

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(УО «ВГТУ»)

УДК 548

№ ГР 20211022



«УТВЕРЖДАЮ»
Первый проректор

В.А. Жизневский

“ 31 ” декабря 2025 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, АКТИВИРОВАННЫХ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ, И РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ И
МЕТОДИК ОПИСАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

(заключительный)

Руководитель НИР,
профессор кафедры ИСИТ,
д-р физ.-мат. наук, профессор
А.А.Корниенко

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the author of the report, Alexander A. Kornienko.

Витебск 2025

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(УО «ВГТУ»)

УДК 548

№ ГР 20211022

Инв № Г/Б 364

«УТВЕРЖДАЮ»
Первый проректор

В.А. Жизневский

“23” декабря 2025 г.

О Т Ч Е Т

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, АКТИВИРОВАННЫХ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ, И РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ И
МЕТОДИК ОПИСАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

(заключительный)

Руководитель НИР,
профессор кафедры ИСИТ,
д-р физ.-мат. наук, профессор
А.А.Корниенко




Витебск 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный

руководитель


доктор физ.-мат. наук,
профессор, г.н.с

22.12.25 
дата, подпись

Корниенко Алексей
Александрович
(Введение, раздел 1 и 2,
заключение)


Исполнители:

кандидат физ.-мат. наук,
доцент, в.н.с.

22.12.25 
дата, подпись


Дунина Елена
Брониславовна
(Раздел 4 и 5)

кандидат физ.-мат. наук,
доцент, с.н.с.

22.12.25 
дата, подпись


Фомичёва Людмила
Александровна
(Раздел 3)

н.с.

22.12.25 
дата, подпись


Андреев Виталий
Сергеевич
(Раздел 1)

Специалист I кат.

22.12.25 
дата, подпись

Красева Наталья
Владимировна
(Раздел 1)

Нормоконтролёр

22.12.25 
дата, подпись

Соколова Анна
Сергеевна

РЕФЕРАТ

Отчет 162 с., 1 кн., 19 рис., 83 табл., 86 источн.

ИНТЕНСИВНОСТИ АБСОРБЦИОННЫХ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, КОНФИГУРАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ

Объектом исследования являются лазерных материалы, активированные редкоземельными ионами. Такие как: стеклах состава $(30\text{SiO}_2-10\text{GeO}_2-x\text{PbO}-(50-x)\text{PbF}_2-10\text{CdF}_2-y\text{Tm}_2\text{O}_3$, $x = 5, 25, 45$, $y = 0.01, 0.1, 0.5, 1.0$ (mol. %); смешанный разупорядоченный алюминат состава $4.5\%\text{Tm}^{3+}$, $0.38\%\text{Ho}^{3+}:\text{Ca}(\text{Gd},\text{Lu})\text{AlO}_4$; кристаллы $\text{Pr}^{3+}:\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$, $\text{Er}^{3+}:\text{Na}_5\text{Y}_9\text{F}_{32}$, $\text{Nd}^{3+}:\text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$; кристаллы MF_2 , где $\text{M}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$; Y_2O_3 , Lu_2O_3 , Sc_2O_3 , CaF_2 , активированные ионами эрбия, гольмия и тулия; кристаллы LiYF_4 , $\text{BaY}_{1.8}\text{Lu}_{0.2}\text{F}_8$, CaF_2 , SrF_2 , LiNdO_3 , активированные ионами иттербия, эрбия, неодима и тербия.

Цель работы – моделирование спектроскопических характеристик лазерных материалов, активированных редкоземельными ионами, и разработка новых методов и методик описания экспериментальных данных.

При выполнении исследований было установлено, что в существующих теориях интенсивностей существует противоречие между экспериментально измеренными интенсивностными характеристиками абсорбционных и излучательных переходов и не находит объяснения экспериментально измеренная температурная зависимость времени жизни возбужденных мультиплетов. В связи с этим была разработана новая теория взаимодействия системы трех эквидистантных уровней с электромагнитным излучением (такая система уровней встречается, например, в спектрах тулия и неодима) и новый метод (теория) учета влияния температурного фактора в заселенности уровней на интенсивности абсорбционных и излучательных переходов. В рамках этих теорий устранено названное выше противоречие и впервые получено детально совпадающее с экспериментальными данными температурной зависимости времени жизни возбужденных мультиплетов ионов тулия, неодима и гольмия. Разработана новая методика, применение которой впервые позволило определить вероятности излучательных переходов с отдельных компонент мультиплета по его экспериментально измеренной температурной зависимостью времени жизни. Применение этой методики существенно увеличивает информативность экспериментальных данных по температурной зависимости.

