

упряются. Это упрящие характеризуются *добротностью* $Q = \omega / \Delta\omega$ (ω — резонансная частота, $\Delta\omega$ — ширина резонансной кривой). Добротность определяет отношение запасённой в Р. колебат. энергии W к энергии потерь за один период колебаний, $Q = \omega W / P$ (P — мощность потерь); однако следует иметь в виду, что само понятие запасённой энергии в *диссипативных системах* является до нек-рой степени условным, зависящим от принятой модели (идеализации) Р.

Р. различаются прежде всего физ. характером происходящих в них процессов. Так, существуют механич., акустич., эл.-магн. и др. Р. Напр., одномерным механич. Р. является струна с закреплёнными концами, двумерным — упругая мембрана. В случае акустич. колебаний роль Р. часто выполняют разл. трубы, колбы, сосуды, наполненные газом (воздухом) (см. *Резонатор акустический*). Акустическими Р. могут служить комнаты, залы или их отд. части, что приводит к эффекту *реверберации* (продолжительного эхового звучания на избранных частотах) и нарушает акустич. совершенство помещений. Уникален по своим свойствам (диапазонность, перестраиваемость и т. п.) Р. голосового аппарата человека и животных.

Простейший Р. для эл.-магн. колебаний — *колебательный контур*, состоящий из индуктивности L , ёмкости C , сопротивления R ; его собств. частота $\omega = (LC)^{-1/2}$, а добротность $Q = R^{-1}(L/C)^{1/2}$. Размеры колебат. контура l должны быть малы по сравнению с длиной волны $\lambda = 2\pi c/\omega$ ($l \ll \lambda$). Иначе существенны будут потери на излучение эл.-магн. волн, что ведёт к уменьшению Q . Для снижения таких потерь применяют экранированные Р. в виде замкнутых объёмов с хорошо проводящими стенками. Это — т. н. *объёмные резонаторы*, или эндовибраторы (в отличие от экзовибраторов, поля к-рых сосредоточены вне формирующих поверхностей). Объёмные Р. — колебат. системы с распределёнными параметрами. Их форма может быть произвольной, но для простой экраниров. полости (сферической, цилиндрической и т. п.) ниж. частота собств. колебаний (мод) всегда обратно пропорциональна времени прогнания эл.-магн. волны между стенками $\omega_{\min} \sim c/l$. Объёмные Р. служат в технике СВЧ. В миллиметровом, субмиллиметровом и оптическом диапазонах чаще всего используют *открытые резонаторы*, размер к-рых $l \gg \lambda = 2\pi c/\omega$. Их резонансные моды формируются в результате многократного отражения квазиоптич. пучков эл.-магн. волн от двух или неск. зеркальных поверхностей (см. *Оптический резонатор*, *Квазиоптика*, *Интерферометр Фабри — Перо*). Спектр собств. колебаний открытых Р. значительно разрежен по сравнению со спектром полностью экраниров. систем, т. к. объединённые в пучки группы мод, попадающие мимо зеркал, высвечиваются и, следовательно, относятся к низкодобротным. Открытые Р. играют важную роль в работе *лазеров* и *лазеров*. В рентг. диапазоне обычные зеркала перестают быть хорошими отражателями, поэтому их заменяют периодич. многослойными структурами, обеспечивающими отражение вследствие брэгговского рассеяния (см. *Брэгга — Вульфа условие*).

Лит.: Вайнштейн Л. А., Открытые резонаторы и открытые волноводы, М., 1966; Исакович М. А., Общая акустика, М., 1973; Никольский В. В., Никольская Т. И., Электродинамика и распространение радиоволн, 3 изд., М., 1989; Ананьев Ю. А., Оптические резонаторы и лазерные пучки, М., 1990. М. А. Миллер, А. И. Смирнов.

