

*Н. Н. Достовалов<sup>1</sup>, С. Л. Шергин<sup>1✉</sup>*

## **Методика определения параметров пучка ИК-лазера при выполнении лабораторных работ по физике**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: serkron@mail.ru

**Аннотация.** Разработана методика определения параметров пучка ИК-лазера ЛТИ-501 на алюмоиттриевом гранате Nd:YAG с длиной волны 1,064 мкм, средней мощностью 5 Вт. Особенности данного лазера являются большая мощность излучения, что приводит к повреждению устройств наблюдения, и невидимый человеческим глазом спектр излучения. Представлена схема проведения исследования, а также краткое описание оборудования, оснастки и программного обеспечения входящих в лабораторный стенд. В результате проведения лабораторного исследования были определены такие параметры лазерного пучка, как диаметр сечения пучка, длина волны излучения, средняя мощность, относительное распределение интенсивности излучения в сечении лазерного пучка. Лабораторные исследования на базе представленной методики позволяют обучающимся приобретать и совершенствовать навыки эксплуатации следующих устройств: лазер, спектрофотометр, измеритель мощности, 3D-принтер, цифровая фотокамера. Разработанная методика может использоваться для выполнения нескольких лабораторных работ в рамках раздела «Оптика» дисциплины «Физика».

**Ключевые слова:** ИК излучение, лазерный луч, проектное обучение, лабораторная работа

*N. N. Dostovalov<sup>1</sup>, S. L. Shergin<sup>1✉</sup>*

## **Methodology for Determining the Parameters of an IR-laser Beam when Performing Laboratory Works in Physics**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: serkron@mail.ru

**Abstract.** A technique for determining the beam parameters of the LTI-501 IR-laser on Nd:YAG yttrium aluminum garnet at a wavelength of 1.064  $\mu\text{m}$ , with an average power of 5 W was developed. The features of this laser are high radiation power, which leads to damage of to surveillance devices, and a radiation spectrum invisible to human eye. A diagram of the study is presented, as well as a brief description of the equipment, accessories and software included in the laboratory stand. As a result of laboratory research, the following laser beam parameters were determined: beam cross-section diameter, radiation wavelength, average power, relative radiation intensity distribution in the laser beam cross-section. Laboratory research based on the presented methodology allows students to acquire and develop skills in operating devices such as laser, spectrophotometer, power meter, 3D printer, digital camera. The developed methodology can be used to perform several laboratory works within the “Optics” section of the “Physics” discipline.

**Keywords:** IR radiation, laser beam, project training, laboratory work

### ***Введение***

В мире существует различный инструментарий, позволяющий пробудить интерес и повысить усвоение технических наук. К подобным инструментам

относятся, например, натурные демонстрации [1, 2], виртуальные демонстрации и комбинированные эксперименты на базе цифровых технологий [3–5], проектное обучение [6–8]. Прикладной эксперимент является одним из методов познания и в некоторых случаях, способом практического и наглядного, а, следовательно, и более глубокого освоения теоретического материала.

### *Методы и материалы*

На кафедре физики СГУГиТ продолжается разработка и внедрение новых практических работ для образовательных целей при изучении технических дисциплин. В данном сообщении представлена методика определения некоторых параметров пучка ИК-лазера при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Физика» в разделе «Оптика». В качестве исследуемой оптической системы использовался твердотельный лазер ЛТИ-501 на алюмоиттриевом гранате Nd:YAG с длиной волны излучения 1,064 мкм, средней мощностью 5 Вт (рис. 1).



Рис. 1. Лазер ЛТИ-501

Особенностью лазера является то, что его длина волны излучения находится вне видимого спектра, в результате чего не удастся осуществлять визуальное наблюдение и исследование лазерного пучка. Для этого используются устройства, способные фиксировать излучение ближнего ИК спектра, например фотокамеры на базе кремниевых ПЗС и КМОП матриц с чувствительностью в диапазоне длин волн от 0,35 до 1,1 мкм. В исследовании применялась цифровая камера Pentax Optio M10 (рис. 2).



