

Научная статья

УДК 53.535

DOI: 10.21209/2658-7114-2022-17-3-70-75

Методика измерения спектров излучения в курсовой работе по физике**Анатолий Прокопьевич Дружинин¹, Татьяна Витальевна Кузьмина²**^{1,2} *Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия*¹ *anatol-dr18@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8465-746>*² *kuzmina-tat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7592-1395>*

В статье приводятся обоснования выполнения курсовых работ по физике в системе методической подготовки бакалавров, осуществляемого в условиях реализации Федерального образовательного стандарта высшего образования по направлению 44.03.05 *Педагогическое образование* (с двумя профилями подготовки). В качестве одного из важнейших аспектов обучения будущих учителей физики авторы выделяют формирование исследовательских умений. Раскрывается специфика выполнения курсовых работ по предмету «Общая физика», которая способствует закреплению и обобщению теоретических знаний, применению этих знаний к комплексному решению конкретных научно-исследовательских задач, повышению уровня предметной компетенции по физике. В данной статье рассматривается возможность измерения в видимой области спектра излучения от различных источников света, основанная на исследовании спектрального состава исследуемого источника излучения с последующей обработкой информации. Методику измерения спектров излучения авторы предлагают использовать при выполнении курсовых работ по общей 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. Предлагаемая авторами методика выполнения исследований помогает студентам научиться работать со спектральной измерительной аппаратурой, измерять и строить спектры излучения источников света, рассчитывать ширину щели монохроматора, при которой измеряются спектры, и оценивать погрешность измерений. Даны рекомендации подобных экспериментов при выполнении курсовых работ студентов.

Ключевые слова: спектр излучения, светодиод, лазер, люминесцентная лампа, курсовая работа

Введение. В настоящее время в системе высшего образования России актуальны стандарты нового поколения ФГОС ВО 3++, в том числе стандарт по направлению 44.03.05 *Педагогическое образование* (с двумя профилями подготовки) по профилю «Информатика и физика» в Забайкальском государственном университете (ЗабГУ). Данный стандарт нацелен на уменьшение аудиторных часов, поэтому особое внимание в нём уделяется самостоятельной внеаудиторной работе, что создаёт потребность организации новых подходов для самостоятельной работы студентов, в том числе курсовых работ. В соответствии с данным стандартом студенты четвёртого курса по предмету «Общая физика» выполняют курсовую работу. Выполнение курсовой работы подготавливает студентов к умению вести

самостоятельные научные исследования, они совершенствуют и дополняют знания по теоретическим вопросам курса «Общая физика», формируют навыки проведения лабораторных экспериментов.

Сложившаяся система организации выполнения курсовой работы требует определённой модернизации. Совершенствование форм и методов выполнения курсовой работы должно быть основано на увеличении индивидуальной самостоятельной работы студентов, способствующей формированию и развитию их творческой деятельности [1].

Курсовое проектирование представляет собой ключевое звено в системе профессиональной подготовки будущих учителей физики. В результате выполнения курсовой работы по общей физике студент должен развить и приобрести следующие компетенции:

Знать:

- основные положения классической и современной физики;
- основные физические явления, описывающие их законы, а также границы их применимости;
- методы математического анализа для теоретических и экспериментальных исследований.

Уметь:

- анализировать изменение параметров и влияние разных факторов на протекание физических процессов;
- выполнять вычисления на основе построенных математических моделей и определять правдоподобность полученных результатов;
- использовать информационные технологии для поиска необходимой информации.

Владеть:

- математическими методами исследования для решения физических задач;
- навыками проведения физического эксперимента и обработки экспериментальных результатов.

Курсовая работа представляет собой творческий исследовательский проект. Работая над курсовым проектом, студенты развивают навыки самостоятельной научно-исследовательской работы, закрепляют знания, полученные при изучении теоретического курса общей физики в течение четырёх семестров. В процессе выполнения данной работы бакалавры учатся критически анализировать научную литературу, получают навыки экспериментальной работы по основным разделам физики, овладевают умением планировать и проводить физический эксперимент, формируют способность обработки экспериментальных данных с использованием компьютерных технологий, осваивают анализ и обобщение результатов эксперимента, формулируют выводы и заключения.