РЕЗОНАТОР АКУСТИЧЕСКИЙ (резонатор Гельмгольца) — сосуд, сообщающийся с внеш. средой через небольшое отверстие или трубу (горло). Характерная особенность Р. а. в том, что длина волны его собств. НЧ-колебаний значительно больше размеров Р. а. Для Р. а. с горлом собств. частота $f_0 = (c/2\pi l)\sqrt{S/V}$, где c — скорость звука в воздухе, S — площадь поперечного сечения, l — длина трубки, V — объём сосуда. Если Р. а. поместить в гармонич. звуковое поле с частотой f_0 , в нём возникают колебания с амплитудой, во мно-

го раз превышающей амплитуду поля (*резонанс*). В пегармонич. звуковом поле Р. а. реагирует только на колебания с частотой f_0 . Поэтому набор Р. а. с разл. собств. частотами может применяться для анализа звука. При наличии трения в горле Р. а. в нём возникает сильное поглощение звука на частоте f_0 , что используется для создания т. н. резонансных звукопоглотителей в архитектурной акустике. Р. а., помещённые на стенках звукопроводов, служат как элементы резонансных отражателей для уменьшения передачи НЧ-шума по звукопроводам. Пузыри в жидкости и воздушной полости в нек-рых др. средах (напр., резине) также являются Р. а., поэтому наличие большого числа пузырей в воде вызывает сильное поглощение звука, что препятствует распространению звуковых волн.

Теория Р. а. разработана Г. Гельмгольцем (G. Helmholtz) (1860) и Дж. Рэлеем (J. Rayleigh) (1877—78).

РЕЗОНАТОР АНИЗОТРОПНЫЙ — *оптический резонатор*, содержащий анизотропные оптич. элементы. Исследование поляризац. свойств Р. а. проводится обычно *Джонса матричным методом*. В соответствии с этим методом для нахождения вектора Джонса

$$E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix},$$

характеризующего состояние поляризации *моды* резонатора в фиксированном поперечном сечении резонатора, необходимо найти матрицу Джонса M обхода резонатора с началом в данном сечении и потребовать, чтобы вектор Джонса после обхода резонатора $M \cdot E$ с точностью до постоянного множителя κ совпадал с исходным вектором:

$$M \cdot E = \kappa E. \quad (1)$$

Если матрица Джонса, описывающая поляризац. свойства всей совокупности оптич. элементов, образующих резонатор, имеет вид

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix},$$

то при

$$\kappa = \kappa_{1,2} = \frac{1}{2} [a_{11} + a_{22} \pm \sqrt{(a_{11} + a_{22})^2 - 4a_{12}a_{21}}] = \\ = a_{1,2} \exp i\varphi_{1,2}$$

(собств. значения матрицы M) ур-ние (1) имеет нетривиальные решения $E_{1,2}$, описывающие состояния поляризации волны, не изменяющиеся при полном обходе резонатора. Модуль собств. значения $a_{1,2}$ определяет ослабление амплитуды волны с поляризацией $E_{1,2}$ при обходе резонатора. Если $|a_1| \neq |a_2|$, то моды резонатора с разным состоянием поляризации обладают разными потерями. Разность фаз $\varphi_1 - \varphi_2$ собств. значений определяет разность частот $\Delta\nu$ резонансных типов колебаний с собств. состояниями поляризации:

$$\Delta\nu = \frac{c}{2\pi L} (\varphi_1 - \varphi_2),$$

где L — длина оптич. пути.

Матрица Джонса обхода резонатора в противоположном направлении M' в общем случае отличается от M , и потому в одном и том же поперечном сечении резонатора поляризац. характеристики волн, распространяющихся в противоположных направлениях, а также их собств. частоты и потери неодинаковы. Этот эффект в кольцевых резонаторах, содержащих *независимые элементы* оптические, напр. оптич. элементы на основе *Фарадея эффекта*, может приводить к подавлению одной из встречных волн.

Если линейный резонатор не содержит магнитооптич. анизотропных элементов, то $M' = M^*$ (где индекс $*$ означает операцию транспонирования). Тогда собств. значения матриц M' и M одинаковы, а собств.