

Спектр электромагнитных волн

Частота ν , Гц	Длина волны λ , м	Название диапазона	Источники. Основные методы возбуждения
10^3	$3 \cdot 10^5$	Радиоволны	Переменные токи в проводниках и электронных потоках (генераторы радиочастот, генераторы СВЧ)
10^{12}	$30 \cdot 10^{-4}$	ИК-излучение	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях
$3,75 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{-7}$		
$7,5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-7}$	Видимый свет	Излучение атомов при воздействиях ускоренных электронов
$3 \cdot 10^{17}$	10^{-9}	УФ-излучение, мягкий рентген	
$3 \cdot 10^{20}$	10^{-12}	Рентген, γ -излучение	Атомные процессы при воздействиях ускоренных заряженных частиц
10^{23}	$3 \cdot 10^{-15}$	γ -излучение	Ядерные процессы, радиоактивный распад, космические процессы

между соседними диапазонами шкалы Э. в. нет резких границ (рис.).



Особенности Э. в., законы их возбуждения и распространения описываются *Максвелла уравнениями*. Если в какой-то области пространства существуют электрич. заряды e и токи I , то изменение их со временем t приводит к излучению Э. в. На характер распространения Э. в. существенно влияет среда, в к-рой они распространяются. Э. в. могут испытывать преломление, в реальных средах имеет место *дисперсия волн*, вблизи неоднородностей наблюдаются *дифракция волн, интерференция волн, полное внутреннее отражение* и др. явления, свойственные волнам любой природы. Пространств. распределение эл.-магн. полей, временные зависимости $E(t)$ и $H(t)$, определяющие тип волн (плоские, сферические и др.), вид поляризации и др. особенности Э. в., задаются, с одной стороны, характером источника излучения, с другой — свойствами среды, в к-рой они распространяются. В случае однородной и изотропной среды вдали от зарядов и токов, создающих эл.-магн. поле, ур-ния Максвелла приводят к *волновым уравнениям*:

$$\nabla^2 E = \frac{\epsilon \mu \partial^2 E}{\partial t^2}; \quad \nabla^2 H = \frac{\epsilon \mu \partial^2 H}{\partial t^2}, \quad (1)$$

описывающим, в частности, распространение плоских монохроматич. Э. в.:

$$\begin{aligned} E &= E_0 \cos(kr - \omega t + \varphi), \\ H &= H_0 \cos(kr - \omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь ϵ — диэлектрич., μ — магн. проницаемости среды, E_0 и H_0 — амплитуды колебаний электрич. и магн. полей, $\omega = 2\pi\nu$ — круговая частота этих колебаний, φ — произвольный сдвиг фазы, k — волновой вектор, r — радиус-вектор точки, ∇^2 — оператор Лапласа, $E \perp H \perp k$, $H_0 = \sqrt{\epsilon/\mu} E_0$.

Если среда неоднородна или содержит поверхности, на к-рых изменяются её электрич. либо магн. свойства, или если в пространстве имеются проводники, то тип возбуж-

даемых и распространяющихся Э. в. может существенно отличаться от плоской линейно поляризованной волны. Э. в. могут распространяться вдоль направляющих поверхностей (поверхностные волны), в передающих линиях, в полостях, образованных хорошо проводящими стенками (см. *Волновод металлический, Световод*), в квазиоптич. линиях (см. *Квазиоптика*).

Характер изменения во времени E и H определяется законами изменения тока $I(t)$ и зарядов $e(t)$, возбуждающих Э. в. Однако форма волны в общем случае не следует $I(t)$ или $e(t)$. Она в точности повторяет форму тока только в случае линейной среды, если $I = I_0 \sin \omega t$. Т. к. волны любой формы можно представить в виде суммы гармоник, составляющих, то для линейных сред, для к-рых справедлив принцип суперпозиции, все задачи излучения, распространения и поглощения Э. в. произвольной формы сводятся к решению задач для гармонич. Э. в.

В изотропном пространстве скорость распространения гармонич. Э. в., т. е. *фазовая скорость* $v = c/\sqrt{\epsilon}$. При наличии дисперсии скорость переноса энергии (*групповая скорость*) может отличаться от v . Плотность потока энергии, переносимой Э. в., определяется *Пойнтинга вектором* $S = (c/4\pi)[EH]$. Т. к. в изотропной среде векторы E , H и k образуют правовинтовую систему, то S совпадает с направлением распространения Э. в. В анизотропной среде (в т. ч. вблизи проводящих поверхностей) S может не совпадать с направлением распространения Э. в.

Простейшим излучателем Э. в. является электрич. диполь — отрезок проводника длиной $l \ll \lambda$, по к-рому протекает ток $i = i_0 \sin \omega t$. На расстоянии от диполя $r \gg \lambda$ образуется волновая зона (зона излучения), где распространяются сферич. волны (см. *Антенна*).

Создание мощных источников радиоволн во всех диапазонах, а также появление квантовых генераторов, в частности *лазеров*, позволили достичь напряжённостей электрич. поля в Э. в., существенно изменяющих свойства сред, в к-рых происходит их распространение. Это привело к развитию нелинейной теории Э. в. При распространении Э. в. в нелинейной среде (ϵ и μ зависят от E и H) её форма изменяется. Если дисперсия мала, то по мере распространения Э. в. они обогащаются высшими гармониками и их форма постепенно искажается (см. *Нелинейная оптика*). Напр., после прохождения синусоидальной Э. в. характерного пути (величина к-рого определяется степенью нелинейности среды) может сформироваться *ударная волна*, характеризующаяся резкими изменениями E и H (разрывами) с их последующим плавным возвращением к первонач. величинам. Большинство нелинейных сред, в к-рых Э. в. распространяются без сильного поглощения, обладает значит. дисперсией, препятствующей образованию ударных Э. в. Поэтому образование ударных волн возможно лишь в диапазоне λ от неск. см до длинных волн. При наличии дисперсии в нелинейной среде возникающие высшие гармоники распространяются с разл. скоростью и существ. искажения формы исходной волны не происходит. Образование интенсивных гармоник и взаимодействие их с исходной волной может иметь место лишь при специально подобранных законах дисперсии.

Э. в. разл. диапазонов λ характеризуются разл. способами возбуждения и регистрации. Они по-разному взаимодействуют с веществом. Процессы излучения и поглощения Э. в. от самых длинных волн до ИК-излучения достаточно полно описываются соотношениями электродинамики. На более высоких частотах доминируют процессы, имеющие существенно квантовую природу, а в оптич. диапазоне и тем более в диапазонах рентг. и γ -лучей излучение и поглощение Э. в. могут быть описаны только на основе представлений о дискретности этих процессов. Во мн. случаях эл.-магн. излучение ведёт себя не как набор монохроматич. Э. в. с частотой ω и волновым вектором k , а как поток квазичастиц — фотонов с энергией $h\omega$ и импульсом $p = h\omega/c$. Волновые свойства проявляются, напр., в явлениях дифракции и интерференции, корпускулярные — в *фотоэффекте* и *Комптона эффекте*.