Основные результаты моделирования интенсивностных характеристик поглощения и излучения использовались при конструировании лазеров, работающих в микроволновом диапазоне.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Моделирование спектроскопических характеристик оксидных лазерных материалов, активированных ионами тулия и гольмия.....	9
1.1 Моделирование интенсивностей полос поглощения иона тулия в оксидных лазерных материалах.....	10
1.1.1 Основные формулы теории интенсивностей электрических дипольных переходов.....	10
1.2 Результаты моделирования и сравнение с экспериментом.....	15
1.1.2 Результаты моделирования и сравнение с экспериментом.....	15
1.2 Моделирование интенсивностей полос поглощения иона гольмия в оксидных лазерных материалах.....	19
1.3 Моделирование штарковского расщепления мультиплетов иона тулия в оксидных лазерных материалах.....	22
1.3.1 Основные формулы для моделирования штарковского расщепления мультиплетов редкоземельных ионов.....	23
1.3.2 Моделирование штарковского расщепления мультиплетов иона тулия в кристалле $\text{Ca}(\text{Gd},\text{Lu})\text{AlO}_4$	26
1.4 Моделирование штарковского расщепления мультиплетов иона гольмия в оксидных лазерных материалах.....	35
1.5 Краткие выводы.....	44
1.6 Список использованных источников.....	48
2 Моделирование процессов поглощения света в системах с эквидистантным расположением трех уровней.....	52
2.1 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона празеодима в иттрий-алюминиевом ортоборате.....	53
2.2 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона эрбия в кристалле $\text{Na}_5\text{Y}_9\text{F}_{32}$	57
2.3 Разработка основных принципов модели поглощения света редкоземельными ионами с эквидистантным расположением трех уровней.....	62
2.4 Применение принципов моделирования поглощения света трехуровневой системой к иону неодима в оксидном лазерном материале.....	68
2.5 Краткие выводы.....	70
2.6 Список использованных источников.....	73

3 Моделирование спектроскопических характеристик лазерных материалов, активированных ионами эрбия и гольмия	76
3.1 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона эрбия в флюоридных кристаллах состава MF ₂ , где M=Ca, Sr, Ba.....	77
3.1.1 Моделирование спектроскопических свойств Er ³⁺ :BaF ₂	78
3.1.2 Моделирование спектроскопических свойств Er ³⁺ :CaF ₂	80
3.1.3 Моделирование спектроскопических свойств Er ³⁺ :SrF ₂	83
3.2 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона эрбия в кубических оксидных кристаллах Y ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃ и Sc ₂ O ₃	87
3.2.1 Моделирование спектроскопических свойств Er ³⁺ :Lu ₂ O ₃	87
3.2.2 Моделирование спектроскопических свойств Er ³⁺ :Sc ₂ O ₃	91
3.2.3 Моделирование спектроскопических свойств Er ³⁺ :Y ₂ O ₃	94
3.3 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона гольмия в кристалле CaF ₂	97
3.4 Моделирование влияния температурного распределения заселенностей штарковских уровней энергии мультиплетов иона тулия на спектроскопические характеристики	99
3.4.1 Введение.....	100
3.4.2 Основные формулы.....	102
3.4.3 Температурная зависимость сил осцилляторов абсорбционных переходов.....	109
3.4.4 Заключение	111
3.5 Краткие выводы.....	112
3.6 Список использованных источников	114
4 Моделирование спектроскопических характеристик лазерных материалов, активированных ионами неодима и тербия	118
4.1 Моделирование интенсивностей полос поглощения иона тулия в оксидных лазерных материалах.....	119
4.2 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона эрбия в смешанных кристаллах состава BaY _{1.8} Lu _{0.2} F ₈	122
4.3 Моделирование температурной зависимости времени жизни возбужденного мультиплетта иона ⁴ F _{3/2} неодима в оксидных кристаллах	127
4.4 Моделирование температурной зависимости времени жизни возбужденного мультиплетта иона ⁵ D ₄ тербия в оксидных кристаллах.....	133
5.5 Краткие выводы.....	140
4.6 Список использованных источников	141

5 Моделирование спектроскопических характеристик лазерных материалов с низкой локальной симметрией, активированных редкоземельными ионами	144
5.1 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона гольмия в кристаллах BaF_2 , CaF_2 , SrF_2	144
5.2 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона диспрозия в кристалле CaF_2	145
5.3 Моделирование интенсивностных характеристик поглощения и излучения иона эрбия в кристалле $CaLnAlO_4$	148
5.4 Моделирование температурной зависимости времени жизни нижайших возбужденных мультиплетов иона гольмия в оксидных кристаллах.....	151
5.5 Краткие выводы.....	154
Заключение	156
Список использованных источников	160

Введение

Главная цель научно исследовательской работы – моделирование спектроскопических характеристик лазерных материалов, активированных редкоземельными ионами, и разработка новых методов и методик описания экспериментальных данных. Лазеры на основе материалов, активированных редкоземельными элементами, широко применяются в технике, медицине, телекоммуникационных системах, для зондирования атмосферы и т.д. Для изучения свойств новых лазерных систем используют спектроскопические экспериментальные методы, дополненные результатами теоретического моделирования для более полного понимания происходящих абсорбционных и излучательных процессов. Моделирование на основе существующих теорий позволяет проверить взаимосвязь между различными экспериментальными результатами. Так было установлено, что экспериментальные результаты по вероятностям абсорбционных переходов с точки зрения существующих теорий находятся в противоречии с результатами измерения времени жизни возбужденных мультиплетов. Это противоречие не находило объяснения более 10 лет.