Рис. 2. Цифровая камера Pentax Optio M10

Еще одной особенностью излучения используемого лазера и сложностью проведения экспериментальных работ является большая мощность лазерного излучения, что приводит к повреждению фоточувствительной матрицы или выгоранию экрана в месте падения лазерного пучка. Эти проблемы решались путем применения в лабораторном эксперименте комплекта из нескольких светофильтров с пропусканием от 4 % до 94 % (рис. 3 а, б). Предварительно, для удобства использования светофильтров в оптическом канале, была изготовлена оснастка с использованием 3D-принтера (рис. 3 в, г). Необходимый процент пропускания оптической системы достигался компоновкой (комбинацией) различных образцов светофильтров из имеющегося комплекта.

Также использовался спектрофотометр СФ-56 (рис. 4) для определения коэффициента пропускания светофильтров на длине волны 1,064 мкм.

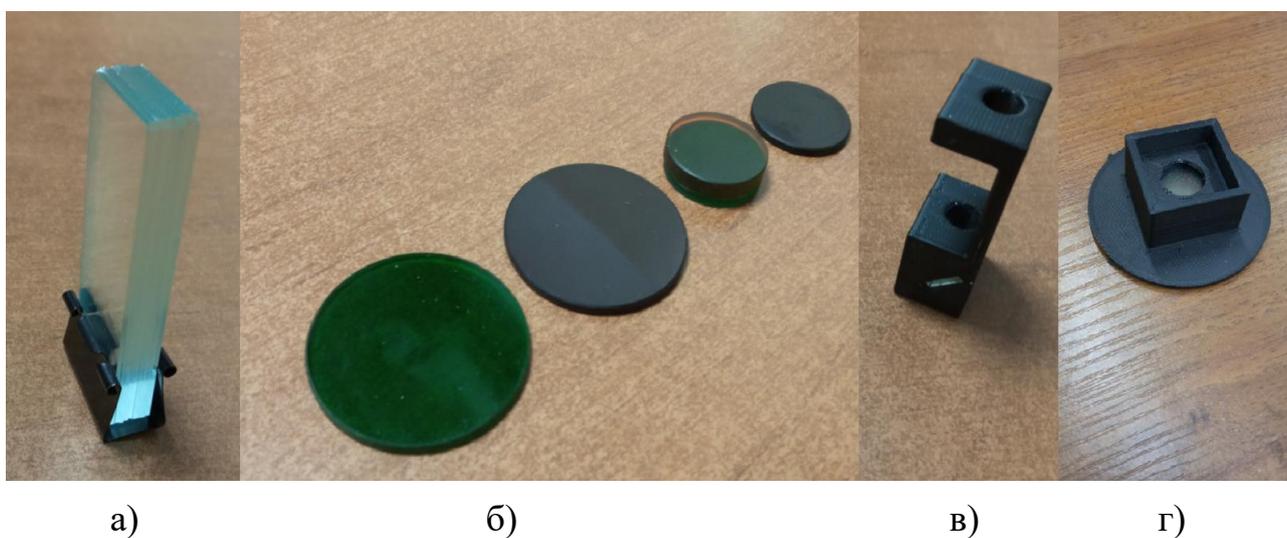


Рис. 3. Комплект светофильтров с оснасткой: а) фильтры для лазера; б) фильтры для камеры; в) оснастка для фильтров; г) оснастка с фильтрами для измерителя мощности