В представленной статье рассматривается методика измерения спектров излучения, которая может использоваться студентами педагогического направления 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), профиль «Информатика и физика», при выполнении курсовой работы по общей физике [2–6]. Одной из

важных составляющих подготовки бакалавров является его предметная подготовка, освоение методики планирования научных исследований, выполнение экспериментальных исследований современными методами, владение методами обработки и анализа полученных результатов.

Методология и методы исследования. В экспериментальной части курсовой работы подробно описываются экспериментальная установка, приводится схема измерений, особое внимание уделяется элементам схемы, влияющим на результаты измерения.

Измерения спектров излучения проводятся с помощью монохроматора и фотоприёмника, которые предварительно отградуированы по пропусканию и спектральной чувствительности.

Результаты исследования. Исследуемое оптическое излучение в виде входного сигнала попадает на входную щель монохроматора. Падающий монохроматический поток излучения уменьшается согласно спектральному коэффициенту пропускания оптической системы и поступает через выходную щель монохроматора на фотоприёмник. Вышедший из монохроматора поток излучения измеряется приёмником света, у которого область спектральной чувствительности намного шире предполагаемого входящего сигнала и достаточна для измерения спектральной плотности излучения в спектре.

Представленные ниже измерения спектров излучения различных источников света проводились на учебном оборудовании кафедры физики в ЗабГУ. Схема установки для измерения видимого спектра излучения показана на рис. 1.

Принцип действия установки состоит в следующем. Свет от источника излучения (1) поступает на входную щель монохроматора (2). Ширина входной и выходной щелей может изменяться в интервале от 0,1 до 3 мм. Монохроматор МУМ-01 разлагает излучение в спектр по длинам волн. Излучение, соответствующее установленной длине волны, через выходную щель попадает на фотозащитный элемент (3). Блок питания фотозащитного элемента – 4; 5 – прибор, который измеряет ток фотозащитного элемента, его показания пропорциональны интенсивности света на данной длине волны.

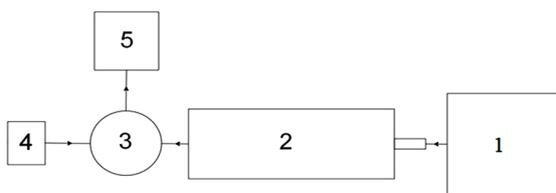


Рис. 1. Схема лабораторной установки для измерения спектров излучения

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

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.

Выбранный фотоприёмник позволяет, как видно из рис. 2, проводить измерения излучения во всём видимом диапазоне, а также частично захватывает ультрафиолетовую и инфракрасную области. Кривая имеет колоколообразный вид, максимумом чувствительности принимаемой за единицу, соответствует длине волны 430 нм. Чувствительность фотоприёмника в относительных единицах составляет 0,2 на длине волны 300 нм, 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.

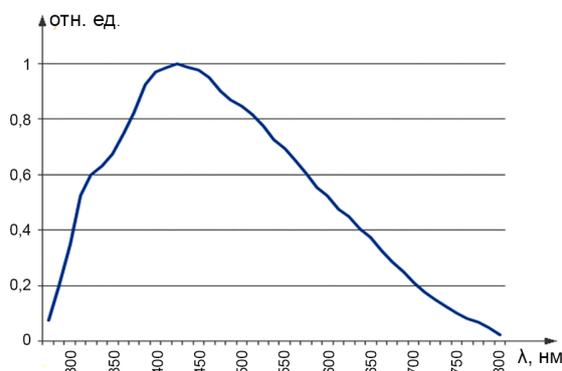


Рис. 2. Относительная спектральная чувствительность фотоэлемента Ф-25 (спектральная характеристика фотокатода)

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

Обсуждение результатов исследования. Описание результата измерения – наиболее важная часть работы, в ней необходимо выделить основной результат, показать ценность информации, правдоподобность полученных данных. Описание спектрального состава излучения есть переработанная и критически осмысленная информация о полученных данных.