В исследованиях особенностей работы лазеров при криогенных температурах были выполнены измерения зависимости времени жизни возбужденных мультиплетов от температуры. При увеличении температуры от 10 К до 300 К было установлено, что для некоторых ионов время жизни растет, а для других уменьшается. Эти экспериментальные результаты не находили объяснения более 40 лет.

В выполненной НИР разработан новый метод (теория), в рамках которой предложено решение этих проблем. Кроме того, разработанная теория дополнена новой методикой, которая позволяет впервые по экспериментально измеренной температурной зависимости времени жизни возбужденного мультиплета определить вероятности излучательных

переходов с отдельных компонент этого мультиплета.

Более подробно цели и задачи на каждом этапе НИР подробно изложены во введении к соответствующему разделу.

1 Моделирование спектроскопических характеристик оксидных лазерных материалов, активированных ионами тулия и гольмия

Цель и задачи исследований и разделе 1.1. Моделирование интенсивностей полос поглощения иона тулия в оксидных лазерных стеклах состава $30\text{SiO}_2-10\text{GeO}_2-x\text{PbO}-(50-x)\text{PbF}_2-10\text{CdF}_2-y\text{Tm}_2\text{O}_3$, $x = 5, 25, 45$, $y = 0.01, 0.1, 0.5, 1.0$ (mol. %). Для достижения этой цели было выполнено описание экспериментальных данных для стекол 12 различных молярных составов по стандартной теории Джадда-Офельта, по модифицированной теории Джадда-Офельта и в приближении промежуточного конфигурационного взаимодействия.

Цель и задачи исследований в разделе 1.2. Моделирование интенсивностей полос поглощения иона гольмия в оксидном смешанном разупорядоченном алюминате состава $4.5\%\text{Tm}^{3+}, 0.38\%\text{Ho}^{3+}:\text{Ca}(\text{Gd},\text{Lu})\text{AlO}_4$. Для достижения этой цели было выполнено, а) выделение полос поглощения иона гольмия из общего спектра; б) моделирование экспериментальных значений интенсивностей полос поглощения иона гольмия выполнено по теории Джадда-Офельта и приближении промежуточного конфигурационного взаимодействия (ICI), более детально учитывающем влияние возбужденных конфигураций.

Цель и задачи исследований в разделе 1.3. Моделирование штарковского расщепления мультиплетов иона тулия в оксидном смешанном разупорядоченном алюминате состава $4.5\%\text{Tm}^{3+}, 0.38\%\text{Ho}^{3+}:\text{Ca}(\text{Gd},\text{Lu})\text{AlO}_4$. Для достижения этой цели было выполнено, а) моделирование штарковского расщепления для симметрии C_{4v} без учета конфигурационного взаимодействия; б) моделирование штарковского расщепления для симметрии C_{4v} с учетом промежуточного по силе конфигурационного взаимодействия.

Цель и задачи исследований в разделе 1.4. Моделирование штарковского

1.6 Список использованных источников

1. Dunina, E.B. Modified theory of f-f transition intensities and crystal field for systems with anomalously strong configuration interaction/ E.B. Dunina, A.A. Kornienko, L.A. Fomicheva// Cent. Eur. J. Phys.–2008. – Vol. 6. – P. 407-414.
2. Dunina, E.B. Influence of excited configurations on the intensities of electric dipole transitions of rare earth ions / E.B. Dunina, A.A. Kornienko // Optics and Spectroscopy. – 2014. – Vol. 116 – P. 706-711.
3. Корниенко, А.А. Теория интенсивностей межмультиплетных электрических дипольных переходов в приближении сильного конфигурационного взаимодействия / А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, В.Л. Янкевич // Опт. и спектр. – 1996. – Т.80. – С. 951-955.
4. Kornienko, A.A. Dependence of the line strength of f-f transitions on the manifold energy. II. Analysis of Pr³⁺ in KPrP₄O₁₂ / A.A. Kornienko, A.A. Kaminskii, E.B. Dunina // Phys. Stat. Sol.(b). – 1990. – Vol. 157. – P. 267-273.
5. Optical intensities of Pr³⁺ ions in transparent oxyfluoride glass and glass-ceramic. Applications of the standard and modified Judd-Ofelt theories /R.T. Genova, I.R. Martin, U.R. Rodriguez-Mendoza, F. Lahoz, A.D. Lozano-Gorrin, P. Nunez, J. Gonzalez-Platas, V. Lavin // J. Alloys Compd. – 2004. – Vol. 280. – P. 167-172.
6. Judd, B.R. Optical absorption intensities of rare-earth ions / B.R. Judd // Phys. Rev. – 1962. – Vol. 127. – P. 750-761.
7. Ofelt, G.S. Intensities of crystal spectra of rare-earth ions / G.S. Ofelt // J. Chem. Phys. – 1962. – Vol.37. – P. 511-520.
8. Spectral-luminescence properties of oxyfluoride lead-silicate-germanate glass doped with Tm³⁺ ions/ A.S. Yasukevich, G.E. Rachkovskaya, G.B. Zakharevich, E.E. Trusova, A.A. Kornienko, E.B. Dunina, V.E. Kisel, N.V. Kuleshov // J. Lumin. – 2021. – Vol.229.– P.117667 (8).

