l^*) = 1$.

Замена $e = \sum_{l=1}^N f_l e_l$, где $e_l = \Phi_l e_l$, приводит к ур-ниям Л. в. в.

$$f_l' + i n_l f_l = \sum_{m=1}^N a_{lm} f_m; \quad a_{lm} = -(\mathcal{E}_m \tilde{\mathcal{E}}_l^*)$$

Здесь $(\mathcal{E}_m \tilde{\mathcal{E}}_l^*) = \delta_{lm}$, * — означает комплексное сопряжение, а вид множителей $\Phi_l(\zeta)$ определен условием $a_{ll} = 0$; $\tilde{\mathcal{E}}_l$ — взаимная к \mathcal{E}_l система векторов.

В приближении геом. оптики $a_{lm} = 0$ и $e = \sum_{l=1}^N \mathcal{E}_l f_l \times \exp(-i \int_0^\zeta n_l(\zeta) d\zeta)$ с постоянными f_{l0} (см. *Геометрической оптики метод*).

Л. в. в. отвечает нарушению этого приближения, возникающему вследствие неоднородности собств. векторов поляризации волн $\mathcal{E}_l(\zeta)$ вдоль направления распространения, когда $a_{lm} \neq 0$, а значения f_{l0} нельзя считать постоянными. В прозрачной среде при $n_l^2 > 0$ Л. в. в. характеризуется перераспределением их потоков энергии, равных $|f_l|^2$. Возможна взаимная трансформация как встречных волн (прямой и отражённой), так и попутных волн (распространяющихся в одном направлении). Как и в случае нестационарных связанных колебаний, Л. в. в. несущественно, если характерный масштаб изменения ф-ции $\mathcal{E}_l(\zeta)$ велик по сравнению с пространственным периодом биевой волн $2\pi/k_0 |n_l - n_m|$. Поэтому в плавно неоднородной среде Л. в. в. происходит только в области сближения показателей преломления n_l и n_m (для попутных волн) либо в области малых значений показателей преломления (для встречных волн). В слабо неоднородной среде эффективное Л. в. в. возможно при наличии периодич. модуляции её свойств вдоль направления распространения. Оно возникает вследствие пространственного *параметрического резонанса* к.-л. двух волн при условии, что период модуляции примерно кратен периоду биевой между ними. Это отвечает *Брэгга — Вульфа условию* в случае трансформации двух встречных волн одного типа, когда $n_m = -n_l$.

Л. в. в. определяет спектр и поляризацию отражённого и проходящего излучения. Поэтому измерение

параметров излучения позволяет судить о локальной неоднородности среды в области Л. в. в., а изменение неоднородности позволяет управлять свойствами излучения. Эти возможности используют, напр., в физике плазмы (лабораторной и космической), физике лазеров, акустоэлектронике и акустооптике, оптике жидких кристаллов, магнитооптике, волоконной оптике, в волноводах и др. линиях передачи.

При распространении через неоднородный слой нестационарной среды возможно Л. в. в. на резных частотах. В частном случае слабого периодич. возмущения свойств среды наиб. благоприятные условия Л. в. в. отвечают параметрич. взаимодействию тех волн, для к-рых невозмущённые частоты $\omega_{1,2}$ и волновые векторы $k_{1,2}$ связаны с частотой ω_3 и волновым вектором k_3 возмущений в слое условиями волнового синхронизма: $\omega_1 \pm \omega_2 = \pm \omega_3$, $k_1 \pm k_2 = \pm k_3$. Если дисперсия волн отсутствует, то Л. в. в. в пространстве сводится к линеиному взаимодействию колебаний (в системе отсчёта, движущейся вместе с неоднородностями среды).

Лит.: Заславский Г. М., Мейтлис В. П., Флюккенко Н. Н., Взаимодействие волн в неоднородных средах, Новосиб., 1982; Железняков В. В., Кочаровский В. В., Кочаровский В. В., Линеиное взаимодействие электромагнитных волн в неоднородных слабоанізотропных средах, «УФН», 1983, т. 141, с. 257.

В. В. Кочаровский, В. В. Кочаровский.

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ — системы, процессы в к-рых удовлетворяют *суперпозиции принципу* и описываются линеиными ур-ниями. Л. с. обычно является идеализацией реальной системы. Упрощения могут относиться как к параметрам, характеризующим систему, так и к процессам (движениям) в ней. Напр., в случае заряд. частицы в потенциальной яме система линеина, когда яма параболическая, а движение нерелятивистское, т. е. когда масса частицы не зависит от её скорости. К Л. с. относятся все виды сплошных сред (газ, жидкость, твёрдое тело, плазма) при распространении в них волновых возмущений малой амплитуды, когда параметры, характеризующие эти среды (плотность, упругость, проводимость, диэлектрич. и магн. проницаемости и т. д.), можно считать постоянными, в том или ином приближении не зависящими от интенсивности волн. Упрощение системы, приводящее её к Л. с., называется *линеаризацией*.

Л. с., в к-рой происходят колебания в малых окрестностях около состояния равновесия, часто наз. колебательной Л. с. (маятник в поле сил тяжести при небольших амплитудах раскачки; пружины при малых растяжениях, в пределах справедливости закона Гука; электрич. колебат. контуры и цепи, самоиндукция, ёмкости, сопротивления к-рых не зависят от протекающих по ним токов или от приложенных к ним напряжений). К Л. с. относятся также соответствующие параметрич. системы, параметры к-рых изменяются по заданному извне закону (см. *Параметрические колебательные системы*).

Л. с. подразделяются на консервативные, сохраняющие свою энергию, и неконсервативные, получающие или отдающие энергию. Собств. движения в консервативных колебат. Л. с., как с сосредоточенными, так и с распределёнными параметрами, можно представить в виде суперпозиции *нормальных колебаний*; в неконсервативных, неавтономных колебат. Л. с., строго говоря, это невозможно.

Становление большинства разделов физики фактически началось с исследования Л. с. Различные по своей природе Л. с. часто описываются идентичными дифференциальными, дифференциально-разностными или интегро-дифференц. ур-ниями, что позволяет изучать общие свойства Л. с., в частности общую теорию колебаний и волн в Л. с., а также проводить взаимное моделирование (в т. ч. и на ЭВМ). Изучение многих реальных систем в линеаризов. приближении позво-