

параметров, ускорения заряж. частиц. В. п. — основа пламенных генераторов и усилителей (см. Плазменная электроника).

Поскольку фазовая скорость эл.-магн. волн в В. п. зависит от их поперечных размеров и может стать заметно меньшей скорости света c в вакууме, волны эффективнее взаимодействуют с заряж. частицами и между собой, чем в неогранич. плазме. В В. п. могут распространяться объёмные волны, лишь незначительно отличающиеся от объёмных волн в неогранич. плазме, и поверхностные, являющиеся характерной особенностью В. п. Поверхностные волны могут существовать на границе плазмы с вакуумом, диэлектриком и проводником (металлом). Частота ω поверхностной волны на границе однородной полуграниченной плазмы с диэлектриком (диэлектрич. проницаемость ϵ_0) в отсутствие пост. магн. поля лежит в интервале $0 < \omega < \Omega_L / \sqrt{1 + \epsilon_0}$, где Ω_L — ленгмювская частота (см. Ленгмювские волны). Диэлектрич. проницаемость плазмы ϵ при этом отрицательна: $\epsilon = 1 - \Omega_L^2 / \omega^2 < -\epsilon_0$. Это — медленная эл.-магн. волна ($v_\phi < c$), имеющая компоненты электрич. поля вдоль направления распространения и по нормали к границе. Её фазовая скорость $v_\phi = c [(\epsilon_0 - \epsilon) / \epsilon_0 \epsilon]^{1/2}$. Частота $\omega_{в.г.} = \Omega_L / \sqrt{1 + \epsilon_0}$ наз. верхней граничной частотой поверхностной волны. Важной характеристикой поверхностной волны является глубина проникновения h поля в плазму — расстояние по нормали к границе, на к-ром поле убывает в e раз. Если h порядка поперечных размеров В. п., то собств. частота ω зависит от них. Так, напр., в узком цилиндрич. В. п. ($2\pi R \ll \lambda$, R — радиус, λ — длина волны) частота $\omega \approx (\Omega_L / \sqrt{2}) (2\pi R / \lambda) \sqrt{1 + \ln(2\pi R / \lambda)}$. В более сложных случаях (неизотермич. плазма, наличие пост. магн. поля H_0) частота может зависеть от темп-ры плазмы и H_0 .

В неоднородных по сечению В. п. собств. частота объёмной волны, зависящей от плотности частиц, изменится вдоль её градиента. Такая волна может не распространяться. Частота поверхностной волны вполне определена и даже при сильном изменении градиента плотности изменяется слабо, поскольку является интегральной, а не локальной (как для волн объёмных) характеристикой. Так, напр., частота волны узкого цилиндрич. В. п. с произвольным по радиусу профилем плотности определяется приведённой выше ф-лой, но в Ω_L должна входить средняя по сечению волновода плотность.

Затухание волн в однородных В. п. определяется столкновениями частиц и Ландау затуханием. Столкновит. затухание практически одинаково и в В. п., и в неогранич. плазме. Затухание Ландау поверхностных волн может быть значительно больше, чем объёмных при тех же условиях, что связано с сильной неоднородностью поля поверхностных волн у границы. В В. п. с размытыми границами появляется дополнит. затухание поверхностных волн. Поскольку частота поверхностных волн меньше Ω_L в однородной плазме, то в переходной области всегда найдётся точка y_0 , в к-рой $\Omega_L(y_0) = \omega$. В окрестности этой точки поверхностная волна возбуждает ленгмювскую, а сама затухает.

Лит.: Кондратенко А. Н., Поверхностные и объёмные волны в ограниченной плазме, М., 1985.

А. Н. Кондратенко.

ВОЛНОВОДНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН — распространение радиоволн в волноводе, образованном поверхностью Земли и (или) неоднородностью её атмосферы. Длинные и средние волны распространяются в сферич. волноводе, образуемом поверхностью Земли и ниж. границей ионосферы. Короткие волны распространяются в приземных и приподнятых над Землёй волноводах. Возникновение приподнятых волноводов обусловлено сферичностью Земли и немонотонной зависимостью показателя преломления от высоты. В. р. в приподнятых волноводах, проходящих выше основных

поглощающих слоёв ионосферы, характеризуется малыми потерями при распространении радиоволн на значит. расстояния. В случае наземного расположения излучателя возбуждение приподнятых волноводов может осуществляться, напр., из-за рефракции на горизонт, градиентах электронной концентрации и локализов. неоднородностях или рассеяния на турбулентных неоднородностях. В тропосфере атм. волновод возникает в результате образования инверсионного слоя, в к-ром показатель преломления аномально быстро убывает с высотой. В. р. — один из механизмов дальнего тропосферного распространения УКВ и более коротких волн. См. также Атмосферный волновод, Ионосферный волновод.

Лит.: Бреховских Л. М., Волны в слоистых средах, 2 изд., М., 1973; Альперт Я. Л., Распространение электромагнитных волн и ионосфера, 2 изд., М., 1972; Гуревич А. В., Педликина Е. Е., Сверхдальнее распространение коротких радиоволн, М., 1979.

В. П. Урадов.

ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ в акустике — в газообразной или жидкой среде отношение звукового давления p в бегущей плоской волне к скорости частиц среды v . В отсутствие дисперсии звука В. с. не зависит от формы волны и выражается ф-лой $p/v = \rho c$, где ρ — плотность среды, c — скорость звука в ней. В. с. представляет собой уд. импеданс (см. Импеданс акустический) среды для плоских волн. Коэф. отражения плоских волн при нормальном падении на плоскую границу раздела двух сред определяются только отношением В. с. этих сред; если В. с. сред равны, то волна проходит границу без отражения. Для плоского излучателя поршневого типа, размеры к-рого велики по сравнению с длиной волны (см. Излучение звука), сопротивление излучения в расчёте на единицу площади излучающей поверхности равно В. с. Для излучателей любого порядка сопротивление излучения в данную среду пропорционально её В. с. Понятием В. с. можно пользоваться и для твёрдого тела (для продольных и поперечных плоских волн в неограниченном твёрдом теле и для продольных волн в стержне), определяя В. с. как отношение соответственного механ. напряжения, взятого с обратным знаком, к колебат. скорости частиц среды. При этом, напр., для продольных волн В. с. определяется составляющей напряжения вдоль направления распространения волны, действующей на перпендикулярную этому направлению площадку.

Понятием В. с. можно пользоваться и в др. случаях волнового распространения: поперечных волн в струне и изгибных волн в стержне (отношение поперечной силы к скорости элемента струны или стержня) и волн в волноводе акустическом (отношение звукового давления к продольной составляющей колебат. скорости). Во всех случаях оно равно ρc , где c — скорость волны соответствующего типа. При наличии дисперсии (напр., в волноводе) понятие В. с. пригодно только для монохроматич. волн, причём в этом случае c — фазовая скорость данной волны.

ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ в газовой динамике — одно из слагаемых аэродинамического сопротивления, возникающее в случае, когда скорость газа относительно тела превышает скорость распространения в газе слабых (звуковых) возмущений. В. с. является результатом затрат энергии на образование ударных волн. Диссипация энергии в ударной волне происходит вследствие проявления свойств вязкости и теплопроводности в тонком слое ударной волны, где имеются большие градиенты скорости и темп-ры.

Сила В. с. $X_{\text{в}}$ зависит от геом. характеристик течения и отношения скорости газа перед телом к скорости звука — Маха числа M . В качестве геом. характеристик течения можно рассматривать форму тела и угол между скоростью газа перед телом и осью симметрии последнего. Коэф. аэродинамич. В. с.

$$C_{\text{хв}} = \frac{X}{\rho v^2 k M^2/2}$$