9. Disordered Tm^{3+} , Ho^{3+} -codoped CNGG garnet crystal: Towards efficient laser materials for ultrashort pulse generation at $\sim 2 \mu m$ / Zhongben Pan, P. Loiko, Yicheng Wang, Yongguang Zhao, Hualei Yuan, Kaiyang Tang, Xiaojun Dai, Huaqiang Cai, J.M. Serres, S. Slimi, E.B. Salem, E. Dunina, A. Kornienko, L. Fomicheva, J.L. Doualan, P. Camy, Weidong Chen, U. Griebner, X. Mateos// *J. Alloys Compd.* – 2021. – Vol.853 – P. 157100 (15).

10. Kornienko, A.A. Determination of Odd Symmetry Crystal Field Parameters from Optical Spectra/ A.A. Kornienko, E.B. Dunina, L.A. Fomicheva// *Optics and Spectroscopy* – 2014. – Vol.116. – P. 683-690.

11. Growth, spectroscopy and laser operation of monoclinic $Nd: CsGd(MoO_4)_2$ crystal with a layered structure/ P. Loiko, A. Pavlyuk, S. Slimi, R.M. Solé, E.B. Salem, E. Dunina, A. Kornienko, P. Camy, U. Griebner, V. Petrov, F. Díaz, M. Aguiló, X. Mateos. // *J. Lumin.* – 2021. – Vol.231. – P. 117793 (10).

12. Tm^{3+} -doped calcium lithium tantalum gallium garnet ($Tm:CLTGG$): novel laser crystal/ A. Alles, Z. Pan, P. Loiko, J.M. Serres, S. Slimi, Shawuti Yingming, Kaiyang Tang, Yicheng Wang, Yongguang Zhao, E. Dunina, A. Kornienko, P. Camy, Weidong Chen, Li Wang, U. Griebner, V. Petrov, R.M. Solé, M. Aguiló, F. Díaz, X. Mateos. // *Optical Materials Express.* – 2021. – Vol. 11. – P. 2938-2951.

13. Spectroscopy and efficient laser operation around $2.8 \mu m$ of $Er:(Lu,Sc)_2O_3$ sesquioxide ceramics/L. Basyrova, P. Loiko, Wei Jing, Yicheng Wang, Hui Huang, E. Dunina, A. Kornienko, L. Fomicheva, B. Viana, U. Griebner, V. Petrov, M. Aguiló, F. Díaz, X. Mateos, P. Camy// *J. Lumin.* – 2021. – Vol.240. – P. 118373(11).

14. Spectroscopy of Tm^{3+} -doped CaF_2 waveguiding thin films grown by Liquid Phase Epitaxy/ P. Loiko, G. Brasse, L. Basyrova, A. Benayad, J.L. Doualan, C. Meroni, A. Braud, E. Dunina, A. Kornienko, M. Baranov, G. Daniil, P. Camy. // *J. Lumin.* – 2021. – Vol.238. – P.118109(13)

15. Transitions intensities and cross-sections of Tb^{3+} ions in $YAl_3(BO_3)_4$ crystal/ M. Demesh, K. Gorbachenya, V. Kisel, E. Volkova, V. Maltsev, E.

Koporulina, E. Dunina, A. Kornienko, L. Fomicheva, N. Kuleshov// OSA Continuum – 2021. – Vol. 4. – P. 822-830.

16.Polarized spectroscopy of electric and magnetic dipole transitions of Evropium (III) ions in C₂ sites/ A. Volokitina, P. Loiko, E. Dunina, A. Kornienko, J.M. Serres, M. Agulio, F. Diaz, A. Pavluk. // J.Phys.: Conf. Series. – 2021. – Vol. 2086 – P. 012175 (5).

17.Корниенко, А.А. Сравнительный анализ вероятностей двухфотонных и двухступенчатых абсорбционных переходов в системе трех эквидистантно расположенных уровней/ А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, Л.А. Фомичева// Материалы докладов 54 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО "ВГТУ" – Витебск, 2021. – С.43-45.

