

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. И.  
ЛОБАЧЕВСКОГО  
РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Отчет по лабораторной работе

# **Преобразование лазерного излучения методами нелинейной оптики**

Работу выполнили студенты  
4М51 группы радиофизического факультета  
**Сарафанов Ф.Г., Леонов С.В.**

Нижний Новгород, 20 ноября – 28 декабря 2020 г.

# Содержание

<b>Введение</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>1. Метод обращения волнового фронта</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>2. Эксперимент</b> . . . . .	<b>4</b>
2.1. Зависимость мощности пучка от тока накачки . . . . .	4
<b>3. Задания</b> . . . . .	<b>5</b>
3.1. Время релаксации . . . . .	5
3.2. Коэффициент отражения . . . . .	6
<b>Заключение</b> . . . . .	<b>6</b>

## Введение

В данной работе исследуется преобразование структуры лазерного излучения. Рассматривается два метода: метод *попутного двухволнового взаимодействия и обращения волнового фронта при четырехволновом смещении*, основанные на интерференции монохроматических волн в нелинейной среде  $\varepsilon(|\mathbf{E}|)$ . В такой среде не выполняется принцип суперпозиции, а распространение волны в такой среде можно рассматривать как самодифракцию на периодической структуре  $\varepsilon$ , которая порождается распространяющимися в нелинейной среде волнами.

**Установка.** Для исследования ОВФ при четырёхволновом взаимодействии используется установка, общий принцип которой заключается в разделении излучения основного лазера на опорное и сигнальное с помощью системы зеркал, поляризаторов, линз и направлении их с помощью фокусирующей линзы в НЖК-ячейку с зеркальным покрытием на обратной стороне, формирующим встречную волну накачки. В установке имеются два фотоприёмника, позволяющие измерить мощность опорного, сигнального и обращённого пучков.

## 1. Метод обращения волнового фронта

Суть метода ОВФ заключается в создании пучка с обращённой фазой. Это можно объяснить на следующем примере: пусть через неоднородную среду, дающую фазовые искажения, проходит пучок. Он исказится. Если за средой поставить обычное зеркало, то пройдя еще раз через нелинейную среду, пучок исказится еще сильнее: если же поставить ОВФ-зеркало, то при выходе из среды отражённый пучок будет не искажён.

Важной характеристикой ОВФ-зеркала является коэффициент отражения

$$\tilde{r} = \frac{\tilde{E}_{\text{обр}}^*}{\tilde{E}_{\text{сиг}}}$$

ОВФ при взаимодействии четырех волн (обращённая, сигнальная и опорные волны) в среде с тепловым механизмом нелинейности (нематические жидкие кристаллы к ним относятся) описывается уравнениями поля

$$\Delta \bar{E} + k^2 \tilde{E} - ik^2 \frac{4\pi\sigma_0}{\varepsilon_0\omega} \tilde{E} = -k^2 \frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0} \tilde{E}$$

и диэлектрической проницаемости

$$\frac{\delta\varepsilon}{\tau_0} - \chi\Delta\delta\varepsilon = \frac{\sigma_0}{\rho_0 C_p} \cdot \left( \frac{\partial\varepsilon}{\partial T} \right)_p |\mathbf{E}|^2 (2\pi/\omega).$$

Здесь записаны уравнения для поля четырёх волн

$$\begin{aligned} \tilde{E} = & \left[ \tilde{E}_1 \exp(ik_x x) + \tilde{E}_3 \exp(-ik_x x) \right] \exp(-ik_z z) + \\ & + \left[ \tilde{E}_2 \exp(-ik_x x) + \tilde{E}_4 \exp(ik_x x) \right] \exp(ik_z z). \end{aligned}$$

Не будем останавливаться на подробном исследовании этой системы уравнений, опишем только общую схему получения интересующего нас комплексного коэффициента отражения. Будем рассматривать случай, когда основной вклад в эффект ОВФ дают пропускающие

решетки, возникающие за счет попутных волн. При этом можно искать  $\delta\varepsilon(z)$  в виде суммы ММА

$$\delta\varepsilon(z) \cong \delta\varepsilon''(z) + \left[ \frac{1}{2} \delta\tilde{\varepsilon}(z) \exp(2ik_x x) + \text{к.с.} \right].$$

Подставляя это выражение в уравнения поля, получим систему, которую можно привести к безразмерному виду и дополнить граничными условиями неравенства нулю полей всех волн, кроме обращённой, на границах среды, вызывающей ОВФ-эффект.

Далее следует принять приближение о том, что мощность накачки много больше мощности сигнала и обращённой волны и считать поля накачек заданными. Тогда система уравнений разделяется на независимые уравнения для сигнальной и обращённой волн. Такую систему оказывается возможно разрешить аналитически найдя первый интеграл и перейдя к неоднородному уравнению для КА сигнальной волны.

В итоге в приближении слабого поглощения средой и равноинтенсивных накачках выражение для коэффициента отражения по интенсивности

$$r^2 = \text{tg}^2 \left( \frac{\sigma_0 I_0}{4\varepsilon_0 \rho_0 C_p} \frac{\tau_0}{1 + 4\chi k_x^2 \tau_0} \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_p \cdot L \right)$$

## 2. Эксперимент

### 2.1. Зависимость мощности пучка от тока накачки

Была получена зависимость мощностей трёх пучков - опорного, сигнального и обращённого от тока накачки диодного лазера. При превышении током накачки порогового значения начинается лазерная генерация, и выходная мощность лазера начинает линейно зависеть от тока накачки.

