

турбулентности, определения толщины слоя ила, поиска предметов в морском грунте, а также в *атмосферной акустике* для зондирования атмосферы, в частности для контроля степени турбулентности на взлётных трассах аэропортов. Частота накачки в таких излучателях составляет 25—50 кГц, частота излучения 0,5—15 кГц, ширина диаграммы направленности — неск. градусов, мощность накачки 10^2 — 10^3 кВт, амплитуда сигнала $\sim 10^2$ Па·м, размер излучателя $\sim 10^2$ см. Параметрич. излучатели применяются также в рыбопоисковой аппаратуре, эхолотах и др., где характеристики их излучения и размеры определяются исходя из поставленной задачи.

Лит.: Наугольных К. А., Островский Л. А., Сутин А. М., *Параметрические излучатели звука*, в кн.: *Нелинейная акустика*, Горький, 1980; Новиков Б. К., Руденко О. В., Тимошенко В. И., *Нелинейная гидроакустика*, Л., 1981; Наугольных К. А., Островский Л. А., *О нелинейных эффектах в акустике океана*, в кн.: *Акустика океана*, М., 1982. К. А. Наугольных.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ — колебательные и волновые системы с меняющимися во времени «энергетическими» параметрами, изменение к-рых связано с совершаемой работой. Таковы длина маятника, натяжение струны, ёмкость или индуктивность электрич. контура и др. В П. к. с. меняются энергия колебаний (волн), а также собств. частота колебат. системы или скорость распространения волн.

Различают резонансные и нерезонансные П. к. с. В резонансных — параметры меняются периодически, с периодом, находящимся в определённом целочисленном соотношении с периодом собств. колебаний или волн в системе. Это может приводить к эффектам раскачки поля из-за накапливающейся передачи энергии системе в такт с её колебаниями (см. *Параметрический резонанс*). Это явление используется для усиления и генерации колебаний и волн (см. *Параметрическая генерация и усиление электромагнитных колебаний, Параметрический генератор света*).

К нерезонансным П. к. с. относятся, напр., системы с медленно (по сравнению с характерным периодом колебаний или волн) меняющимися параметрами. При этом в недиссипативных (лагранжевых) системах сохраняются т. н. *адиабатические инварианты*; к ним относятся, в частности, отношение энергии колебаний в осцилляторе или полной энергии волновой группы (пакета) к частоте, имеющее смысл числа квантов (квантизации).

К нерезонансным П. к. с. можно отнести также системы с резким, скачкообразным изменением параметров, напр. среды с движущимися границами, в к-рых при отражении и преломлении происходит изменение частоты (в соответствии с *Доплера эффектом*) и энергии волн. Однако, если скачки параметра периодически повторяются, в системе возможны эффекты параметрич. резонанса.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ — неустойчивости колебат. систем и нелинейной волновой среды, возникающие в результате пространственно-временной модуляции параметров, характеризующих собств. колебания системы или среды. В случае нелинейной волновой среды модуляция совершается волнами конечной амплитуды — волнами накачки. П. н. обычно имеют пороги по амплитудам волн накачки ϵ . Если ϵ превышает определённое пороговое значение, то собств. мода начинает расти с теплового уровня, поглощая энергию волн накачки. При пространственно-временном резонансе возникает т. н. *распадная* П. н. даже при небольших амплитудах волн накачки, но больше пороговой. При больших амплитудах накачки может возникнуть нерезонансная мода в случае, когда одна из волн, образующихся при распаде, не существует в среде в отсутствие накачки. Примером типичной нерезонансной П. н. является модуляция *ионная неустойчивость*. Другим примером может служить ситуация, когда одна из волн,

возникающих в результате распада, сильно затухает, а вторая волна не затухает. К П. н. относят и неустойчивость модифициров. распада — аperiodич. неустойчивость, возникающую также при больших амплитудах ϵ и определённом соотношении волновых векторов k и k_0 , и *варьную неустойчивость волн*, возникающую в средах, где имеются волны с отрицат. энергией. Важную роль в параметрич. процессе в низкотемпературной плазме играет т. н. *тепловая П. н.*