18.Лапко, М.Л. Многослойный персептрон и алгоритм обратного распространения ошибки/ М.Л. Лапко, Е.Б. Дунина, А.А. Корниенко // Материалы докладов 54 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО "ВГТУ" – Витебск, 2021. – С.18–21.

19.Корниенко, А.А. Проблемы взаимосогласованного описания экспериментальных результатов по интенсивностям полос поглощения и времени жизни мультиплета 4I13/2 эрбия в оксидных кристаллах/ А.А. Корниенко, М.Л. Лапко // Физика конденсированного состояния: материалы XXIX междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 22 – 23 апр. 2021 г./ ГрГУ им. Я.Купалы; редкол.: Г.А.Гачко (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2021. – С. 154 - 156.

20.Efficient Laser Operation of Transparent "Mixed" 7 at.% Er:(Lu,Sc)₂O₃ Sesquioxide Ceramics near 2.8 μm/ L. Basyrova, P. Loiko, Wei Jing, Yicheng Wang, Hui Huang, M. Aguiló, F. Díaz, E. Dunina, A. Kornienko, U. Griebner, V. Petrov, X. Mateos, B. Viana, P. Camy // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021), Munich, Germany, 21–25 June, 2021, paper

ca_5_5

21. Growth, Spectroscopy and Laser Operation of Tm^{3+} , Li^{+} -Codoped $Ca_3Ta_{1.5}Ga_{3.5}O_{12}$ -Type Disordered Garnet Crystal / A. Alles, Zhongben Pan, J.M. Serres, P. Loiko, Kaiyang Tang, Shawuti Yingming, Yicheng Wang, Yongguang Zhao, E. Dunina, A. Kornienko, P. Camy, Weidong Chen, U. Griebner, V. Petrov, R.M. Solé, M. Aguiló, F. Díaz, X. Mateos. // Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and European Quantum Electronics Conference, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021), Munich, Germany, 21–25/2021, June, paper ca_9_4.

22. Дунина, Е.Б. Разработка приложения распознавания образов/ Е.Б. Дунина, М.Л. Лапко, А.А. Корниенко // Тезисы докладов 54 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО "ВГТУ" – Витебск, 2021. – 290с. – С. 222.

23. Высшая математика. Теория вероятностей: методические указания к практическим занятиям для студентов специальностей 1-50 01 01 "Производство текстильных материалов", 1-50 02 01 "Производство одежды, обуви и кожгалантерейных изделий", 1-54 01 01-04 "Метрология, стандартизация и сертификация (легкая промышленность)" / О.Е. Рубаник, Т.В. Никонова, Е. Б. Дунина. – Витебск, УО "ВГТУ", 2021. – 106 с.

24. Математика. Применение пакета Mathematica. В 2ч. Ч.2: Дифференцирование функций нескольких переменных. Интегральное исчисление функций одной и нескольких переменных. Дифференциальные уравнения. Ряды. Операционное исчисление : пособие / Л.А. Фомичёва, Н.В. Спичекова, О.Н. Малышева, О.А. Вагнер. – Минск : БГУИР, 2021. – 147 с.

перехода ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{3/2}$. Если влияние эффектов от двухфотонных и двухступенчатых процессов исключить, то получается непротиворечивое согласие между флуоресцентным и излучательным временем – излучательное время увеличивается от 0.096 мс до 0.184 мс, что непротиворечиво согласуется с экспериментальным временем 0.136 мс.

Основные результаты исследований опубликованы в работах [6–7, 10–15].

2.6 Список использованных источников

1. Judd, B.R. Optical absorption intensities of rare-earth ions / B.R. Judd // *Phys. Rev.* – 1962. – Vol. 127. – P. 750-761.
2. Ofelt, G.S. Intensities of crystal spectra of rare-earth ions / G.S. Ofelt // *J. Chem. Phys.* – 1962. – Vol.37. – P. 511-520.
3. Optical intensities of Pr^{3+} ions in transparent oxyfluoride glass and glass-ceramic. Applications of the standard and modified Judd-Ofelt theories /R.T. Genova, I.R. Martin, U.R. Rodriguez-Mendoza, F. Lahoz, A.D. Lozano-Gorrin, P. Nunez, J. Gonzalez-Platas, V. Lavin // *J. Alloys Compd.* – 2004. – Vol. 280. – P. 167-172.
4. Kornienko, A.A. Dependence of the line strength of f-f transitions on the manifold energy. II. Analysis of Pr^{3+} in $\text{KPrP}_4\text{O}_{12}$ / A.A. Kornienko, A.A. Kaminskii, E.B. Dunina // *Phys. Stat. Sol.(b)*. – 1990. – Vol. 157. – P. 267-273.
5. Рост кристалла и анализ интенсивностей f – f-переходов ионов празеодима в иттрий-алюминиевом ортоборате / М.П. Демеш, К.Н. Горбаченя, В.Э. Кисель, Е.А. Волкова, В.В. Мальцев, Е.В. Копорулина, А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, Н.В. Кулешов // *Журнал Белорусского государственного университета. Физика.* – 2022. –Т.1. – С.4–13.