В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены измеренные по рассмотренной методике спектры излучения зелёного светодиода и красного полупроводникового лазера [4; 5]. Ширина спектра излучения для зелёного 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.

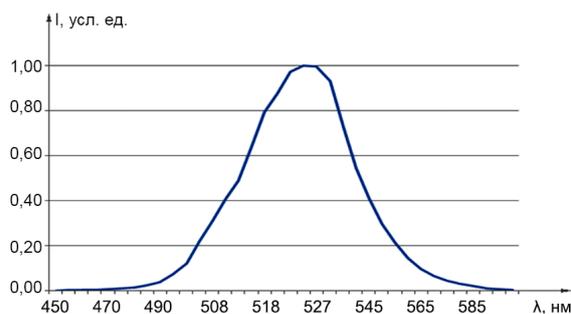


Рис. 3. Спектр излучения зелёного светодиода

Fig. 3. Spectral composition of the green LED radiation

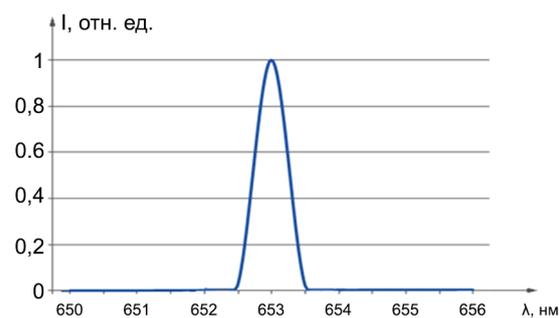


Рис. 4. Спектр излучения красного лазера

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 запрещённой зоны полупроводника на основании выра-

жения $\Delta E = hc/\lambda$, 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 [6; 7]. Спектр излучения люминесцентной лампы приведён на рис. 5, где изображено 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.

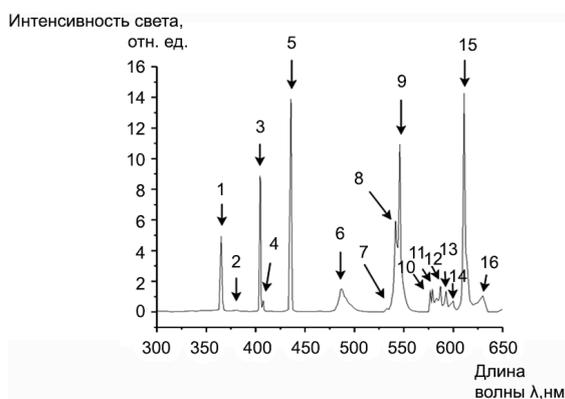


Рис. 5. Спектр излучения люминесцентной лампы
Fig. 5. Emission spectrum of a fluorescent lamp

Заключение. Выполнение курсовой работы позволит систематизировать, закрепить и расширить теоретические знания по физике. Выполняя исследовательскую курсовую работу, студенты овладевают навыками самостоятельного научного исследования.

Особенностями выполнения предложенных исследований является знакомство с методикой спектральных измерений [8–16], приобретение навыков работы со спектральной измерительной аппаратурой. Студенты научатся производить измерения во всем диапазоне волн, учитывая спектральные характеристики фотокатода. Им необходимо будет освоить компьютерную программу для построения сложных спектров излучений. Они не только смогут измерять и строить спектры излучения источников света, указанных преподавателем, но и рассчитывать спектральную ширину щели, при которой измерялись спектры, и оценивать погрешности измерений.

Научно-исследовательская курсовая работа по физике является ключевым этапом получения профессиональной подготовки будущих учителей физики. Такие курсовые работы повышают уровень учебного процесса и выявляют научные интересы студентов, расширяют возможность компетентного выбора своего жизненного пути.

