

( $C = 0$ ) и проекции аттрактора на парциальные подпространства в режиме стохастич. синхронизации ( $C = 10$ ) для системы, описываемой уравнениями вида:

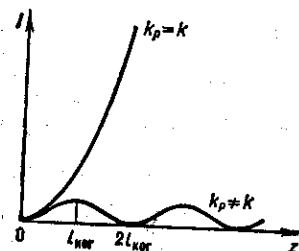
$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + k_1 \dot{x}_1 + (1 + q \cos \Omega t) x_1 + x_1^3 &= C(\dot{x}_2 - \dot{x}_1), \\ \ddot{x}_2 + k_2 \dot{x}_2 + (1 + q \cos \Omega t) x_2 + x_2^3 &= C(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \end{aligned} \quad (6)$$

(напр.,  $\Omega = 2$ ,  $k_1 = 0,48$ ,  $k_2 = 0,45$  для двух связанных параметрически возбуждаемых генераторов [10]).

Степень стохастич. синхронизации может быть различной; в частности, в нек-рых ситуациях, когда взаимодействуют идентичные подсистемы, совпадение парциальных колебаний может быть полным.

Лит.: 1) Блехман И. И., Синхронизация в природе и технике, М., 1981; 2) Андронов А. А., Витт А. А., К математической теории захватывания, в кн.: Андронов А. А., Собр. трудов, М., 1956; 3) Блэкбер О., Анализ нелинейных систем, пер. с англ., М., 1969; 4) Рабинович М. И., Трубецков Д. И., Введение в теорию колебаний и волн, М., 1984; 5) Aizawa Y., Synergetic approach to the phenomena of mode-locking in nonlinear systems, «Progr. Theor. Phys.», 1976, v. 56, № 3, p. 703; 6) Рабинович М. И., Стохастические автоколебания и турбулентность, «УФН», 1978, т. 125, с. 123; 7) Квантовая радиофизика, 2 изд., т. 2 — Ханин Н. И., Динамика квантовых генераторов, М., 1975; 8) Арнольд В. И., Малые знаменатели: 1. Об отображениях окрестности на себя, «Изв. АН СССР. Сер. мат.», 1961, т. 25, с. 21; 9) Thompson J. M., Stewart H. B., Nonlinear dynamics and chaos, N. Y. — [a. o.], 1986; 10) Абраймович В. С., Веричев Н. Н., Рабинович М. И., Стохастическая синхронизация колебаний в диссипативных системах, «Изв. вузов. Радиофизика», 1986, т. 29, № 9, с. 1050.

**СИНХРОНИЗМ** (от греч. *synchronismos* — одноуровненность) — условие эфф. обмена энергией при взаимодействии волн, заключающееся в сохранении определенных фазовых соотношений между волнами на протяжении всей области взаимодействия.



В условиях С. интенсивности взаимодействующих волн меняются в первом приближении пропорционально квадрату длины области взаимодействия  $z^2$  (рис.).

При нарушении С. интенсивности волн осциллируют вдоль оси  $z$  с пространственным периодом  $2l_{\text{ког}}$ , достигая макс. изменения на длине  $l_{\text{ког}}$ , называемой длиной когерентного взаимодействия. Макс. изменение интенсивностей волн пропорционально  $l_{\text{ког}}^2$  и при сильном нарушении С. очень мало.

Термин «С.» получил широкое распространение при описании взаимодействия эл.-магн. волн. Для плоских эл.-магн. волн частоты  $\omega$ , распространяющихся в нелинейной среде вдоль оси  $z$ , в приближении медленно меняющихся амплитуд интенсивность волны (см. *Нелинейная оптика*)

$$I \propto |A|^2 \propto z^2 \text{sinc}^2 \left( \frac{k_p - k}{2} z \right), \quad (1)$$

где  $k$ ,  $k_p$  — волновые векторы собственной эл.-магн. волны и волны нелинейной поляризации,  $\text{sinc}(x) = \sin x/x$ . При этом  $2l_{\text{ког}} = 2\pi/|k_p - k|$ . Поскольку  $k = \omega/v_{\text{ф}}$  и  $k_p = \omega/v_{\text{фр}}$ , где  $v_{\text{ф}}$ ,  $v_{\text{фр}}$  — фазовые скорости эл.-магн. волны и волны нелинейной поляризации соответственно, то условие С. можно записать как  $v_{\text{ф}} = v_{\text{фр}}$ . Т. о., условие С. заключается в равенстве фазовых скоростей собственной эл.-магн. волны и волны нелинейной поляризации среды на частоте  $\omega$ .