6. Growth, structure, and polarized spectroscopy of monoclinic $\text{Er}^{3+}:\text{MgWO}_4$ crystal/ L. Zhang, L. Basyrova, P. Loiko, P. Camy, Z. Lin, G. Zhang, S. Slimi, R.M. Sole, X. Mateos, M. Aguilo, F. Diaz, E. Dunina, A. Kornienko, U. Griebner, V. Petrov, L. Wang, W. Chen // *Opt. Mater. Express.* – 2022. – Vol. 12. – P. 2028-2040.
7. Growth and spectroscopy of Er^{3+} -doped $\text{Na}_5\text{Y}_9\text{F}_{32}$ ($5\text{NaF}\cdot 9\text{YF}_3$) crystal/ L. Basyrova, P. Loiko, J.L. Doualan, A. Benayad, G. Z. Elabedine, R. M. Solé, M. Aguiló, F. Díaz, X. Mateos, E. Dunina, A. Kornienko, A. Braud, C. Labbé, P. Camy // *Fiber Lasers and Glass Photonics: Materials through Applications III*, SPIE Photonics Europe, 25 May 2022/ *Proc. of SPIE Photonics Europe*, Strasbourg, France, 2022. – Vol. 12142. – P. 121420L-6.
8. Messiah, A. *Quantum theory*/ A. Messiah. – Dover Publications, 1999. – 1152 p.
9. Маханек, А.Г. Аналитические методы в квантовомеханической теории возмущений / А.Г. Маханек, В.С. Корольков. – Мн., Наука и техника, 1982. – 327 с.
10. Tm, Ho: $\text{Ca}(\text{Gd,Lu})\text{AlO}_4$ crystals: Crystal growth, structure refinement and Judd-Ofelt analysis / Z. Pan, P. Loiko, S. Slimi, H. Yuan, Y. Wang, Y. Zhao, P. Camy, E. Dunina, A. Kornienko, L. Fomicheva, L. Wang, W. Chen, U. Griebner, V. Petrov, R.M. Sol'e, F. Díaz, M. Aguil'o, X. Mateos// *J. Lumin.* – 2022. – Vol. 246. – 118828-11.
11. Spectroscopy of solid-solution transparent sesquioxide laser ceramic $\text{Tm}:\text{LuYO}_3$ / K. Eremeev, P. Loiko, A. Braud, P. Camy, J. Zhang, X. Xu, Y. Zhao, P. Liu, S. Balabanov, E. Dunina, A. Kornienko, L. Fomicheva, X. Mateos, U. Griebner, V. Petrov, L. Wang, W. Chen.// *Opt. Mater. Express.* – 2022. – Vol. 12. – P. 3749-3762.
12. Проблемы и перспективы теоретического описания спектров редкоземельных элементов в лазерных материалах/ Ант.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, Л.А. Фомичева, П. Лойко, А.А. Корниенко

// Тезисы докладов 55 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ» – Витебск, 2022. – С. 162-163.

13. Дунина, Е.Б. Разработка web-сервиса для оформления и управления посещениями врача./ Е.Б. Дунина, М.Л. Лапко // Тезисы докладов 55 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ» .– Витебск, 2022. – С. 161-162.

14. Корниенко, А.А. Моделирование объектов и систем автоматизации: методические указания по выполнению лабораторных работ / А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, А.С. Соколова. // Витебск: УО «ВГТУ», 2022. – 55с.

15. Дунина, Е.Б. Компьютерные системы конечноэлементных расчетов: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 1-40 05 01-01 «Информационные системы и технологии (в проектировании и производстве)» для дневной и заочной на базе ссуз форм обучения / УО «ВГТУ»; сост.: Е.Б. Дунина, А.С. Соколова, А.Н. Бизюк. – Витебск, 2022. – 54 с.

вычисления сил осцилляторов и вероятностей спонтанных переходов с возбужденного мультиплета, учитывающие распределение Больцмана. В качестве основного параметра теории в этих формулах выступает либо экспериментальное значение силы осциллятора, либо сила осциллятора, вычисленная по теории Джадда-Офельта.

Вычисленные по модифицированной теории силы осцилляторов абсорбционных переходов на 14–17% меньше сил осцилляторов, вычисленных по теории Джадда-Офельта. Однако при выборе оптимальных значений параметров интенсивности Ω_k ($k = 2, 4, 6$) по методу наименьших квадратов эта неточность в теории Джадда-Офельта будет компенсирована и точность описания экспериментальных сил осцилляторов абсорбционных переходов не уменьшится

Основные результаты исследований опубликованы в работах [13 – 20].

