

# КОГЕРЕНТНОСТЬ

Авторы: Л. А. Мельников

КОГЕРЕНТНОСТЬ (от лат. *cohaerens* – находящийся в связи), коррелированность (согласованность) колебаний или волн, в т. ч. случайных, протекающих в разл. точках и в разл. моменты времени, позволяющая наблюдать при их сложении интерференционную картину. Колебания полностью когерентны при постоянной разности фаз между ними. При разности фаз, флуктуирующей в пределах  $2\pi$  за время наблюдения, колебания можно считать некогерентными.

Понятие «К.» применялось сначала к волнам оптич. диапазона (см. [Когерентность света](#)), однако К. характерна для волн любой природы, для которых выполняется [суперпозиции принцип](#) (электромагнитных волн любого диапазона, волн вероятности в квантовой механике, упругих волн, волн в плазме и др.).

Пространственно-временное изменение поля обычно измеряется как усреднённый по времени сигнал с квадратичного детектора, а степень связанности (согласованности) полей в разл. пространственно-временных точках количественно характеризуется [корреляционными функциями](#) разл. порядков (обычно чётных). Вид корреляционных функций зависит от природы волн. Скалярные волны с напряжённостью поля  $E(\mathbf{r}, t) = \text{Re}[u(\mathbf{r}, t)]$ , где  $u(\mathbf{r}, t)$  – комплексная амплитуда, характеризуются скалярными корреляционными функциями порядка  $2n$ :

$$G^{(2n)}(\mathbf{r}_1, t_1, \dots, \mathbf{r}_n, t_n; \mathbf{r}_{n+1}, t_{n+1}, \dots, \mathbf{r}_{2n}, t_{2n}) = \langle u^*(\mathbf{r}_1, t_1) \dots u^*(\mathbf{r}_n, t_n) u(\mathbf{r}_{n+1}, t_{n+1}) \dots u(\mathbf{r}_{2n}, t_{2n}) \rangle,$$

где  $\mathbf{r}_k, t_k$  – пространственно-временные координаты ( $k = 1, 2, \dots, 2n$ ), звёздочка означает комплексное сопряжение. Для векторных полей корреляционная функция является тензором второго ранга. Угловые скобки означают усреднение по ансамблю реализаций случайного процесса  $u(\mathbf{r}, t)$ . В расчётах обычно используют двухточечную функцию взаимной корреляции  $G^{(2)}(\mathbf{r}_1, t_1; \mathbf{r}_2, t_2)$ , среднюю интенсивность волны

$I(\mathbf{r}, t) = G^{(2)}(\mathbf{r}, t; \mathbf{r}, t)$ , корреляционную функцию интенсивностей  $G^{(4)}(\mathbf{r}_1, t_1, \mathbf{r}_2, t_2; \mathbf{r}_1, t_1, \mathbf{r}_2, t_2)$ . Наиболее просто вычисляются корреляционные функции поля для источников, имеющих малую угловую расходимость и состоящих из независимых элементарных излучателей.

Если полное волновое поле образовано суммой полей от двух источников:

$u(\mathbf{r}, t) = u(\mathbf{r}_1, t_1) + u(\mathbf{r}_2, t_2)$ , где связь между точками  $(\mathbf{r}, t)$ ,  $(\mathbf{r}_1, t_1)$  и  $(\mathbf{r}_2, t_2)$  определяется геометрией эксперимента, то сигнал с квадратичного детектора в точке наблюдения  $(\mathbf{r}, t)$  равен:

$$\langle |u^2| \rangle = I(\mathbf{r}_1, t_1) + I(\mathbf{r}_2, t_2) + 2\text{Re}[G^{(2)}(\mathbf{r}_1, t_1, \mathbf{r}_2, t_2)].$$

Для количественного определения К. полей в пространственно-временных точках  $(\mathbf{r}_1, t_1)$  и  $(\mathbf{r}_2, t_2)$  вводится величина

$$\gamma(\mathbf{r}_1, t_1; \mathbf{r}_2, t_2) = \frac{G^{(2)}(\mathbf{r}_1, t_1; \mathbf{r}_2, t_2)}{\sqrt{I(\mathbf{r}_1, t_1)I(\mathbf{r}_2, t_2)}},$$

называемая степенью взаимной когерентности. Согласно определению,

$|\gamma(\mathbf{r}_1, t_1; \mathbf{r}_2, t_2)| \leq 1$ . При  $(\mathbf{r}_1, t_1) = (\mathbf{r}_2, t_2)$  величина  $|\gamma| = 1$ . При условии  $I(\mathbf{r}_1, t_1) = I(\mathbf{r}_2, t_2)$  относительный контраст интерференционной картины

$$K = (I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}})/(I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}})$$

совпадает с  $|\gamma|$ . Характерный масштаб  $\tau_0$  спадающей функции  $|\gamma(\mathbf{r}, t; \mathbf{r}, t + \tau)|$  по  $\tau = t_2 - t_1$  есть время когерентности, а величина  $c\tau_0$  – длина когерентности ( $c$  – скорость света).

Смещение волнового пучка с узким угловым спектром, близкого к плоской волне, в поперечном направлении приводит к уменьшению степени К. Характерный масштаб  $r_0$  уменьшения степени К. называется поперечным радиусом когерентности. При распространении волны от протяжённого источника, образованного совокупностью независимых излучателей, поперечный радиус К. увеличивается с увеличением расстояния от источника. Величина  $(r_0)^2 c\tau_0$  есть объём когерентности; в его пределах случайная фаза поля меняется менее чем на  $\pi$  и колебания частично когерентны.

Понятие «К.», основанное на сохранении фазовых соотношений между квантовомеханич. амплитудами вероятности, наряду с понятием [интерференции состояний](#) широко используется также в квантовой механике, квантовой оптике. В этом случае корреляционные функции строятся таким же образом, однако  $u^*$  заменяют на оператор рождения фотона  $\hat{E}^+$ ,  $u$  – на оператор уничтожения фотона  $\hat{E}$ , а сама корреляционная функция становится оператором, который действует на вектор состояния поля.

При описании динамики резонансных переходов в атомах или молекулах под действием коротких световых импульсов длительностью менее характерного времени релаксации населённостей уровней также учитывается К. взаимодействия. При этом можно наблюдать когерентные процессы – оптич. нутации, затухание свободной поляризации, оптич. эхо, самоиндуцированную прозрачность (см. [Нелинейная оптика](#)).

Создание лазеров, генерирующих сверхкороткие световые импульсы (длительностью единицы – сотни фемтосекунд), позволило получать широкополосные поля с высокой степенью К., которые описываются корреляционными функциями высших порядков.

## Литература

Лит.: Клаудер Дж., Сударшан Э. Основы квантовой оптики. М., 1970; Перина Я. Когерентность света. М., 1974; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. 8-е изд. М., 2003.