Распадная неустойчивость. В простейшем случае, когда можно пренебречь влиянием волны накачки на собств. частоты среды, условия резонанса имеют вид

$$\omega_0 = \omega_1 + \omega_2; \quad nk_0 = k_1 + k_2; \quad n = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где ω_0, k_0 — частота и волновой вектор волны накачки, а $\omega_1, k_1; \omega_2, k_2$ — соответствующие величины для волн, возбуждаемых при неустойчивости. В случае $n = 1$ имеет место резонанс с основной гармоникой волны накачки; при $n = 2, 3, \dots$ — резонанс с кратными гармониками. Неустойчивости, определяемые (1), наз. *распадными* в связи с тем, что соотношения (1) при умножении на h совпадают с условиями сохранения энергии и импульса при распаде квазичастиц-волн (ω_0, k_0 или гармоник) на две волны-квазичастицы ($\omega_1, k_1; \omega_2, k_2$). Первым теоретически предсказанным и детально исследованным в 1962 типом распадной П. н. явилась неустойчивость ленгмюровской волны (распадающейся на ленгмюровскую и ионно-звуковую: $l = l' + s$). Распадная П. н. лежит также в основе вынужденного комбинац. рассеяния (см. *Вынужденное рассеяние света*) и определяет его особенности. К ним относятся экспоненциальное (а не линейное!) нарастание амплитуд не только рассеянной, но и падающей волн. Это является прямым следствием положит. обратной связи рассеянной и падающей волн, распространяющихся на фоне волн накачки. Ур-ния, описывающие такую связь, можно интерпретировать как пространственно-временное обобщение *Хилла уравнений*, в простейшем случае — ур-ния Матьё для параметрич. резонанса осцилляторов. Для волновой среды, такой, как плазма, одномерный (по x) аналог ур-ния Матьё (см. *Матьё функции*) имеет вид

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - v_\phi^2 [1 + \epsilon \cos(\omega_0 t - k_0 x)] \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 0, \quad (2)$$

где φ — величина, описывающая волну (напр., потенциал электрич. поля), v_ϕ — фазовая скорость волны в среде при отсутствии волны накачки, ϵ — амплитуда волны накачки в относит. единицах. Подобно тому как в ур-нии Матьё описывается временная модуляция частоты осциллятора, здесь описывается пространственно-временная модуляция фазовой скорости волны. Чтобы найти условия параметрич. возбуждения пары элементарных волн, удобно перейти к Фурье-компонентам по пространств. переменным:

$$v_k = \int \varphi(x) \exp(ikx) dx.$$

Тогда ур-ние (2) переходит в систему ур-ний для связанных гармонич. осцилляторов:

$$\frac{d^2 v_{k_1}}{dt^2} + \omega^2(k_1) v_{k_1} = -\frac{\epsilon}{2} (k_0 - k_1)^2 v_\phi^* v_{k_0 - k_1} \times \\ \times \exp(-i\omega_0 t) - \frac{\epsilon}{2} (k_0 + k_1)^2 v_\phi^2 v_{k_0 + k_1} \exp(-i\omega_0 t), \quad (3)$$

где осциллятор v_{k_1} связан с осцилляторами $v_{k_0 + k_1}$ и т. д.; при этом правую часть (3) можно рассматривать как зависящую от времени вынуждающую силу. Если амплитуда ϵ мала ($\epsilon \ll 1$), то возникает слабая связь осцилляторов $v_{k_1}, v_{k_0 \pm k_1}$ и т. д., не меняющая существенно частоту осцилляторов, к-рые осциллируют с собств. частотами $\omega = \omega(k)$. Однако если вынуждающая сила попадает в резонанс с собств. частотой осциллятора, то он может возбуждаться. Так, напр.,