

УДК 53.535

DOI: 10.21209/2658-7114-2021-16-3-18-25

Анатолий Прокопьевич Дружинин¹,
кандидат физико-математических наук, доцент,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30),
e-mail: anamol-dr18@yandex.ru,
https://orcid.org/0000-0001-8465-746

Татьяна Витальевна Кузьмина²,
кандидат технических наук,
Забайкальский государственный университет
(672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30),
e-mail: kuzmina-tat@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-7592-1395

Методика измерения спектров излучения в лабораторном практикуме по физике и научно-исследовательской работе студента

В качестве одного из важнейших аспектов обучения студентов высших учебных заведений по направлениям инженерно-технического профиля авторы выделяют формирование исследовательских умений. В рамках лабораторного практикума по физике студенты получают навыки профессиональной деятельности в научно-исследовательской и технологической областях. В данной работе рассматривается методика измерения спектров излучения различных источников света, которую авторы предлагают использовать при постановке лабораторных работ по физике. Описаны условия проведения эксперимента и дана схема рабочей установки. Измерения спектров излучения проводят с помощью предварительно отградуированных по пропусканию и спектральной чувствительности монохроматора и фотоприёмника. Приведены примеры измеренных по рассмотренной методике спектров излучения зелёного светодиода, красного полупроводникового лазера и люминесцентной лампы. Даны рекомендации подобных экспериментов при проведении лабораторных работ и научно-исследовательской работы студентов. Предлагаемая методика выполнения лабораторных исследований поможет приобрести навыки работы со спектральной измерительной аппаратурой, научит не только измерять и строить спектры излучения источников света, но и рассчитывать спектральную ширину щели, при которой измеряются спектры и оцениваются погрешности измерений.

Ключевые слова: спектр излучения, светодиод, лазер, люминесцентная лампа, лабораторные работы

¹ А. П. Дружинин является основным автором, организатором исследования, формулирует выводы и обобщает итоги реализации проекта.

² Т. В. Кузьмина систематизировала и анализировала материал исследования.

Введение. В соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ФГОС 3++) по направлениям инженерно-технического профиля высших учебных заведений России выпускники должны готовиться к решению задач профессиональной деятельности в том числе в технологической, научно-исследовательской и проектной областях.

Формирование у студентов научного мировоззрения есть основная задача высшего образования, ведущая роль в решении которой принадлежит фундаментальным дисциплинам, к числу которых относится физика. Роль физики в становлении будущего специалиста технического направления, создателя современной техники и современных технологий, чрезвычайно велика.

При изучении физики необходимо сформировать компетенции, включающие способность использовать методы и законы естественных наук, способность самостоятельно проводить экспериментальные исследования, критически анализировать полученную информацию. Выполнение лабораторных работ по физике позволяет студентам существенно продвинуться в формировании указанных компетенций.

В данной статье рассматривается методика измерения спектров излучения ряда приборов и устройств в лабораторных работах, которые могут выполняться студентами на кафедре физики [1–6].

Методология и методы исследования. Измерения спектров излучения проводят с помощью предварительно отградуированных по пропусканию и спектральной чувствительности монохроматора и фотоприемника. Входной сигнал в виде исследуемого оптического излучения поступает на входную щель монохроматора. Ослабленный по сравнению с падающим монохроматический поток излучения согласно спектральному коэффициенту пропускания оптической системы, выходит через выходную щель монохроматора и попадает на фотоприемник. Измерения потока излучения, вышедшего из монохроматора, производится с помощью приемника света, который подбирается так, чтобы спектральная область чувствительности фотоприемника была шире ожидаемого спектра излучения и достаточной для измерения спектральной плотности излучения в спектре.

На рисунке 1 приведена блок-схема установки для измерения спектров излучения. Измерения проводились на учебном оборудовании кафедры физики ЗабГУ. Принцип действия установки состоит в следующем [4; 5]. Свет от источника излучения (1) поступает на входную щель монохроматора (2). Ширина входной и выходной щелей может изменяться в интервале от 0,1 мм до 3 мм. Монохроматор МУМ-01 разлагает излучение в спектр по длинам волн. Излучение, соответствующее установленной длине волны, через выходную щель попадает на фотоэлемент (3). Блок питания фотоэлемента (4, 5) – измерительный прибор, измеряющий ток фотоэлемента. Показания фототока пропорциональны интенсивности света на данной длине волны. Используемый в данной установке фотоэлемент Ф-25 имеет сурьмяно-калиево-натриево-цезиевый фотокатод с областью спектральной чувствительности от 300 до 800 нанометров. Фотоэлемент Ф-25 имеет кривую относительной спектральной чувствительности типа С-11. На рисунке 2 приведены значения относительной спектральной чувствительности.

