

Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)



Вопрос по выбору

«Определение параметров оптического пучка методом лезвия»

Выполнил:
студент 1 курса ЛФИ
Сливка Глеб

Содержание

1	Теоретические сведения	2
1.1	Уравнение гауссова пучка	2
1.2	Интенсивность	3
1.3	Мощность	3
1.4	Ширина пучка	3
2	Определение параметров луча методом острия ножа	4
2.1	Методика измерений	4
2.2	Математика эксперимента	4
2.3	Экспериментальные данные	5

1 Теоретические сведения

1.1 Уравнение гауссова пучка

Рассмотрим параксиальную волну, её комплексная амплитуда записывается так:

$$u(\vec{r}) = A(\vec{r}) \exp(-jkz). \quad (1)$$

Одно из решений параксиального уравнения Гельмгольца приводит к гауссову пучку. Уравнение комплексной огибающей гауссова пучка:

$$A(\vec{r}) = \frac{A_1}{q(z)} \exp\left(-jk \frac{\rho^2}{2q(z)}\right); \quad q(z) = z + jz_0, \quad (2)$$

где $q(z)$ — q-параметр пучка, z_0 — рэлеевская длина. Записав действительную и мнимую части комплексной функции получим:

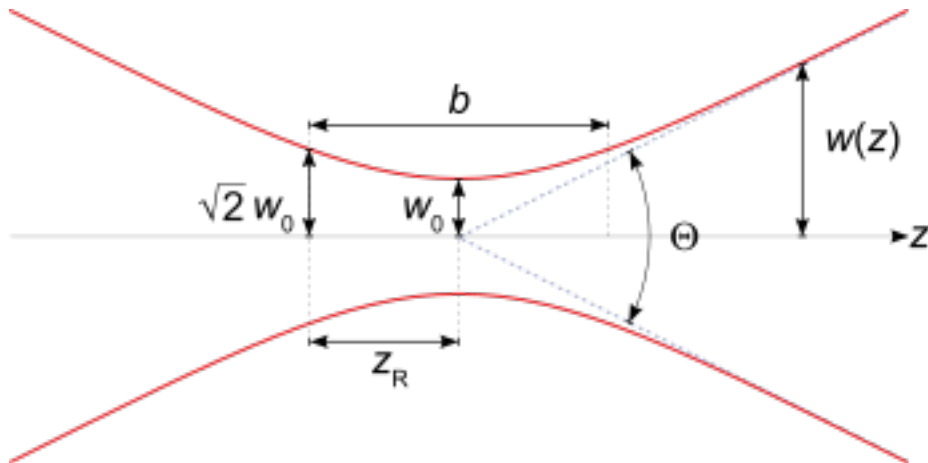
$$\frac{1}{q(z)} = \frac{1}{R(z)} - j \frac{\lambda}{\pi \omega^2(z)}, \quad (3)$$

где R — радиус кривизны пучка, ω — радиус пучка. Из (2) и (3) получи выражения для комплексной амплитуды гауссова пучка:

$$u(\vec{r}) = A_0 \frac{\omega_0}{\omega(z)} \exp\left[\frac{-\rho^2}{\omega^2(z)}\right] \exp\left[-jkz - jk \frac{\rho^2}{2R(z)} + j\zeta(z)\right] \quad (4)$$

$$\omega(z) = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}, \quad (5)$$

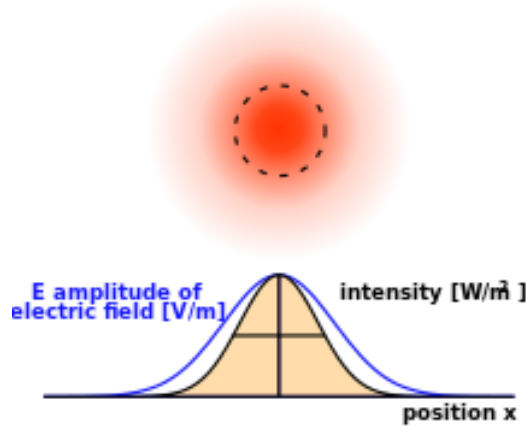
$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right]. \quad (6)$$



