

дающими от источников «ближними» полями. В объёмных резонаторах в диапазоне высоких собств. частот допустимо описание процессов в виде суперпозиций как нормальных колебаний с дискретным спектром, так и Н. в. со сплошным спектром. Такой дуализм динамич. поведения свойствен физ. объектам, включая природные каналы внутренних волн, волн цунами в океане, сейсмич. волн в земной коре, радиоканал Земля — ионосфера и др.

В наиб. простом случае сред и волноводных систем, параметры к-рых не меняются вдоль нек-рого направления (напр., вдоль оси z), Н. в. синусоидальны не только во времени, но и в пространстве и обладают неизменной поперечной структурой: $a_i = A_i(r_1, \omega) \cos(\omega t - k_z z)$, где ω — циклич. частота, k_z — продольное волновое число (с ним связаны продольная длина волны $\lambda_z = 2\pi/k_z$ и фазовая скорость $v_{\phi} = \omega/k_z$), A_i — амплитудное распределение одной из компонент волнового поля, зависящее только от поперечных к оси z координат r .

Связь между ω и k_z определяет дисперсионные свойства Н. в. и, как правило, является неоднозначной — одному значению k_z соответствует набор Н. в. с разными частотами. Н. в., частоты и волновые числа к-рых принадлежат отд. непрерывной дисперсионной ветви многозначной ф-ции $\omega = \omega(k_z)$, относятся к одной нормальной моде системы (или просто моде). Моды различаются либо амплитудными и поляризац. структурами полей, либо физ. природой процессов. В случаях вырождения одной дисперсионной ветви соответствует неск. линейно независимых мод, их число наз. кратностью вырождения. Возможны также вырождения Н. в. при фиксир. значениях ω и k_z , соответствующих точкам пересечения или касания дисперсионных ветвей.

Одно из наиб. важных свойств разложений полей по Н. в. заключается в распространении принципа суперпозиции на нек-рые энергетич. характеристики движения. Так, в произвольном гармонич. процессе (представляющем сложную картину пространств. биений Н. в. с одинаковыми частотами, но разными длинами волн) полный поток энергии (усреднённый по периоду $T = 2\pi/\omega$) равен сумме парциальных потоков энергии отд. Н. в. Волновые пакеты при своём распространении разбиваются на пакеты, объединяющие Н. в. одной моды; при этом полная энергия процесса равна сумме энергий одномодовых пакетов. Понятие групповой скорости ($v_{gr}^n = \partial\omega/\partial k_z$) может быть введено только для одномодовых волновых пакетов.

В однородных безграничных средах Н. в. принято наз. однородные плоские волны, распространяющиеся в произвольных направлениях. В изотропных средах волновое число k_0 не зависит от направления распространения, а поляризация поперечных волн может быть произвольной (двукратное поляризац. вырождение). В анизотропных и гиротропных средах k_0 зависит от направления распространения, а поляризац. вырождение снимается (соответственно различают обыкновенные и необыкновенные Н. в.). На рис. 1 приведены дисперсионные ветви Н. в. в изотропной неизоэтермич. плазме. Частотные спектры поперечных эл.-магн. и ленгмюровских волн ограничены снизу электронной плазм. частотой ω_{pe} , спектр ионно-звуковых волн ограничен сверху ионной плазм. частотой ω_{pi} ; значения частот и волновых чисел, ограничивающих дисперсионную ветвь, наз. критическими для данной моды.

В экранир. волноводных системах (металлич. радиоволноводы, акустич. трубы, упругие пластины, звуковые каналы в водоёмах с твёрдым дном и т. д.) существует бесконечное счётное множество мод, поля к-рых локализованы в поперечных сечениях отражающими границами (экранами). Структура мод определяется формой поперечных двумерных нормальных колебаний ($k_z = 0, \partial/\partial z = 0$), а критич. частоты мод — собств. частотами этих колебаний $\omega_n, n = 1, 2, \dots$

(рис. 2). При $\omega < \omega_n$ данной моде соответствуют экспоненциально спадающие или нарастающие поля $A_n(r_1) \cos \omega t \exp(\mp k_z z)$, каждое из к-рых, взятое в отдельности, не может переносить энергию. Однако комбинации сдвинутых по фазе спадающих и растущих полей

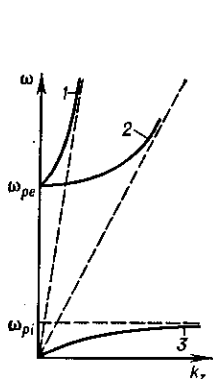


Рис. 1. Дисперсия нормальных волн в изотропной неизоэтермич. плазме: 1 — поперечные электромагнитные волны; 2 — ды; 3 — ионно-звуковые волны.

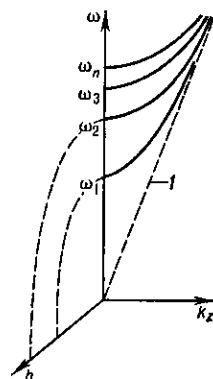


Рис. 2. Дисперсия нормальных волн в экранированных системах: 1 — поперечные электромагнитные волны; 2 — ды; 3 — ионно-звуковые волны.

определяют «просачивание» энергии через закрыт. область, где волны распространяться не могут, — т. н. туннельный эффект.

В волноводах с однородным заполнением фазовые v_{ϕ}^n и групповые v_{gr}^n скорости Н. в. и однородных плоских волн в среде заполнения v_{ϕ}^0, v_{gr}^0 связаны универсальным соотношением

$$v_{\phi}^{(n)}(\omega) \cdot v_{gr}^{(n)}(\omega) = v_{\phi}^{(0)}(\omega) \cdot v_{gr}^{(0)}(\omega).$$

В коротковолновом пределе диапазона ($k_z \rightarrow \infty$) дисперсионные ветви мод стремятся к общей асимптоте (асимптотич. вырождение), совпадающей с ветвью однородных волн в среде заполнения (пунктирная линия 1 на рис. 2). В акустич. трубах и неоднородных радиоволноводах (в коаксиальных и многожильных кабелях, а также в открытых длинных линиях) эта асимптота сама является одной из ветвей Н. в. системы — т. н. квазистатич. Н. в., существующих при $\omega \rightarrow 0$ и при любой частоте имеющих статич. поперечную структуру (напр., электростатическую и магнитостатическую). В N -жильном кабеле квазистатич. моды N -кратно вырождены, что используется в системах многоканальной передачи информации.

В открытых волновых каналах поперечная локализация Н. в. происходит в результате полного внутреннего отражения либо на резких границах раздела сред (диэлектрич. волноводы, световоды), либо на плавных неоднородностях среды (звуковые каналы в океане и атмосфере, ионосферные радиоканалы, каналы внутр. волн в океане и др.). Совокупность локализованных (или захваченных) мод дискретна, но (в отличие от экранир. систем) не является полной. В волновых каналах существует сплошное множество т. н. незахваченных мод, не спадающих при $r_1 \rightarrow \infty$.

Предельным случаем волновых каналов являются резкие границы раздела сред, вдоль к-рых могут распространяться поверхностные Н. в.

Понятие Н. в. обобщается на продольно-периодич. структуры: гофриров. волноводы, замедляющие системы, цепочки четырёхполосников, среды с равномерным широм анизотропии (напр., жидкие кристаллы) и т. д.

Значение Н. в. в физике, технике, природе определяется их уникальной структурной устойчивостью по