Список литературы

1. Пьяных Е. Г. Об особенностях проектирования примерных основных образовательных программ по ФГОС 3++ // Научно-педагогическое обозрение. Pedagogical Review. 2019. № 3. С. 9–18.
2. 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. 41–43.
3. Вилисов А. А. Светоизлучающие диоды // Вестник Томского государственного университета. 2005. № 285. С. 148–154.
4. 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.
5. Дружинин А. П., Кузьмина Т. В., Дружинин А. А. Методика измерения спектров полупроводниковых светодиодов // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2018. С. 179–183.
6. 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.
7. Дружинин А. П., Кузьмина Т. В., Дружинин А. А. Изучение спектров свечения люминесцентной лампы // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2019. С. 223–228.
8. Звелто О. Принципы лазеров / под науч. ред. Т. А. Шманова. 4-е изд. СПб.: Лань, 2008. 720 с.
9. Никифоров С. Трудная задача измерения параметров света от светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. Т. 1, № 3. С. 36–40.

10. Шредер Г., Трайбер Х. Техническая оптика / пер. с нем. Р. Е. Ильинского. М.: Тропосфера, 2006. 424 с.
11. Эпштейн М. И. Измерения оптического излучения в электронике. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1990. 254 с.
12. Jin P., YU Chun-yu, ZHOU Qi-feng, WANG Yi-feng. Superior Application of LED to Street Lighting // Optics and Precision Engineering. 2011. Vol. 19, No. 1. P. 51–55.
13. Goodman Tm. Measurement and Specification of Lighting: a Look at the Future // Lighting Research and Technology. 2009. Vol. 41, No. 3. Pp. 229–243.
14. Yam F. K., Hassan Z. Innovative Advances in LED technology // Microelectronics Journal. 2005. No. 36. Pp. 129–137.
15. Свилайнис Л. Регулировка яркости светодиодов для применения в видеодисплеях // 7 дисплеев. 2008. № 5. С. 506–511.
16. Simonot L., Simon Holt L., Hebert M., Dupraz D. Goniocolorimetry: from Measurement to Representation in the CIELAB Color Space // Color Research and Application. 2011. Vol. 36, No. 3. Pp. 169–178.

Информация об авторах

Дружинин А. П., кандидат физико-математических наук, доцент, Забайкальский государственный университет (672039, Россия, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30), e-mail: anamol-dr18@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8465-746>.

Кузьмина Т. В., кандидат технических наук, Забайкальский государственный университет (672039, Россия, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30), e-mail: kuzmina-tat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7592-1395>.

Вклад авторов

Дружинин А. П. – основной автор, осуществлял разработку концепции, систематизацию и анализ материалов, формулирование выводов, написание и оформление статьи.

Кузьмина Т. В. – осуществляла систематизацию, анализ и интерпретацию материалов, оформление статьи.

Для цитирования

Дружинин А. П., Кузьмина Т. В. Методика измерения спектров излучения в курсовой работе по физике // Учёные записки Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 17, № 3. С. 70–75. DOI: 10.21209/2658-7114-2022-17-3-70-75.

**Статья поступила в редакцию 05.07.2022;
одобрена после рецензирования 28.07.2022; принята к публикации 30.07.2022**

The Method of Measuring Radiation Spectra in the Course Work in Physics

Anatoly P. Druzhinin¹, Tatiana V. Kuzmina²

^{1,2} Transbaikal State University, Chita, Russia

¹ anamol-dr18@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8465-746>

² kuzmina-tat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7592-1395>

The article provides the justification for the implementation of coursework in physics in the system of methodological training of bachelors, carried out in the context of the implementation of the Federal Educational Standard, higher education in the direction of 44.03.05 *Pedagogical education* (with two training profiles). The authors single out the formation of research skills as one of the most important aspects of teaching future physics teachers. The specifics of the course work on the subject of “General Physics” are revealed, which contribute to the consolidation and generalization of theoretical knowledge, the application of this knowledge to the complex solution of specific research tasks, increasing the level of subject competence in physics. In this article, the possibility of measuring radiation from various light sources in the visible region of the spectrum is considered, based on the study of the spectral composition of the radiation source under study with subsequent information processing. The authors propose to use the considered method of measuring radiation spectra when performing coursework in general physics. The authors describe the conditions of the experiment and give a diagram of the working installation. Measurements of the radiation spectra are carried out using a monochromator and a photodetector pre-graded in transmission and spectral sensitivity. The examples of the emission spectra of a green LED, a red semiconductor laser and a fluorescent lamp measured by the considered method are given. The research methodology, proposed by the authors, helps students to learn how to work with spectral

measuring equipment, measure and plot the emission spectra of light sources, calculate the width of the monochromator slit at which the spectra are measured and estimate the measurement error. The recommendations of similar experiments are given when performing students' term papers.