В нашем случае можно считать ток и мощность пучка накачки линейно связанными.

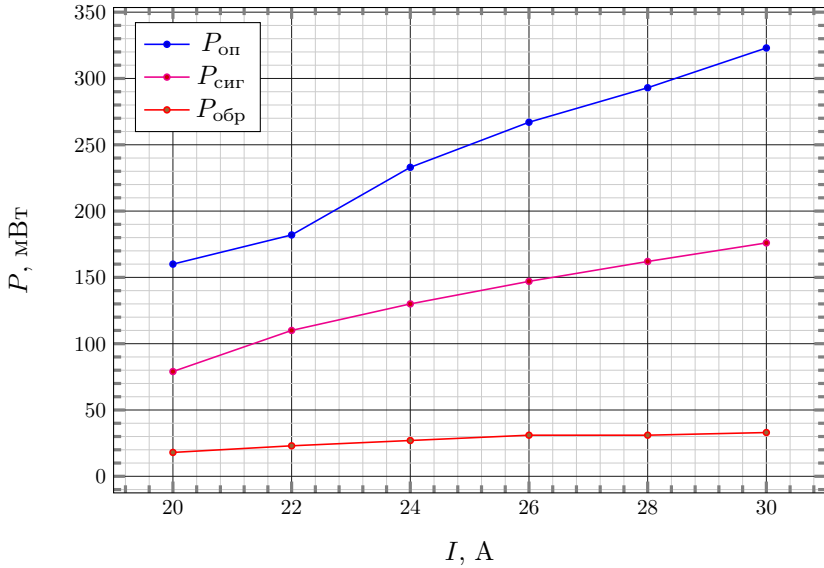


Рис. 1. Мощность опорного пучка, сигнального и обращённого

### 3. Задания

#### 3.1. Время релаксации

Рассчитаем теоретически время релаксации показателя преломления в пропускающей решетке по формуле

$$\tau_r = \frac{\tau_0}{1 + 4\chi k_x^2 \tau_0} = 7.11 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

где  $\tau_0 = 16 \cdot 10^{-4}$  с,  $\chi = 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с,  $k_x = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$ ,  $\lambda = 1064 \cdot 10^{-9}$  м,  $\theta \approx 5/330$  рад.

### 3.2. Коэффициент отражения

Считая  $\sigma_0 = 59.5 \cdot 10^6$  Сименс/м и рассчитывая интенсивность из известных экспериментальных условий как

$$I_0 = \frac{2P_{\text{оп}}}{S_{\text{пучка}}}, \quad \text{где} \quad S_{\text{пучка}} = \pi \left( \frac{d_{\text{пучка}}}{2} \right)^2.$$

Здесь  $d = 10^{-3}$  м, и для разных входных мощностей (токов накачки) посчитаны значения коэффициента отражения  $r^2 = \text{tg}^2(G \cdot l)$ . В  $G$  взяты значения  $\epsilon_0 = \sqrt{n} = \sqrt{1.5}$ ,  $\rho_0 C_p \approx 10^6$  Дж/м<sup>3</sup>К,  $(\frac{\partial \epsilon}{\partial T})_p \approx 10^{-3}$  К<sup>-1</sup>. Полученные значения предоставлены на графике ниже.

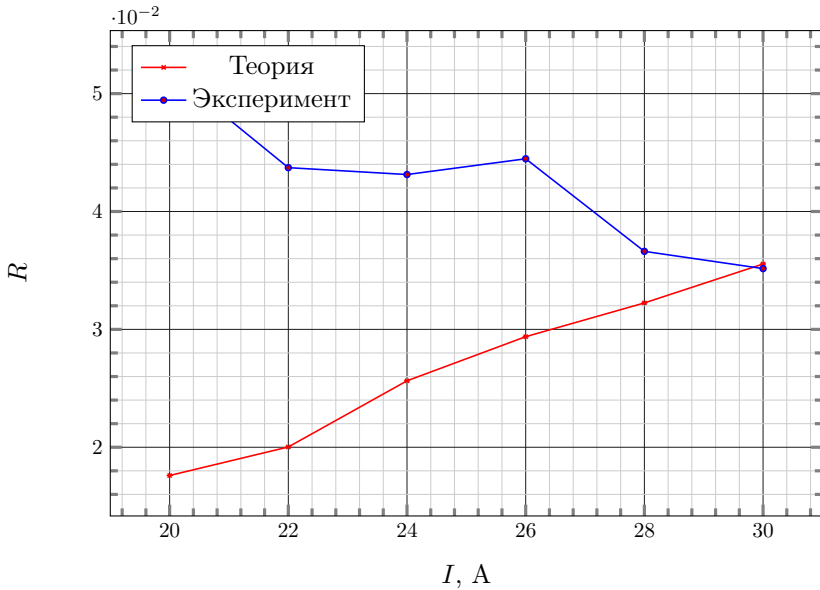


Рис. 2. Коэффициент отражения

## Заключение

В настоящей работе мы изучили методы преобразования излучения двух- и четырех- волновым взаимодействием, рассчитали коэффициент отражения ОВФ-зеркала, получили зависимости мощностей трех пучков от тока накачки.

## Список литературы

- [1] Миловский Н. Д., Мартынова О. В., Зиновьев А. П. Преобразование лазерного излучения методами нелинейной оптики: методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2014. – 38 с.