3.6 Список использованных источников

1. B.R. Judd, Optical Absorption Intensities of Rare-Earth Ions, *Phys. Rev.* 127 (1962) 750–761.
2. G.S. Ofelt, Intensities of Crystal Spectra of Rare- Earth Ions, *J. Chem. Phys.* 37 (1962) 511–520.
3. Е. Б. Дунина, Л. А. Фомичева, А. А. Корниенко, М. В. Григорьева. Влияние конфигурационного взаимодействия редкоземельных ионов на интенсивности их межмультиплетных переходов // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 85, № 3 398–406 (2018). E. B. Dunina, L. A. Fomicheva, A. A. Kornienko, M. V. Grigoreva. Effect of configuration interaction of rare-earth ion states on the intensity of intermultiplet transitions // *Journal of Applied Spectroscopy*, Vol. 85, No. 3, July, 2018. 407–415 (Russian Original Vol. 85, No. 3, May–June, 2018). DOI 10.1007/s10812-018-0665-

4. Bin Jia, Lujun Huang, Artem S. Pilipchuk, Sibor Huang, Chen Shen, Almas F. Sadreev, Yong Li, Andrey E. Miroshnichenko. Bound States in the Continuum Protected by Reduced Symmetry of Three-Dimensional Open Acoustic Resonators // PHYSICAL REVIEW APPLIED 19, 054001 (2023).
5. Weber M.J., Varitimos T.E., and Matsinger B.H. Optical Intensities of Rare-Earth Ions in Yttrium Orthoaluminate // Phys. Rev.B.- 1973.- V.8, N1.- P. 47-53.
6. E. B. Dunina and A. A. Kornienko. Influence of Excited Configurations on the Intensities of Electric Dipole Transitions of Rare Earth Ions // Optics and Spectroscopy, 2014, Vol. 116, No. 5, pp. 706–711. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014. Original Russian Text © E.B. Dunina, A.A. Kornienko, 2014, published in Optika i Spektroskopiya, 2014, Vol. 116, No. 5, pp. 763–769.
7. Georgescu S., Ionescu C., Voicu I. and Zhekov V.I. A modified Judd-Ofelt analysis of Er^{3+} in YAG // Rev. Roum. Phys.- 1985.- V.30, N3.- P. 265-276.
8. Stefan Püschel, Sascha Kalusniak, Christian Kränkel, Hiroki Tanaka. Temperature-dependent radiative lifetime of Yb:YLF: refined cross sections and potential for laser cooling // Vol. 29, No. 7 / 29 March 2021 / Optics Express 11106 -11120.
9. H. P. Jenssen, A. Linz, R. P. Leavitt, C. A. Morrison, D. E. Wortman. Analysis of the optical spectrum of Tm^{3+} in LiYF_4 // PHYSICAL REVIEW B VOLUME 11, NUMBER 1 (1975) P. 92-100.
10. Reid M.F. and Richardson F.S. Rationalization of the f-f intensity parameters for transitions between crystal field levels of lanthanide ions // J. Less-Common Metals 1983.- V.93, N1.- P. 113-118.
11. Reid M.F. and Richardson F.S. Electric dipole intensity parameters for lanthanide 4f-4f transitions // J. Chem. Phys. 1983.- V.79, N12.- P. 5735-5742.

12. Umit Demirbas, Jelto Thesinga, Martin Kellert, Franz X. Kärtner, Mikhail Pergament. Temperature dependence of the fluorescence lifetime and emission cross section of Tm:YLF in the 78-300 K range // *Opt. Mater. Express* – 2022. – Vol.12, N12. – P. 4712-4730.
13. Simone Normani, Pavel Loiko, Liza Basyrova, Abdelmjid Benayad, Alain Braud, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Alexey Kornienko, Ammar Hideur, and Patrice Camy. Mid-infrared emission properties of erbium-doped fluorite-type crystals // *Opt. Mater. Express*. – Vol.13, №7. – P. 1836-1851, **импакт-фактор 3.074**
14. Anastasia Uvarova, Pavel Loiko, Sascha Kalusniak, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Alexey Kornienko, Stanislav Balabanov, Alain Braud, Patrice Camy, and Christian Kränkel. Stimulated-emission cross-sections of trivalent erbium ions in the cubic sesquioxides Y₂O₃, Lu₂O₃, and Sc₂O₃ // *Opt. Mater. Express*. – Vol.13, №5. – P. 1385-1400, **импакт-фактор 3.074**
15. Simone Normani, Pavel Loiko, Zhongben Pan, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Alexey Kornienko, Alain Braud, Weidong Chen, Uwe Griebner, Valentin Petrov, and Patrice Camy. Spectroscopy and 2.8 μm laser operation of disordered Er:CLNGG crystals // *Opt. Lett.* **48**(10), 2567-2570 (2023), **импакт-фактор 3.560.**
16. *Amandine Baillard*¹, Pavel Loiko, Daniel Rytz, Sebastian Schwung, Anatoly Pavlyuk, Aleksei Kornienko, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Michaël Fromager, Alain Braud, and Patrice Camy. Polarized spectroscopy of Sm³⁺ ions in monoclinic KGd(WO₄)₂ crystals // *EPJ Web of Conferences*, **287**, 05041(2) (2023) *EOSAM 2023. European Optical Society Annual Meeting, Dijon, France.* **импакт-фактор 0.3.**
17. Корниенко А.А., Дунина Е.Б., Соколова А.С., Масалова К.О. Сравнительный анализ адекватности различных моделей для описания спектроскопических свойств лазерных материалов с примесью трехвалентных ионов эрбия и тулия // *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2023, №2(45), С. 50 -