1.2 Интенсивность

Оптическая интенсивность $I(\vec{r}) = |u(\vec{r})|^2$ есть функция аксиальной z и радиальной $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ координат точки:

$$I(\rho, z) = I_0 \left(\frac{\omega_0}{\omega(z)} \right)^2 \cdot \exp \left[\frac{-2\rho^2}{\omega^2(z)} \right]. \quad (7)$$



1.3 Мощность

Полная оптическая мощность, которую переносит луч, есть интеграл от интенсивности по любой поперечной плоскости:

$$P = \int_0^\infty I(\rho, z) 2\pi\rho d\rho, \quad (8)$$

вычислив получаем

$$P = \frac{1}{2} I_0 (\pi\omega_0^2). \quad (9)$$

Таким образом зависимость интенсивности пучка выражается следующим образом:

$$I(\rho, z) = \frac{2P}{\pi\omega^2(z)} \exp \left[\frac{-2\rho^2}{\omega^2(z)} \right] \quad (10)$$

1.4 Ширина пучка

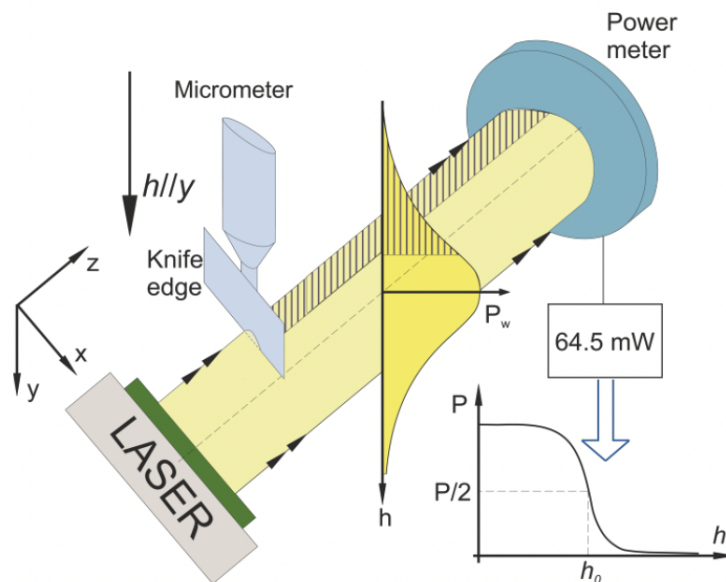
Так как интенсивность имеет гауссоваго распределение, то чётких границ у луча нет, поэтому чтобы определить радиус надо договориться. За радиус пучка принято принимать такое расстояние, при отступлении которого от центра пучка интенсивность падает в $1/e^2$ раз. Это расстояние равно $\rho = \omega$. 86 % мощности пучка переносится внутри этого круга.

2 Определение параметров луча методом острия ножа

2.1 Методика измерений

Метод основан на размещении перед гауссовым пучком лезвия, которое, с помощью микromетра, постепенно его перекрывает. Луч, после прохождения лезвия, попадает в мощемер. Метод ножа очень удобен, так как его можно использовать для широкого диапазона волн.

При настройке установки мощемер расположим так, чтобы луч попадал в него перпендикулярно и в центр. Для этого установим его так, чтобы он показывал максимальную мощность. До этого откалибруем его по фоновой засветке.



2.2 Математика эксперимента

Мощность, которую показывает прибор минимально, когда лезвие полностью перекрывает луч и максимально, когда весь луч попадает в прибор. Пусть лезвие смещено на расстояние h относительно начального положения, тогда для показания прибора можно записать следующую формулу.