Keywords: radiation spectrum, LED, laser, fluorescent lamp, coursework

References

1. Pyany, E. G. About the design features of the approximate basic educational programs in the Federal State Educational Standard 3+-. Scientific and Pedagogical Review. Pedagogical review, no. 3, pp. 9–18, 2019. (In Rus.)
2. Anikin, P. P. Methods for determining the current strength and flux radiation of LEDs and products based on them / P. P. Anikin et al. Measuring technique, no. 2, pp. 40–43, 2007. (In Rus.)
3. Vilisov, A. A. Light-emitting diodes. Bulletin of the Tomsk State University, no. 285, pp. 148–154, 2005. (In Rus.)
4. 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.)
5. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin, A. A. Method of measuring spectra of semiconductor LEDs. XVIII International Scientific and Practical Conference. Kulagin Readings. Chita. 2018: 179–183. (In Rus.)
6. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin, A. A. Study of glow spectra of glow discharge in neon. – Science and Education: current research and development. All-Russian Scientific and Practical Conference. Chita. 2019: 185–190. (In Rus.)
7. Druzhinin, A. P., Kuzmina, T. V., Druzhinin, A. A. Study of luminescence spectra of a fluorescent lamp. XIX Scientific-practical conference. Kulagin Readings. Chita. 2019: 223–228. (In Rus.)
8. Zvelto, O. Principles of lasers / Trans. under the scientific ed. of T. A. Shmanov. 4th ed. St. Petersburg: Publishing House "Lan". 2008. (In Rus.)
9. Nikiforov, S. The difficult task of measuring the parameters of light from LEDs. Semiconductor Lighting Engineering, no. 1, p. 36, 2010. (In Engl.)
10. Schroeder, G., Trayber, Kh. Technical Optics / Translated from German by R. E. Ilyinsky. M: Troposphere, 2006. (In Rus.)
11. Epstein, M. I. Measurements of optical radiation in electronics. 2nd ed., reprint. and additional M: Energoatomizdat, 1990. (In Engl.)
12. Jin, P. Excellent application of LEDs for street lighting. Ying and others. Optics and precision engineering, no. 1, pp. 51–55, 2011. (In Engl.)
13. Goodman, T. M. Measurement and specification of lighting: a look into the future. Research and technology in the field of lighting, no. 3, pp. 229–243, 2009. (In Engl.)
14. Yam, F. K. Innovative achievements in LED technology. Journal of Microelectronics, no. 36, pp. 129–137, 2005. (In Engl.)
15. Svilainis, L. Brightness adjustment of LEDs for use in video displays. 7 displays, no. 5, pp. 506–511, 2008. (In Engl.)
16. Simono, L. Goniocolorimetry: from measurement to representation in the CIELAB color space. Research and application of color, no. 3, pp. 169–178, 2011. (In Engl.)

Information about authors

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

Kuzmina T. V., Candidate in Engineering, Transbaikal State University (30 Aleksandro-Zavodskaya st., Chita, 672039, Russia), e-mail: kuzmina-tat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7592-1395>.

Contribution of authors to the article

Druzhinin A. P. – is the main author, the organizer of the research, has formulated conclusions and summarized the results of the project implementation.

Kuzmina T. V. – has systematized and analyzed the research material.

For citation

Druzhinin A. P., Kuzmina T. V. The Method of Measuring Radiation Spectra in the Course Work in Physics // Scholarly Notes of Transbaikal State University. 2022. Vol. 17, No. 3. PP. 70–75. DOI: 10.21209/2658-7114-2022-17-3-70-75.

**Received: July 5, 2022;
approved after reviewing July 28, 2022; accepted for publication July 30, 2022**