

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

В. В. Кучинский и А. О. Морозов

Впервые теоретически исследована пространственная когерентность спонтанного излучения объемного источника света. Голографическим методом измерена функция пространственной когерентности излучения такого источника и проведено ее сравнение с расчетом по полученным формулам.

При получении интерферограмм и голограмм в частично-когерентном свете с использованием нелазерных, например газоразрядных источников излучения, недостаточная когерентность последнего ограничивает возможность получения интерференционных картин или восстанавливаемых с голограмм изображений. Функция пространственной когерентности (ФПК) плоского источника света рассчитывается на основании известной теоремы Ван Циттерта—Цернике [1]. Однако в реальных условиях источники света являются объемными, и на расстояниях от источника, сравнимых с его длиной (когда пространственная когерентность уже может быть достаточной для экспериментального получения интерференционной картины), когерентные свойства излучения могут отличаться от определяемых теоремой Ван Циттерта—Цернике. В данной работе рассмотрены когерентные свойства излучения объемного источника проводилось в предположении статистической независимости излучения отдельных атомов (т. е. излучение спонтанное). Считалось также, что длина когерентности излучения много больше разницы оптических путей от источника до точек, в которых рассчитывается взаимная когерентность. Результат расчета ФПК вблизи оптической оси объемного источника света в этом случае может быть представлен в виде

$$\mu(P_1, P_2) = \frac{\int_R^{R+L} z^{-2} \exp(i\psi_{12}) \int_{S_z} Q(\xi, \eta, z) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda} (p\xi - q\eta)\right] d\xi d\eta dz}{\int_R^{R+L} \int_{S_z} Q(\xi, \eta, z) z^{-2} d\xi d\eta dz} \quad (1)$$

Здесь ось z направлена по оптической оси источника; S_z — сечение источника плоскостью, перпендикулярной оси Z и отстоящей от плоскости наблюдения на расстояние z ; ξ и η — координаты точек источника, расположенных в плоскости S_z ; $Q(\xi, \eta, z)$ — интенсивность излучения, идущего из окрестности точки источника с координатами (ξ, η, z) ; точки наблюдения P_1 и P_2 помещены в плоскости XOY при $z=0$, X_1, Y_1 и X_2, Y_2 — их координаты; $p = (X_1 - X_2)/z$, $q = (Y_1 - Y_2)/z$; расстояние по оси z от плоскости наблюдения до начала источника R , его конец расположен при $z = R + L$; $\bar{\lambda}$ — средняя длина волны квазимонохроматической компоненты излучения; величина $\psi_{12} = (2\pi/\bar{\lambda}) [(X_1^2 + Y_1^2) - (X_2^2 + Y_2^2)] \frac{1}{2z}$. При расчетах с углами $\theta = d/R \approx 10^{-4}$ рад ($d = [(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2]^{1/2}$ — рас-

стояние между точками P_1 и P_2) можно считать, что $e^{i\psi_{12}}$ слабо зависит от z на промежутке от R до $R+L$ и вынести $\exp(i\bar{\psi}_{12})$ за знак интеграла ($\bar{\psi}_{12} \equiv \psi_{12} z / (R + \frac{L}{2})$). Величина $|\mu|$ вычислена нами для различных реальных случаев распределения интенсивности Q с помощью интегральных представлений бесселевых функций. При $Q = \text{const}$ для ФПК цилиндрического источника с радиусом ρ и длиной L получаем из (1)

$$|\mu(\alpha, v)| = [(1 + \alpha)G(v) - G\left(\frac{v}{1 + \alpha}\right)] \frac{1}{\alpha}, \quad (2)$$

где $\alpha = L/R$, $v = 2\pi\rho\theta/\lambda$. Функция $G(v) \equiv 2J_0(v) \left[1 - \frac{\pi}{2} H_1(v)\right] - \frac{2J_1(v)}{v} \left[1 - \frac{\pi}{2} v H_0(v)\right]$, где $J_\nu(v)$ — функция Бесселя ν -го рода, $H_\nu(v)$ — функция Струве. При $v \geq 5$ $G(v)$ легко вычисляется по асимптотикам $J_\nu(v)$ и $H_\nu(v)$ (таблицы этих функций и асимптотики приведены в [2]). При $\alpha \rightarrow 0$ (2) переходит в известный результат для ФПК однородного плоского источника [1]. На рис. 1 представлена зависимость ФПК $|\mu(\alpha, v)|$ от параметра $\alpha = L/R$ при фиксированных v , т. е. при определенном выборе угла θ . Из рисунка видно, что увеличение длины источника L сильно сказывается на ФПК при $0 \leq \alpha \leq 1.5$, но уже при $\alpha \geq 2$ дальнейшее уве-

