

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работы 4.3.2

Дифракция когерентного излучения на шероховатой поверхности.

Выполнил студент:

Сериков Василий Романович

группа: Б03-102

Москва, 2023 г.

Аннотация

Цель работы:

Получение и исследование изображений стохастических дифракционных полей (спеклов), приобретение навыков обработки двумерных цифровых сигналов.

В работе используются:

Гелий-неоновый лазер, матовая пластинка, поляририд, цифровая камера, компьютер.

Теория:

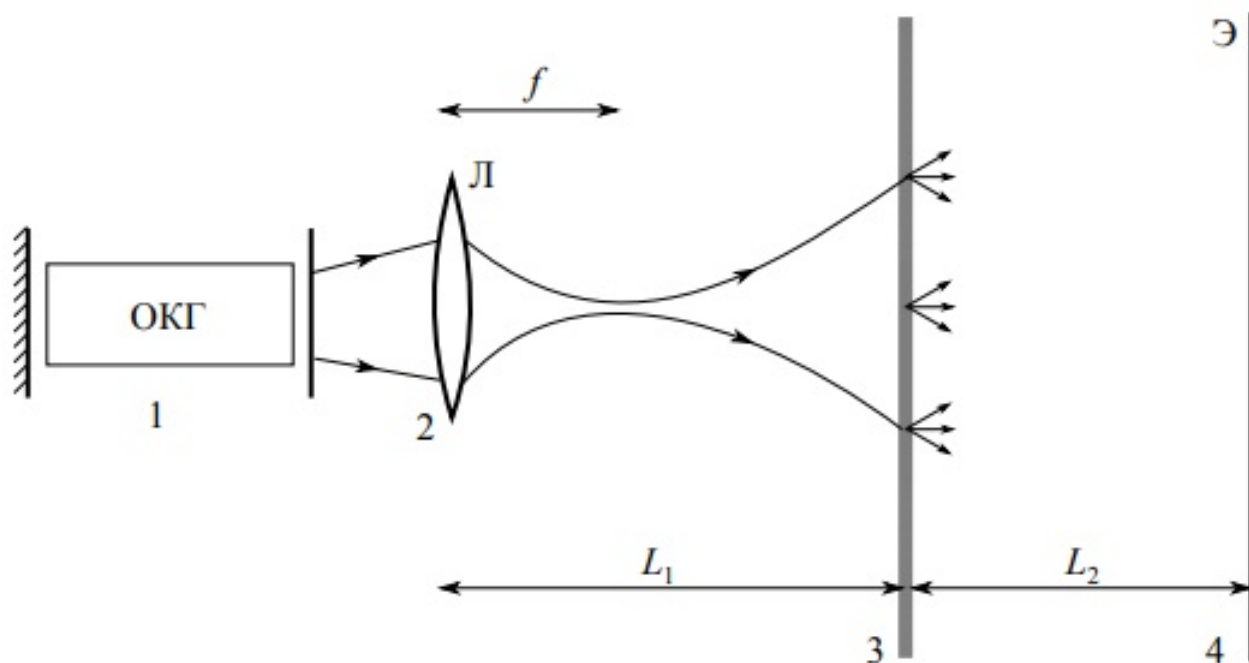


Рис. 1: Схема получения спекл-картины: 1 — гелий-неоновый лазер, 2 — линза, 3 — рассеиватель, 4 — экран или фотокамера

Источником излучения служит He–Ne-лазер с длиной волны излучения 0,63 мкм. Пучок излучения, формируемый линзой, рассеивается на матовой стеклянной пластинке, на экране наблюдается спекл-картина рассеяния. В простых экспериментах можно исследовать зависимость спекл-картины от поперечного размера лазерного луча на рассеивателе: чем «острее» фокусировка, тем более крупные спеклы возникают на экране, и, наоборот, увеличение диаметра луча приводит к уменьшению размеров спеклов. При увеличении расстояния L_2 между рассеивателем и экраном спеклы увеличиваются в размере.

Из качественного описания ясно, что вид спекл-картины определяется возмущениями фронта световой волны, вносимыми шероховатой рассеивающей поверхностью. Возмущения волнового фронта создаются случайной функцией $h(x, y)$, поэтому для анализа этих возмущений необходимо

использовать статистические методы.

Гелий-неоновый лазер генерирует слабо расходящийся пучок света на длине волны $\lambda = 0,63$ мкм. Можно принять, что на выходе из лазера пучок имеет плоский волновой фронт, а распределение интенсивности света в пучке описывается гауссовой функцией:

$$I_L(\mathbf{r}) = |E_L(\mathbf{r})|^2 = I_0 e^{-\frac{r^2}{\rho_L^2}}, \quad (1)$$

где ρ_L — поперечное расстояние от оси лазерного луча, на котором интенсивность уменьшается в e раз по сравнению с максимальной. На выходе лазера $\rho_L \approx 100$ мкм. Как известно, при распространении гауссова пучка его поперечный размер ρ_l увеличивается, но форма сохраняется. Линза, показанная на рис. 1, изменяет размер пучка, но не меняет его гауссовой формы. Матовая пластинка, стоящая на пути лазерного луча, вносит поперечную неоднородность в световое поле и значительно увеличивает угловую расходимость пучка. Когерентное лазерное излучение преобразуется матовой поверхностью в поперечно-некогерентное.