Рис. 4. Спектрофотометр СФ-56

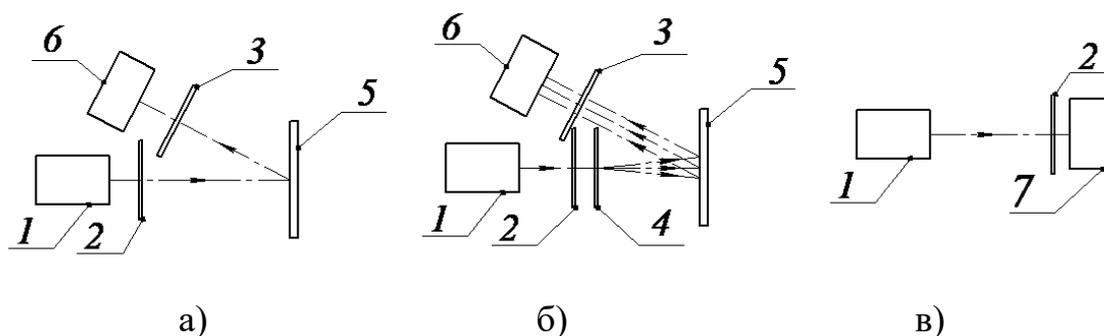
В качестве экрана использовалась масштабно-координатная бумага. Длина волны лазерного пучка определялась известным косвенным методом дифракции на пропускающей дифракционной решетке, при этом использовалась дифракционная решетка с периодом 20 мкм. Для определения средней мощности лазера применялся измеритель мощности Ophir Pulsar (рис. 5), подключенный к персональному компьютеру.



Рис. 5. Измеритель мощности Ophir Pulsar

Во время проведения работ необходимо соблюдать технику безопасности, поэтому все обучающиеся, присутствующие при проведении экспериментов, должны находиться в специальных очках, защищающих от лазерного излучения исследуемой области спектра.

Методика проведения измерений параметров лазерного пучка заключалась в следующем. Производился монтаж устройств экспериментальной установки по схемам (рис. 6).



1 – лазер; 2, 3 – фильтры для лазера и камеры; 4 – дифракционная решетка; 5 – экран; 6 – камера; 7 – измеритель мощности.

Рис. 6. Схемы проведения экспериментов: а) измерение диаметра и распределения интенсивности в пятне лазерного излучения; б) длины волны излучения; в) измерение мощности

Перед выходным окном лазера и перед объективом камеры устанавливались светофильтры с необходимым коэффициентом пропускания, чтобы не «сжечь» фотоприемную матрицу и масштабную-координатную бумагу лазерным излучением. Луч освещал масштабную-координатную бумагу для предварительной оценки диаметра лазерного пятна. Далее регистрировались несколько кадров лазерного пятна на поверхности экрана, и по фотографии пятна определялся диаметр лазерного пучка.

Затем производилась компьютерная обработка той же фотографии при помощи программы ImageJ с открытым исходным кодом для анализа и обработки изображений, и выводилось относительное распределение интенсивности по сечению лазерного пучка.

Далее, на пути лазерного пучка, между экраном и лазерной установкой располагали дифракционную решетку и фотографировали дифракционную картину на экране (рис. 7).



Рис. 7. Дифракционная картина излучения ИК-лазера, прошедшего сквозь дифракционную решетку

Исходя из значения периода дифракционной решетки, расположения дифракционных максимумов и расстояния от решетки до экрана, рассчитывали длину волны лазерного пучка известными методами.

На следующем этапе вместо экрана и дифракционной решетки устанавливали измеритель мощности Ophir Pulsar и производили измерения средней мощности лазерного пучка. Измерение средней мощности проводили в непрерывном режиме работы лазера (рис. 8).

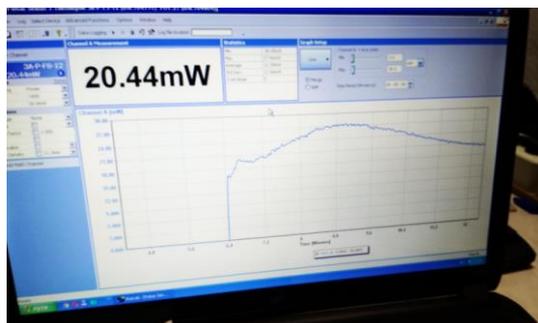


Рис. 8. Картина измерений средней мощности ИК-лазера в режиме реального времени

## *Результаты*

В результате проведения лабораторного исследования были определены следующие параметры пучка лазерного излучения установки ЛТИ-501: диаметр пучка  $\approx 2$  мм; длина волны  $\approx 1,06$  мкм; средняя мощность  $\approx 2000$  мВт. Далее приведены фото и график относительного распределения интенсивности излучения в сечении лазерного пучка (рис. 9 а, б).