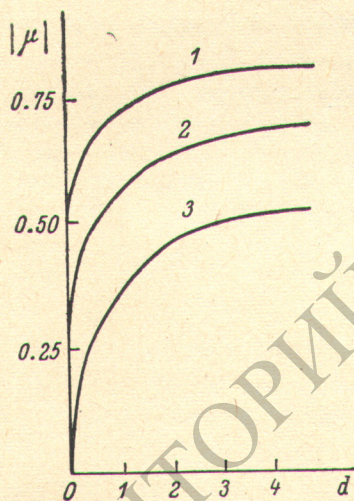


Рис. 1. Зависимость степени пространственной когерентности от параметра $\alpha = L/R$ при $Q = \text{const}$ и фиксированных $v = 2.22$ (1), 2.92 (2) и 3.83 (3).

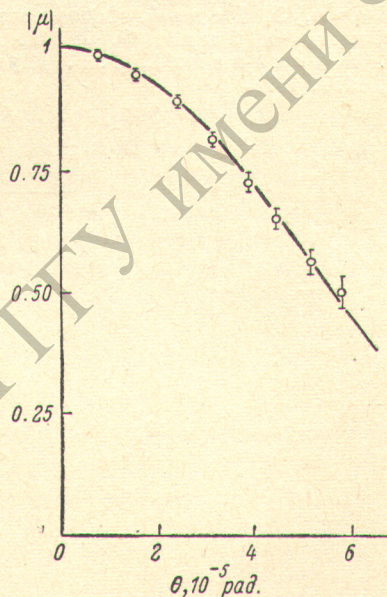


Рис. 2. ФПК объемного источника.

личение нецелесообразно, так как выигрыш в когерентности становится незначительным практически для любых v .

Результаты расчетов ФПК объемного источника сравнивались с экспериментально полученной ФПК излучения газоразрядного источника в виде цилиндрического медного полого катода с радиусом $\rho = 0.4$ см и длиной $L = 50$ см при $R = 100$ см. Анод был выполнен в виде тонкой проволоки, идущей по оси цилиндра. При токе $i = 100$ мА и давлении неона в разряде $p = 8$ тор измеренное радиальное распределение интенсивности Q в полом катоде имело кольцеобразный вид, по длине полого катода Q оставалось постоянным. В этом случае при расчетах применялась аппроксимация радиального распределения Q ступенчатой функ-

цией, близкой к экспериментально измеренной: $Q = 1$ при $\rho_v \leq \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \leq \rho_n$; $Q = 0$ при $\sqrt{\xi^2 + \eta^2} < \rho_v$, $\sqrt{\xi^2 + \eta^2} > \rho_n$, где ρ_v и ρ_n — внутренний и внешний радиусы светящейся области соответственно.

Экспериментально ФПК измерялась голографическим методом, предложенным в [3] с абсолютной погрешностью ≈ 0.03 внутри области волнового фронта, не превосходящей радиуса источника излучения, где ФПК должна быть практически однородной. На рис. 2 представлено сравнение расчета по полученным в данной работе формулам при $\alpha = 2$ с экспериментальными результатами (они обозначены точками с указанием погрешности). Совпадение в пределах погрешности эксперимента с расчетом по полученной выше формуле для ФПК излучения объемного источника подтверждает адекватность нашего расчета реальным условиям.

Итак, в данной работе получена и экспериментально проверена формула для ФПК объемного источника, включающая в себя как частный случай теорему Ван Циттерта—Цернике. Показано, что особенно в области небольших значений ФПК применение объемного источника может значительно улучшить пространственную когерентность.

Авторы выражают благодарность А. Г. Жиглинскому и Г. Г. Кунд за ценные советы.

Литература

- [1] М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. «Наука», М., 1973.
- [2] Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Лёш. Специальные функции. «Наука», М., 1968.
- [3] А. Г. Жиглинский, Г. Г. Кунд, А. О. Морозов. Опт. и спектр., 42, 1158, 1977.

Поступило в Редакцию 10 апреля 1978 г.