Согласно определению, корреляционной функцией Ψ является функция

$$\Psi_h(\rho) = \langle h(r)h(r+\rho) \rangle - \langle h(r) \rangle^2 \quad (2)$$

где ρ - смещение относительно точки r , скобки $\langle \dots \rangle$ означают усреднение по всем точкам поверхности. Функция показывает, насколько в среднем изменяется величина h , при смещении из данной точки на расстояние ρ . Другими словами, насколько значение $h(r)$ и $h(r+\rho)$ скоррелированы между собой. Для однородной пластинки функция Ψ не зависит от выбора точки r , а определяется только величиной смещения ρ , т. е. $\Psi_h = \Psi_h(\rho)$. Общие соображения позволяют представить качественно вид функции $\Psi_h(\rho)$. При $\rho = 0$ значения $h(\mathbf{r})$ и $h(\mathbf{r}+\rho)$ одинаковы, т. е. их корреляция наибольшая, а функция $\Psi_h(\rho)$ достигает максимума (в этом случае $\Psi_h(\rho) = \langle h^2(r) \rangle - (\langle h(r) \rangle)^2 = \sigma_h^2$, согласно определению дисперсии). При больших значениях ρ в силу случайного характера функции h значения $h(r)$ и $h(r+\rho)$ оказываются независимыми и функция $\Psi(\rho) \rightarrow 0$. Таким образом, функция $\Psi_h(\rho)$ должна достигать максимального значения при $\rho = 0$ и уменьшаться с ростом ρ . Обычно хорошим приближением для корреляционной функции $\Psi_h(\rho)$ является функция Гаусса:

$$\Psi_h(\rho) = \sigma_h^2 e^{-\frac{\rho^2}{\rho_h^2}}$$

где ρ_h - характерное расстояние, называемое радиусом корреляции, на котором функция корреляции уменьшается в e раз.

Ход работы:

1. Получим изображения спеклов, полученных через матовую пластинку. По полученным фотографиям рассчитаем с помощью программы «Индикатриса» следующие параметры: радиус индикатрисы рассеяния ρ_h , параметр шероховатости ζ .

$$\rho_h = d \cdot m$$

$$\zeta := \frac{\rho_h}{2 \cdot L_2 \cdot (n_\lambda - 1)}, \quad n_\lambda = 1,5 - \text{показатель преломления стекла}$$

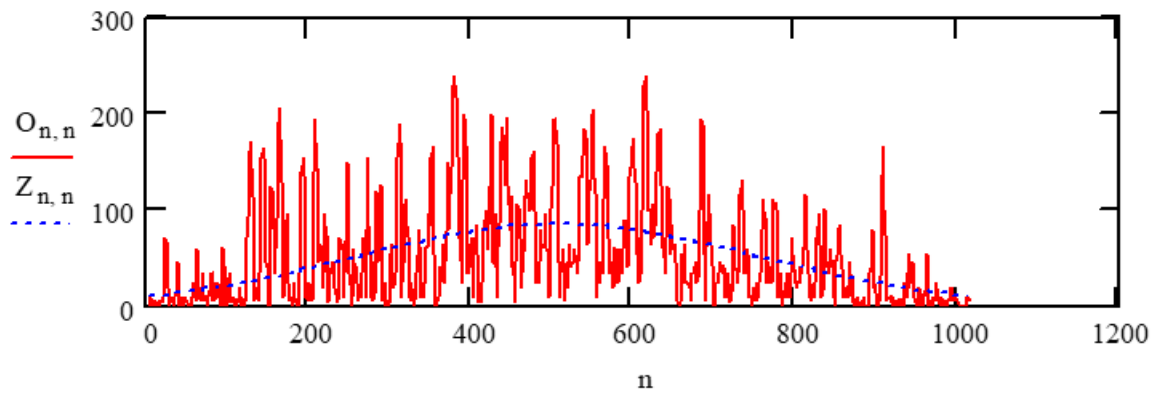
L_1 , мм	L_2 , мм	m, пиксель	ρ_h , мм	ζ	d, мм
20	20	493	2,317	0,116	$4,7 \cdot 10^{-3}$
30	20	514	2,416	0,121	