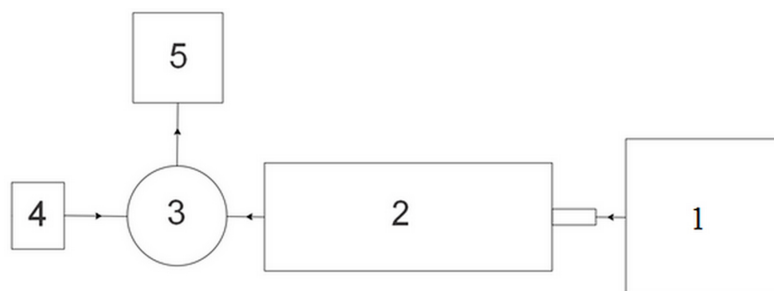


Рис. 1. Блок-схема лабораторной установки для измерения спектров излучения

Fig. 1. Block-diagram of a laboratory installation for measuring radiation spectra

Выбранный фотоприёмник позволяет, как видно из рисунка 2, проводить измерения излучения во всём видимом диапазоне, а также частично захватывает ультрафиолетовую и инфракрасную области. Кривая имеет колоколообразный вид с максимумом на длине волны 430 нм, принимаемым за единицу. На длине волны 300 нм его чувствительность в относительных единицах составляет 0,2, а на длине волны 750 нм она равна примерно 0,05. Для построения правильного графика спектра излучения необходимо значения интенсивности света, измеренные на данной длине волны, разделить на соответствующие значения относительной чувствительности фотоэлемента.

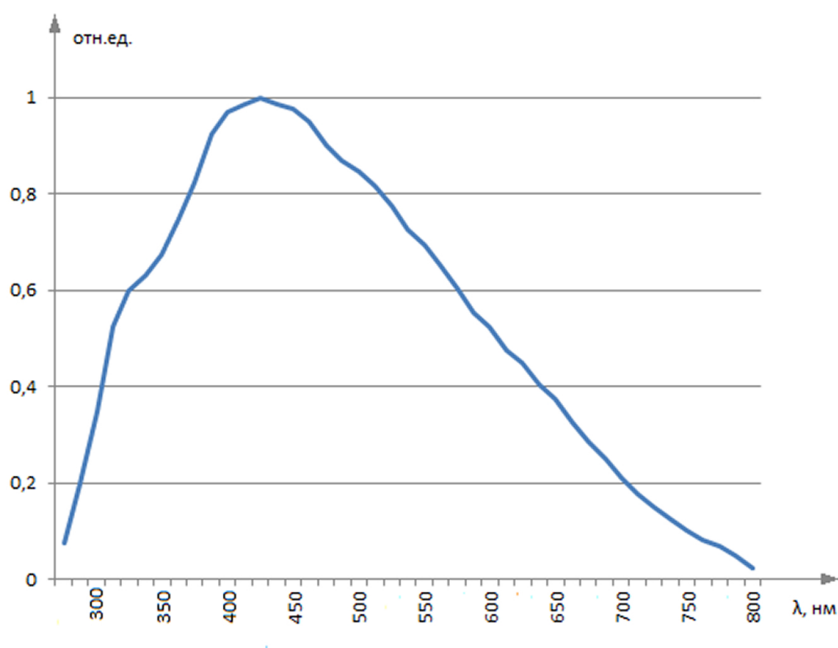


Рис. 2. Относительная спектральная чувствительность фотоэлемента Ф-25 (спектральная характеристика фотокатода)

Fig. 2. Relative spectral sensitivity of the F-25 photocell (spectral characteristic of the photocathode)

Результаты исследования и их обсуждение. На рисунках 3 и 4 в качестве примера приведены измеренные по рассмотренной методике спектры излучения зелёного светодиода и красного полупроводникового лазера [3; 4]. Ширина спектра

излучения для зеленого светодиода составляет 28 нм, а максимум спектрального распределения приходится на длину волны $\lambda_{max} = 525$ нм. Из рисунка 4 видно, что максимум спектра излучения красного лазера составляет $\lambda_{max} = 653$ нм, при полуширине спектра около 0,9 нм.

