



ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН

Авторы: Н. С. Степанов

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН, взаимное усиление или ослабление двух (или большего числа) волн при их наложении друг на друга при одновременном распространении в пространстве. Обычно при И. в. результирующая интенсивность волнового поля отличается от суммы интенсивностей исходных волн. И. в. — одно из осн. свойств волн любой природы (упругих, электромагнитных, в т. ч. световых, и др.); такие явления, как излучение, распространение и дифракция волн, тоже связаны с интерференцией волн.

В случае двух гармонич. волн с одинаковыми частотами, амплитудами

$A_{1,2}$ и фазами

$\varphi_{1,2}$ суммарная интенсивность

A^2 в линейной среде оказывается равной

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi, \text{ где}$$

$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ — разность фаз волн. Величины

$A_{1,2}, \varphi_{1,2}$ в общем случае являются функциями координат и времени, вид которых определяется конкретной структурой интерферирующих волн (напр., они зависят от расстояния до соответствующих источников и от фаз волн). В результате в тех точках, где

$\Delta\varphi = 2\pi m$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ — порядок интерференции), имеем

$A = A_1 + A_2$, а интенсивность

A^2 принимает макс. значение, превышающее сумму интенсивностей налагаемых волн.

В точках, где

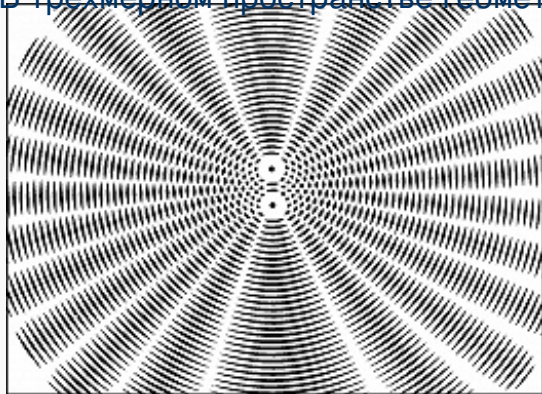
$\Delta\varphi = 2\pi(m + 1/2)$, имеет место интерференционный минимум:

$A = |A_1 - A_2|$. В частном случае, когда

$A_1 = A_2$, в этих точках суммарная амплитуда равна нулю, интерферирующие волны

полностью «гасят» друг друга.

В трёхмерном пространстве геометрич. места точек максимумов и минимумов,



Вид интерференционных полос при интерференции двух сферических волн от источников S_1 и S_2 (обозначены точками).

Видны максимумы (светлые полосы) и минимумы (тёмные полосы) интенсивности.

соответствующих определённым m , представляют собой поверхности, пересечение которых с произвольной плоскостью наблюдения (экраном) даёт т. н. интерференционные полосы. В случае двух плоских волн поверхности максимумов и минимумов представляют собой плоскости,

перпендикулярные вектору

$$\Delta \mathbf{k} = \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_1$$

($\mathbf{k}_{1,2}$ – волновые векторы), а расстояние между соседними максимумами равно

$$\lambda [2 \sin(\alpha/2)]^{-1}, \text{ где}$$

$\alpha = |\Delta \mathbf{k}| / k$ – угол между векторами

\mathbf{k}_1 и

\mathbf{k}_2 ,

λ – длина волны. В случае интерференции двух сферич. волн, исходящих из точек S_1 и

S_2 , разнесённых на расстояние

$d = S_1 S_2$, максимумы и минимумы располагаются на гиперboloидах вращения вокруг оси

$S_1 S_2$, а в плоскости, параллельной этой оси, интерференционные полосы имеют вид гипербол (рис.). Общее число максимумов определяется из условия

$$|m| \leq d/\lambda.$$

Интерференционные максимумы и минимумы образуются вследствие

перераспределения потока энергии в пространстве. Напр., если отд. источники изотропны (равномерно излучают во все стороны), то неск. таких источников в

результате И. в. дают более сложную «изрезанную» диаграмму направленности. В случае малого расстояния между источниками (

$d \leq \lambda/2$) в зависимости от разности фаз изменяется и суммарная мощность излучения,

т. е. источники волн непосредственно влияют друг на друга. Векторные волны (напр., электромагнитные) интерферируют, если векторы

$\mathbf{A}_{1,2}$ (напряжённости электрич. поля) не ортогональны друг к другу.