Таблица 1: Полученные значения ρ_h и ζ

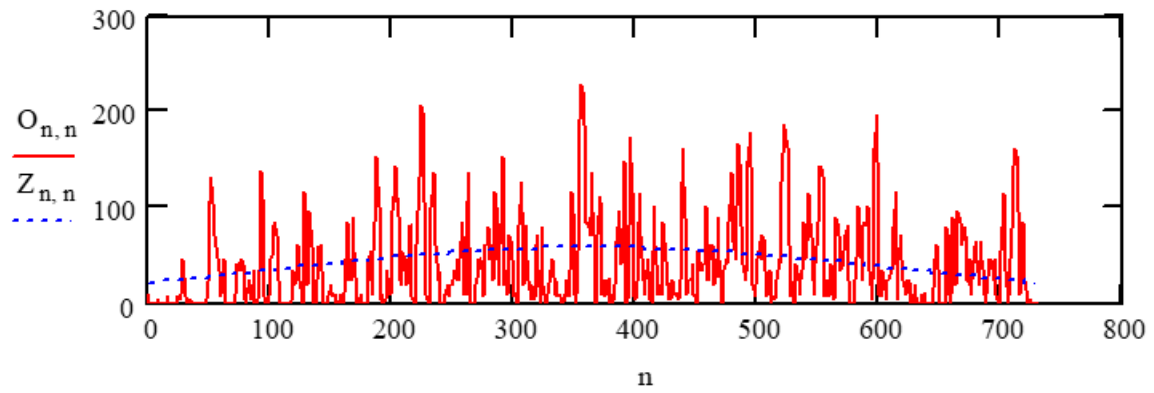
2. Исследуем зависимость интенсивности спекл-картины по пикселям.

Распределение интенсивности по пикселям в центральной области спекл-картины

а) $L_1 = 20$ мм, $L_2 = 20$ мм



б) $L_1 = 30$ мм, $L_2 = 20$ мм



3. С помощью программы "Корреляция" узнаем радиус корреляции ρ_c и оценим радиус лазерного пучка ρ_L по полученным данным.

$$\rho_L = \frac{\lambda L_2}{\sqrt{2}\pi\rho_c}, \lambda = 630\text{нм}$$

L_1 , мм	L_2 , мм	m, пиксель	ρ_c , мм	d, мм
20	20	4	0,019	$4,7 \cdot 10^{-3}$
20	40	7	0,033	
20	60	10	0,047	
20	80	13	0,061	
30	20	3	0,014	
30	40	6	0,028	
30	60	8	0,038	

Таблица 2: Полученные значения ρ_c . $\sigma_{\rho_c} = 0,002$ мм

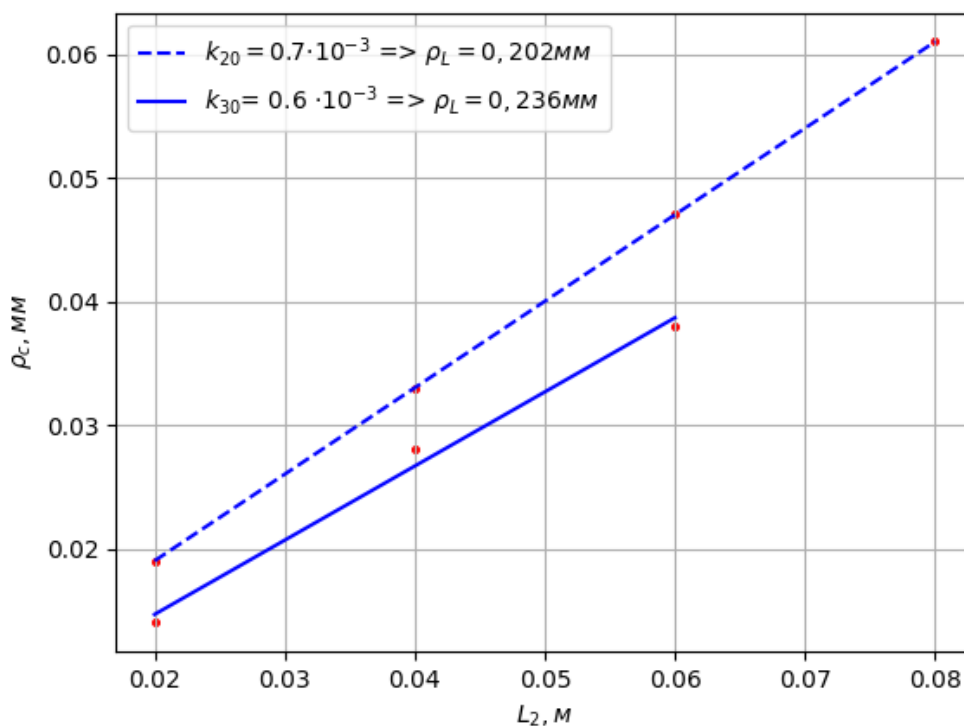


Рис. 2: График зависимости $\rho_c(L_2)$ и значения радиуса лазерного пучка

Обсуждение результатов и выводы:

В ходе данной работы мы познакомились с явлением дифракции на шероховатой поверхности, получили картины спеклов и по ним с помощью программного обеспечения mathcad определили параметр шероховатости поверхности, рассчитали радиус лазерного пучка $\bar{\rho} = 219 \pm 2$ мкм, определили радиусы корреляции и индикатрисы рассеяния.