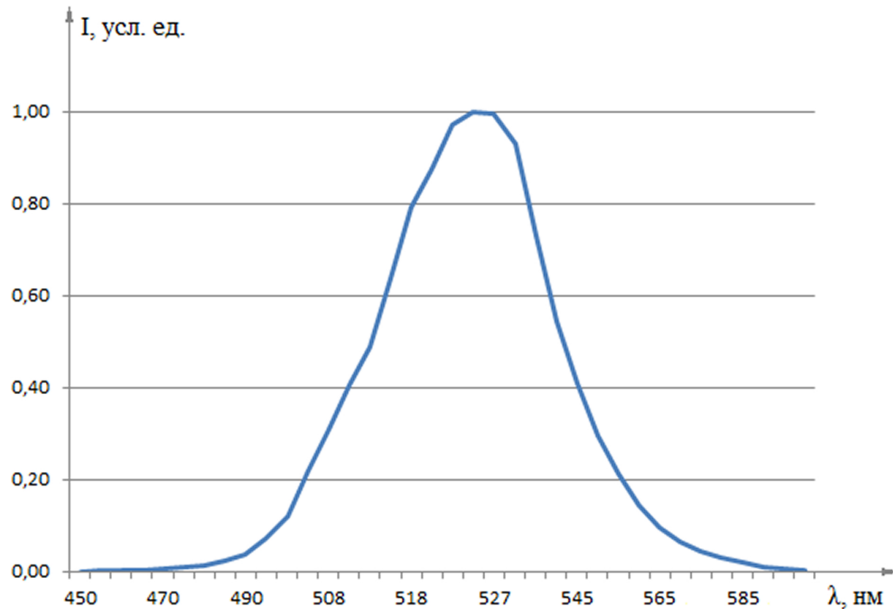


Рис. 3. Спектральный состав излучения зелёного светодиода

Fig. 3. The Spectral composition of the green LED radiation

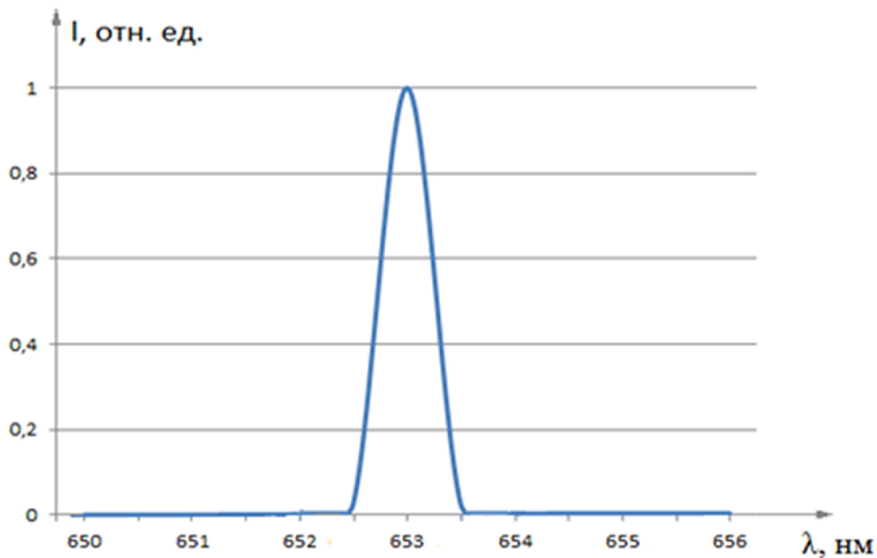


Рис. 4. Спектральный состав излучения красного лазера

Fig. 4. Spectral composition of the red laser radiation

Данные измерения для подобного вида устройств можно проводить в лабораторных работах по физике. Далее рекомендуется провести вычисления ширины запрещенной зоны полупроводника на основании выражения $\Delta E = hc/\lambda$, где h — постоянная Планка, c — скорость света, и оценить погрешности измерений.

На этой же установке можно измерять и более сложные спектры излучения, например спектр тлеющего разряда в неоне или спектр люминесцентной лампы [5; 6]. Спектр излучения люминесцентной лампы приведён на рис. 5, он состоит из 16 максимумов различной интенсивности в видимой и ультрафиолетовой областях связанных с излучением атомов ртути и вторичным излучением люминофора. Измерения подобных спектров требуют достаточно кропотливой экспериментальной работы, а также тщательного анализа природы спектральных максимумов на основании изучения литературных данных. Такие исследования можно рекомендовать для бакалавров и магистров в программах НИРС.