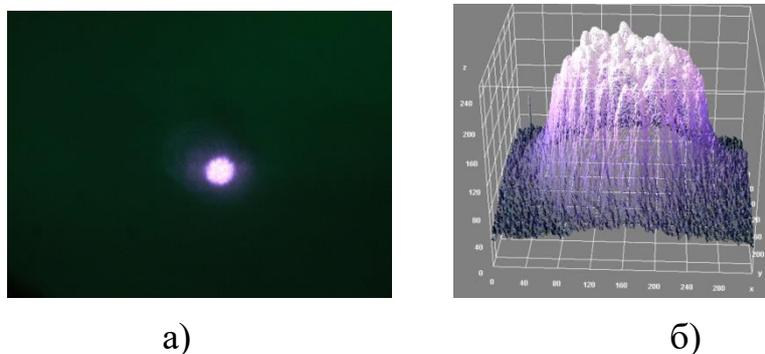


Рис. 9. а) фото лазерного пятна; б) распределение интенсивности излучения в сечении лазерного пучка, построенное при помощи программы ImageJ

Погрешности искомых значений определялись путем обработки многократных измерений известными методами. В результате, погрешность измерения диаметра лазерного пучка составила  $\approx \pm 0,3$  мм, а погрешность измерения длины волны лазерного пучка составила  $\approx \pm 28$  нм. На фото и графиках компьютерной обработки изображений наблюдалась спекл-структура в сечении лазерного пятна.

## *Заключение*

В процессе проведения представленного лабораторного исследования обучающиеся приобретают и развивают навыки эксплуатации таких устройств, как лазер, спектрофотометр, измеритель мощности, 3D-принтер, цифровая фотокамера. Разработанную методику определения параметров пучка ИК-лазера можно использовать как для выполнения одиночного комплексного исследования, так и для проведения нескольких небольших лабораторных работ по определению каждого параметра в отдельности. Результаты исследований будут внедрены в учебный процесс для обучающихся по направлению подготовки «Фотоника и оптоинформатика» для дисциплины «Физика» и смежных дисциплин, связанных с лазерной техникой.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шергин С. Л., Казацкий С.Г., Сырнева А.С., Никулин Д.М. Профорориентационная работа по естественно-научным дисциплинам как составляющая непрерывного образования // Актуальные вопросы образования. – 2019. – № 3. – С. 67–70.

2. Чесноков В.В., Корнеев В.С., Батомункуев Ю.Ц., Райхерт В.А. Особенности использования комплекса лабораторных работ по волновой оптике в процессе изучения курса физики // Актуальные вопросы образования. – 2014. – № 1. – С. 251.
3. Сырнева А.С. Внедрение цифровых технологий в научно-исследовательскую деятельность обучающихся на кафедре физики // Актуальные вопросы образования. – 2022. – № 2. – С. 156–160.
4. Райхерт В. А., Шергин С. Л., Корнеев В. С. Применение компьютерных технологий для виртуальных демонстраций по физике на примере дифракции на пропускающей решетке // Физическое образование в ВУЗах. – 2020. – Т. 26. – № 4. – С. 79–87.
5. Шергин С. Л. Применение лабораторных установок и моделей компьютерных лабораторных работ для демонстрации физических явлений // Актуальные вопросы образования. – 2022. – № 3. – С. 91–98.
6. Карманов И.Н. Перспективы реализации проектного обучения на кафедре физики СГУГиТ // Актуальные вопросы образования. – 2021. – № 1. – С. 59–62.
7. Достовалов Н. Н., Шергин С. Л. Разработка мини-проекта "камера Вильсона" в рамках реализации проектного обучения // Актуальные вопросы образования. – 2021. – № 2. – С. 164–168.
8. Шергин С. Л. Натурные лабораторные работы по физике как этап проектного обучения // Актуальные вопросы образования. – 2021. – № 2. – С. 189–191.

© Н. Н. Достовалов, С. Л. Шергин, 2024