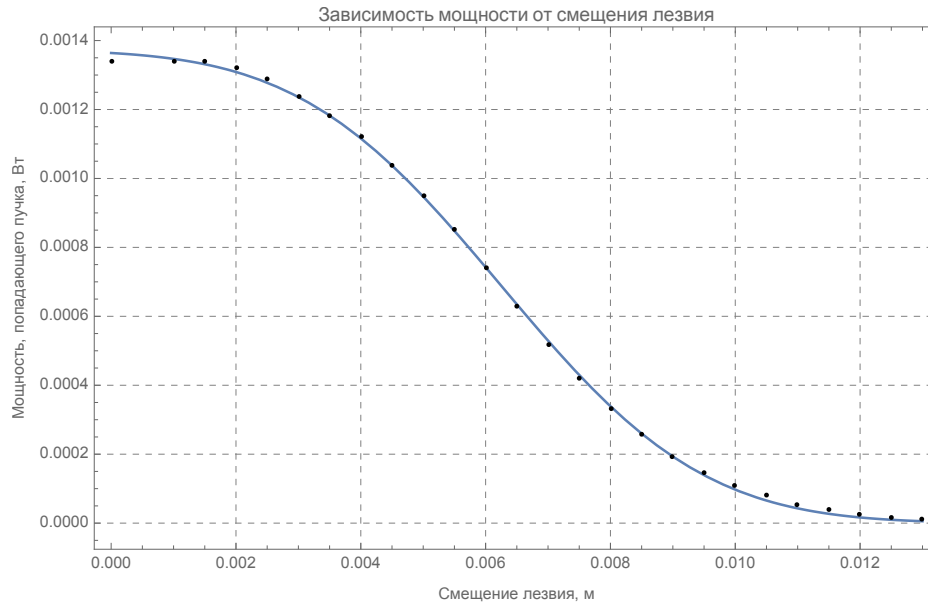
$$P(h) = \int_h^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} I(x, y) dx dy,$$

после преобразований получаем формулу экспериментальной кривой:

$$P(h) = \frac{P}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left[\frac{(h - h_0)\sqrt{2}}{\omega} \right] \right).$$

2.3 Экспериментальные данные

Сняв точки получим следующий график зависимости мощности пучка, которая попадает в прибор, от смещения лезвия. С помощью wolfram mathematica получаем значения для нашего пучка: $\omega = 5.09 \text{ mm}$ — радиус пучка на $1/e^2$, $h_0 = 6.3 \text{ mm}$ — координата центра пучка, $P_0 = 13 \text{ mW}$.



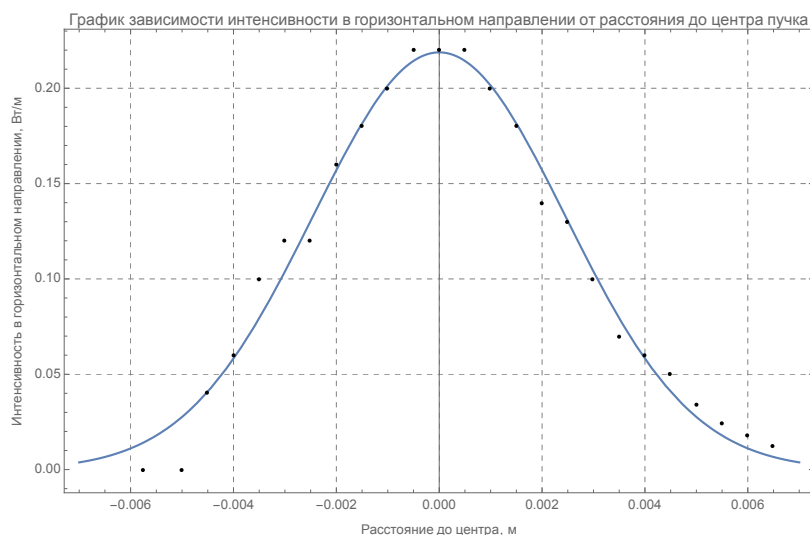
Производя численное дифференцирование для всех измеренных точек, получаем, что интенсивность пучка в горизонтальном направлении, в точке

$$x = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} - x_0$$

равна

$$f'_i = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i}.$$

Отсюда получаем график зависимости интенсивности в горизонтальном направлении от смещения.



Используя формулу (10) построим график зависимости интенсивности от расстояния до центра пучка.