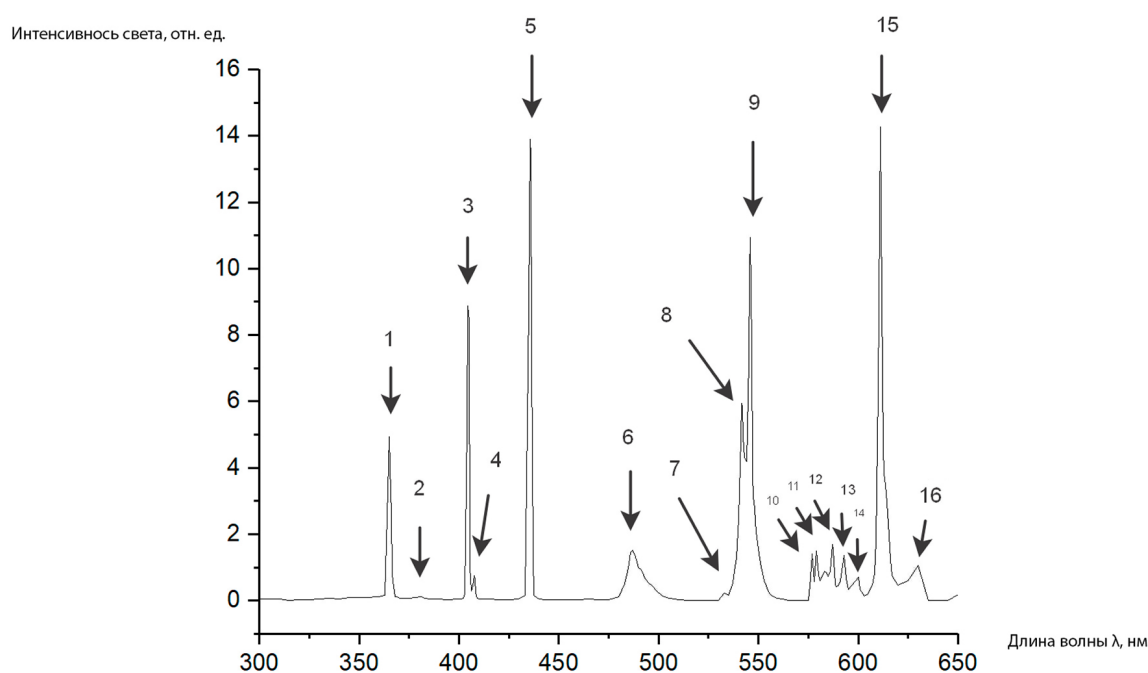


Рис. 5. Спектр излучения люминесцентной лампы

Fig. 5. Emission spectrum of a fluorescent lamp

Заключение. В рамках выполнения предложенных исследований студенты смогут ознакомиться с методикой спектральных измерений [8–12], приобрести навыки работы со спектральной измерительной аппаратурой, научатся не только измерять и строить спектры излучения источников света, указанных преподавателем, но и рассчитывать спектральную ширину щели, при которой измерялись спектры и оценивать погрешности измерений.

Список литературы

1. Аникин П. П., Сверчков А. Ю., Столяревская Р. И., Шишов А. В. Методы определения силы тока и потока излучение светодиодов и продукции на их основе // Измерительная техника. 2007. № 2. С. 40–43.
2. Вилисов А. А. Светоизлучающие диоды // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 285. С. 148–154.

3. Дружинин А. П., Кузьмина Т. В., Дружинин А. А. Изучение спектров излучения полупроводниковых лазеров // Энергетика в современном мире: материалы VIII Междунар. заоч. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2017. С. 170–174.
4. Дружинин А. П., Кузьмина Т. В., Дружинин А. А. Методика измерения спектров полупроводниковых светодиодов // Кулагинские чтения: материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2018. С. 179–183.
5. Дружинин А. П., Кузьмина Т. В., Дружинин А. А. Изучение спектров свечения тлеющего разряда в неоне // Наука и образование: актуальные исследования и разработки: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2019. С. 185–190.
6. Дружинин А. П., Кузьмина Т. В., Дружинин А. А. Изучение спектров свечения люминесцентной лампы // Кулагинские чтения: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. Чита, 2019. С. 223–228.
7. Звелто О. Принципы лазеров / под науч. ред. Т. А. Шманова. 4-е изд. СПб.: Лань, 2008. 720 с.
8. Никифоров С. Трудная задача измерения параметров света от светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 1. С. 36.
9. Шредер Г., Трайбер Х. Техническая оптика / пер. с немецкого Р. Е. Ильинского. М.: Тропосфера, 2006. 424 с.
10. Эпштейн М. И. Измерения оптического излучения в электронике. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990. 254 с.
11. Jin P. Superior application of LED to street lighting // Optics and precision engineering. 2011. No. 1. P. 51–55.
12. Goodman Tm. Measurement and specification of lighting; a look at the future // Lighting research and technology. 2009. No. 3. P. 229–243.