Волна нелинейной поляризации на частоте  $\omega$  возникает, напр., при распространении в среде эл.-магн. волн с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , причём  $\omega_1 + \omega_2 = \omega$ , и волновыми векторами  $k_1$  и  $k_2$ . Условие С. в этом случае

принимает вид  $k_1 + k_2 = k$  или, в общем случае,  $k_1 + k_2 = k$ . Этот процесс наз. генерацией суммарной частоты, частным случаем к-рого является генерация второй гармоники (при  $\omega_1 = \omega_2$ ). Условие С. можно трактовать как сохранение суммарного импульса взаимодействующих волн:  $\hbar k_1 + \hbar k_2 = \hbar k$ . При нарушении условия С. импульс волн частично передается среде, в к-рой они распространяются.

В СВЧ-приборах, напр. *лампе бегущей волны* (ЛБВ), вместо волны поляризации следует рассматривать волну конвекционных токов, фазовая скорость к-рой совпадает со скоростью потока электронов. В этом случае условие С. заключается в совпадении фазовой скорости эл.-магн. волны со скоростью электронного потока. Это рассмотрение соответствует приближению, не учитывающему обратного влияния эл.-магн. волны на поток электронов (в нелинейной оптике подобный подход най. приближением заданного поля). При учёте этого влияния наиб. усиление эл.-магн. волны в ЛБВ достигается при нек-ром превышении начальной скорости электронов над фазовой скоростью эл.-магн. волны.

При акустоопт. взаимодействиях (см. *Акустооптика*, *Дифракция света на ультразвуке*) условие С.:  $k \pm K = k'$ , где  $k$ ,  $k'$  и  $K$  — волновые векторы падающей, дифрагированной (рассеянной) и акустич. волн соответственно, называют *Брэгга — Вульфа условием*.

Для выполнения условия С. в общем случае приходится принимать спец. меры, напр. использовать замедляющие системы в СВЧ-приборах, или двулучепреломляющие кристаллы в нелинейной оптике, подбирать частоту акустич. волны в акустоопт. устройствах.

Спектральная ширина С. определяется как ширина частотного интервала  $\Delta\omega_c$ , в пределах к-рого фазовое рассогласование взаимодействующих волн в области взаимодействия не превышает

$$\Delta\omega_c \approx \frac{2\pi}{l \partial k_p / \partial \omega - \partial k / \partial \omega l},$$

где  $l$  — длина области взаимодействия. Поскольку  $\partial k / \partial \omega \approx v_{\text{гр}}^{-1}$ , где  $v_{\text{гр}}$  — групповая скорость, то спектральная ширина С. велика в случае равенства групповых скоростей взаимодействующих волн. Это условие т. н. *группового синхронизма* (в отличие от группового С., условие  $k_p = k$  называют фазовым или волновым С.). При выполнении условия группового С. ограниченные в пространстве волновые пакеты распространяются с одинаковой групповой скоростью и их эффективное взаимодействие происходит на большой длине даже при малой длине волновых пакетов (т. е. при широком спектре). Так, в ЛБВ с однородной замедляющей системой дисперсия эл.-магн. волн очень мала и групповые скорости взаимодействующих волн практически совпадают, что обуславливает широкую полосу усиления ЛБВ (октава и выше). В *лампе обратной волны* (ЛОВ), напротив, групповая скорость эл.-магн. волны и скорость потока электронов противоположны, поэтому усилители на ЛОВ не могут быть широкополосными и ЛОВ часто используется как узкополосный перестраиваемый регенеративный усилитель.

В нелинейной оптике из-за сильной дисперсии групповой скорости С. наблюдается только в отд. случаях. В акустике, напротив, из-за малой дисперсии условия фазового и группового С. выполняются одновременно для большого числа спектральных компонент, что приводит к накоплению нелинейных эффектов на больших длинах и образованию *ударных волн*.

При взаимодействии волновых пучков, ограниченных в поперечном сечении, условие группового С. принимает более общий вид, а именно — как равенство векторов групповых скоростей взаимодействующих волн. При отличии направления векторов групповых скоростей ограниченные в пространстве волновые пучки испытывают боковой снос относительно друг друга,