

уменьшать l в нижнем и увеличивать в крайних положениях [при этом снова выполняется соотношение (1)], то работа внеш. силы, совершаемая в ср. за период, оказывается положительной и колебания могут раскачиваться. На П. р. основано самораскачивание на качелях, когда эфф. длина маятника периодически изменяется при приседаниях и вставаниях качающегося. П. р. учитывается в небесной механике при расчёте возмущений планетных орбит, вызванных влиянием др. планет.

В колебат. системах с неск. степенями свободы (напр., в системе из двух связанных контуров, маятников и др.) возможны нормальные колебания (моды) с разл. частотами ω_1, ω_2 . Поэтому колебания энергии, запасённой в к.-л. реактивном элементе, содержит не только составляющие с частотами $2\omega_1, 2\omega_2$, но и с частотами, равными суммам и разностям разл. нормальных частот. Соответственно нарастание колебаний здесь возможно как при выполнении условия (1) для любой из нормальных частот, так и, напр., при изменении параметра с суммарной частотой:

$$\omega_H = \omega_1 + \omega_2.$$

П. р. приводит к самовозбуждению обоих нормальных колебаний с определ. соотношением фаз. Резонансная связь мод возможна также при $\omega_H = \omega_1 - \omega_2$, однако при этом вместо самовозбуждения происходит лишь периодич. перекачка энергии между модами. Соотношение (2) выражает закон сохранения энергии при распаде кванта «накачки» с энергией $\hbar\omega$ на два кванта: $\hbar\omega_1$ и $\hbar\omega_2$. Отсюда следует также, что мощность P_H , поступающая в колебат. систему на частоте ω_H , и мощности P_1, P_2 , потребляемые на частотах ω_1 и ω_2 , пропорц. соответствующим частотам (частный случай т. н. соотношений Мэнли — Роу):

$$P_H/\omega_H = P_1/\omega_1 = P_2/\omega_2.$$

В колебат. системах с распределёнными параметрами, обладающих бесконечным числом степеней свободы, также возможно возбуждение нормальных колебаний в результате П. р. Классич. пример — опыт Мельде (1859), в к-ром наблюдалось возбуждение поперечных колебаний (стоячих волн) в струне, прикрепленной одним концом к ножке камертона, колебания к-рого периодически меняют натяжение струны (рис. 4) с частотой, вдвое больше частоты собств. поперечных колебаний. П. р. может приводить к раскачке изгибных колебаний вращающихся валов. Др. пример — опыт Фарадея (1831), в к-ром вертикальные колебания сосуда с водой приводят к возбуждению стоячей поверхностной волны с удвоенным периодом.

Существ. особенность П. р. в волновых системах состоит в том, что его эффективность зависит от соотношения между законом изменения параметров системы в пространстве и пространственной структурой волн. Напр., если накачка, изменяющая параметры среды, представляет собой бегущую волну с частотой ω_H и волновым вектором k_H , то возбуждение пары нормальных волн с частотами ω_1, ω_2 и волновыми векторами k_1, k_2 осуществляется, если выполняются условия П. р. как во времени, так и в пространстве:

$$\omega_H = \omega_1 + \omega_2; \quad k_H = k_1 + k_2. \quad (4)$$

В предельном случае бесконечно большой фазовой скорости волны накачки $V = \omega_H/k_H$ ($k_H \rightarrow 0$ при конечном ω_H) условия (4) дают $k_2 \rightarrow -k_1$, и в простейшем случае $\omega_2 = \omega_1 = \omega_H/2$, т. е. нарастать может стоячая волна на половинной частоте. В другом предельном случае ($\omega_H \rightarrow 0$ при конечном k_H , $V = \omega_H/k_H \rightarrow 0$, $\omega_2 \rightarrow -\omega_1$) равенства (4) сводятся к условию резонансного (брэгговского) отражения от неподвижной периодич. неоднородности среды; здесь полная энергия сигнала остаётся постоянной, а происходит его отражение (непропускание) периодич. структурой.

На квантовом языке условия (4) означают, что при распаде кванта накачки сохраняются как энергия, так и импульс ($\hbar k$). Нарастание амплитуд волн во времени и в пространстве (распадающая неустойчивость) также ограничивается нелинейными эффектами: если значит. часть энергии накачки израсходована на возбуждение этих волн, то возможен обратный процесс — рост энергии накачки за счёт ослабления волн на частотах ω_1, ω_2 ; в среде без потерь такой обмен энергией происходит периодически.

Возможны также многоволновые процессы, когда во взаимодействии участвует большее число волн. Параметрич. и нелинейные резонансные взаимодействия волн характерны, напр., для разл. типов волн в плазме, мощных световых волн (см. *Параметрический генератор света*), волн в электронных пучках и др. волновых процессах.

Лит.: М а н д е л ь с т а м Л. И., Лекции по теории колебаний, М., 1972; Основы теории колебаний, 2 изд., М., 1988; Р а б и н о в и ч М. И., Т р у б е ц к о в Д. И., Введение в теорию колебаний и волн, М., 1984.

Л. А. Островский, Н. С. Степанов.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ — радиоэлектронное устройство, в к-ром усиление сигнала по мощности осуществляется за счёт энергии внеш. источника (т. н. генератора накачки), периодически изменяющего ёмкость или индуктивность нелинейного реактивного элемента электрич. цепи усилителя. П. у. применяют гл. обр. в радиоастрономии, дальней космич. и спутниковой связи и радиолокации как малошумящий усилитель слабых сигналов, поступающих на вход радиоприёмного устройства, преим. в СВЧ-диапазоне. Чаще всего в П. у. в качестве реактивного элемента используют параметрич. полупроводниковый диод (ППД). Кроме того, в СВЧ-диапазоне применяют П. у., работающие на электронно-лучевых лампах, в области низких (звуковых) частот — П. у. с ферромагн. (ферритовым) элементом.

Наиб. распространение получили двухчастотные (или двухконтурные) П. у.: в сантиметровом диапазоне — регенеративные усилители с сохранением частоты (рис., а), на дециметровых волнах — усилители — преобразователи частоты (рис., б) (см. *Параметрическая генерация и усиление электромагнитных колебаний*). В качестве приёмного колебат. контура и колебат. контура, настраиваемого на вспомогательную, или «холостую», частоту (равную чаще всего разности или сумме частот



Рис. 4. Параметрическое возбуждение колебаний струны.