Статья поступила в редакцию 18.06.2021; принята к публикации 22.07.2021

Библиографическое описание статьи

Дружинин А. П., Кузьмина Т. В. Методика измерения спектров излучения в лабораторном практикуме по физике и научно-исследовательской работе студента // Учёные записки Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 16, № 3. С. 18–25. DOI: 10.21209/2658-7114-2021-16-3-18-25.

*Anatoly P. Druzhinin*¹,
Candidate of Physics and Mathematics,
Associate Professor,
Transbaikal State University
(30, Aleksandro-Zavodskaya str., Chita, 672039, Russia),
e-mail: anatol-dr18@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8465-746>

*Tatyana V. Kuzmina*²,
Candidate of Technical Sciences,
Transbaikal State University
(30, Aleksandro-Zavodskaya str., Chita, 672039, Russia),
e-mail: kuzmina-tat@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7592-1395>

Methods of Measuring Radiation Spectra in a Laboratory Workshop on Physics and Research

The authors single out the formation of research skills as one of the most important aspects of teaching students of higher educational institutions in the areas of engineering and technical profile. As part of a laboratory workshop in physics, students acquire professional skills in research and technological fields. In this paper, we consider the method of measuring the radiation spectra of various light sources, which the authors propose to use when setting up laboratory work in physics. The conditions of the experiment are described and the scheme of the working installation is given. Measurements of the radiation spectra are carried out using a monochromator and a photodetector pre-graded in terms of transmission and spectral sensitivity. Examples of the emission spectra of a green LED, a red semiconductor laser and a fluorescent lamp measured by the considered method are given. Recommendations of such experiments are given when conducting laboratory work and research work of students. The proposed method of performing laboratory research will help students acquire skills in working with spectral measuring equipment, teach them not only to measure and build the emission spectra of light sources, but also to calculate the spectral width of the gap at which the spectra were measured and to estimate measurement errors.

Keywords: emission spectrum, LED, laser, fluorescent lamp, laboratory work

References

1. Anikin, P. P. Methods for determining the current strength and the radiation flux of LEDs and products based on them. Measuring equipment, no. 2, pp. 40–43, 2007. (In Rus.)
2. Vilisov, A. A. Light-emitting diodes. Bulletin of the Tomsk State University, no. 285, pp. 148–154, 2005. (In Rus.)

¹A. P. Druzhinin is the main author, the organizer of the study; formulated conclusions and summarized the results of the project implementation.

²T. V. Kuzmina systematized and analyzed the research material.

3. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin, A. A. Study of radiation spectra of semiconductor lasers. VIII International Correspondence scientific and practical Conference. Energy in the modern world. Chita. 2017: 170–174. (In Rus.)
4. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin, A. A. Method of measuring the spectra of semiconductor LEDs. XVIII International Scientific and Practical Conference. Kulagin readings. Chita, 2018: 179–183. (In Rus.)
5. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin A. A. Study of glow spectra of a glow discharge in neon. Science and education: current research and development. II All-Russian Scientific and Practical Conference. Chita. 2019: 185–190. (In Rus.)
6. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin, A. A. Study of luminescence spectra of a fluorescent lamp. XIX International Scientific and Practical Conference. Kulagin readings. Chita. 2019: 223–228. (In Rus.)
7. Zvelto, O. Principles of lasers. St. Petersburg: Publishing house "Lan". 2008. (In Rus.)
8. Nikiforov, S. The difficult task of measuring the parameters of light from LEDs. Semiconductor lighting engineering, no. 1, pp. 36, 2010. (In Rus.)
9. Schroeder, G. Technical optics. Translated from the German by R. E. Ilyinsky. M: Troposphere, 2006. (In Rus.)
10. Epstein, M. I. Measurements of optical radiation in electronics. M: Energoatomizdat. 1990. (In Rus.)
11. Jin, P. Excellent application of LEDs for street lighting. Optics and precision engineering, no. 1, pp. 51–55, 2011. (In Enql.)
12. Goodman, T. M. Measurement and specification of lighting; a look into the future. Research and technologies in the field of lighting, no. 3, pp. 229–243, 2009. (In Enql.)

Received: June 18, 2021; accepted for publication July 22, 2021

Reference to article

Druzhinin A. P., Kuzmina T. V. Methods of Measuring Radiation Spectra in a Laboratory Workshop on Physics and Research // Scholarly Notes of Transbaikal State University. 2021. Vol. 16, No. 3. PP. 18–25. DOI: 10.21209/2658-7114-2021-16-3-18-25.