Поверхности максимумов и минимумов (и соответствующие им интерференционные полосы на экране) неподвижны, если разность фаз

$\Delta\phi$ неизменна во времени. В случае независимых источников при небольшой расстройке между их частотами (

$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$) координаты максимумов и минимумов перемещаются в пространстве, а в заданной точке амплитуда испытывает биения от

$A_1 + A_2$ до

$|A_1 - A_2|$ с разностной частотой

$\Delta\omega$. Такие же биения, но нерегулярные во времени возникают из-за фазовой нестабильности источников, если случайные уходы разности фаз порядка или больше π . Возможность наблюдения интерференционных максимумов и минимумов при этом зависит от степени инерционности регистрирующей аппаратуры – любой прибор проводит усреднение по некоторому времени

τ_0 . Если

τ_0 мало по сравнению с характерным периодом биений результирующего поля («временем когерентности»

τ , которое порядка обратной ширины спектра волны), то максимумы и минимумы будут зарегистрированы и в случае независимых источников. По мере роста отношения

τ_0/τ интерференционные максимумы и минимумы постепенно сглаживаются («размываются»), а при

$\tau_0 \gg \tau$ И. в. не наблюдается – измеряемая интенсивность

A^2 результирующего поля равна сумме интенсивностей составляющих волн.

Для радиоволн условие

$\tau_0 \ll \tau$ легко достигается, поэтому наблюдение И. в. от независимых источников не представляет трудностей (см. Интерференция радиоволн). В оптике для

«естественных» источников квазимонохроматич. света (даже для отд. спектральных линий теплового излучения газов) ситуация существенно иная. В этом случае при

нормальных условиях значение

τ порядка 10^{-9} – 10^{-10} с, а для человеческого глаза

τ_0 порядка 10^{-1} с, для скоростных фотокинокамер

$\tau_0 \geq 10^{-7}$ с, т. е.

$\tau_0 \gg \tau$. Поэтому долгое время [интерференцию света](#) удавалось наблюдать лишь в случае когерентных волн (см. [Когерентность](#)), получаемых путём разделения излучения от к.-л. одного источника. С появлением лазеров, обладающих большим временем когерентности (

$\tau \geq 10^{-2}$ с), и разработкой малоинерционных фотоэлектронных устройств с

$\tau_0 \leq 10^{-9}$ с стало возможным наблюдать И. в. и в оптич. диапазоне. При

распространении волн достаточно большой интенсивности в нелинейных средах возникают качественные особенности распространения и И. в. не наблюдается (см. [Волны](#), [Нелинейная оптика](#), [Нелинейная акустика](#)).

Для осуществления И. в. разработаны разл. схемы [интерферометров](#). Расположение интерференционных полос зависит от длины волны и разности хода лучей; это позволяет по виду интерференционной картины (или смещению полос) проводить точные измерения расстояний при известной длине волны или, наоборот, определять спектр интерферирующих волн. По интерференционной картине можно определять отклонения формы поверхности от заданной, выявлять и измерять неоднородности среды, в которой распространяются волны. И. в., рассеянных от некоторого объекта (или прошедших через него), с опорной волной лежит в основе [голографии](#). И. в. от отд. «элементарных» излучателей используется при создании сложных излучающих систем (антенн) для электромагнитных и акустич. волн.

Литература

Лит.: Борн М., Вольф Э. Основы оптики. 2-е изд. М., 1973; Ландсберг Г. С. Оптика. 6-е изд. М., 2003; Калитеевский Н. И. Волновая оптика. 4-е изд. СПб., 2006; Горелик Г. С. Колебания и волны. 3-е изд. М., 2007.