18. Фомичева, Л.А. Анализ эффективности применения теории кристаллического поля в приближении аномально сильного конфигурационного взаимодействия для описания штарковской структуры мультиплетов ионов Pr^{3+} / Л.А. Фомичева, А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. X Междунар. науч. конф., Минск, 22–26 мая 2023 / ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»; редкол.: В. М. Федосюк (пред.) [и др.]. – Минск : А. Н. Вараксин, 2023. – С. 404-407
19. Фомичева, Л.А. Анализ эффективности применения теории кристаллического поля в приближении аномально сильного конфигурационного взаимодействия для описания штарковской структуры мультиплетов ионов Pr^{3+} / Л.А. Фомичева, А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. тезисов X Междунар. науч. конф., Минск, 22–26 мая 2023 / ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»; редкол.: В. М. Федосюк (пред.) [и др.]. – Минск : А. Н. Вараксин, 2023. – С. 451
20. Фомичева, Л.А. Анализ штарковского расщепления мультиплетов иона Am^{3+} в эльпасолите $\text{Cs}_2\text{NaLuCl}_6$ в приближении аномально сильного конфигурационного взаимодействия / Л.А. Фомичева, А.А. Корниенко, Е.Б. Дунина // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. тезисов X Междунар. науч. конф., Минск, 22–26 мая 2023 / ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»; редкол.: В. М. Федосюк (пред.) [и др.]. – Минск : А. Н. Вараксин, 2023. – С. 452

журналах. Установлено, что экспериментальное исследование температурной зависимости времени жизни мультиплета 5D4 практически не проводилось. Поэтому выполненные на этом этапе расчеты температурной зависимости времени жизни мультиплета 5D4 имеют прогнозное или предсказательное значение.

Основные результаты исследований опубликованы в работах [1, 3, 5–10].

4.6 Список использованных источников

1. Anton Kornienko, Pavel Loiko, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Aleksey Kornienko. On the temperature dependence of transition intensities of rare-earth ions: A modified Judd-Ofelt theory // «Optical Materials 148 (2024) 114808», **Impact Factor 3.9**
2. Stefan Püschel, Sascha Kalusniak, Christian Kränkel, Hiroki Tanaka. Temperature-dependent radiative lifetime of Yb:YLF: refined cross sections and potential for laser cooling // Vol. 29, No. 7 / 29 March 2021 / Optics Express 11106 -11120.
3. A.S. Nizamutdinov, A.A. Shavelev, A.V. Astrakhantseva, K.N. Boldyrev, A.G. Nikolaev, E.B. Dunina, A.A. Kornienko, A.A. Pynenkov, A.A. Lyapin, S.V. Kuznetsov, V.V. Semashko. Optical spectroscopy of the Er³⁺ ions in heavily doped BaY_{1.8}Lu_{0.2}F₈:Er mixed crystals // «Optical Materials 147 (2024) 114585» , **Impact Factor 3.9**
4. Bing-Tian Lang, Yan-Jie Song, Nan Zong, Zhong-Zheng Chen, Yong Bo, Qin-Jun Peng. Anisotropic thermal and polarized spectroscopic characterization of Nd:YLF crystal from 10 K to 300 K for excellent performance laser // Journal of Luminescence 276 (2024) 120838.

5. Amandine Baillard, Pavel Loiko, Daniel Rytz, Sebastian Schwung, Anatoly Pavlyuk, Alexey Kornienko, Elian Pimor, Moritz Badtke, Christian Kränkel, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Lauren Guillemot, Alain Braud, Patrice Camy. Polarized spectroscopy of Sm³⁺ ions in monoclinic KGd(WO₄)₂ crystals for lasers emitting in the red // Journal of Luminescence 273 (2024) 120641 (4–13) , Impact Factor 3.3
6. Ghassen Zin Elabedine, Kirill Subbotin, Pavel Loiko, Zhongben Pan, Kirill Ereemeev, Yulia Zimina, Yana Didenko, Sergei Pavlov, Anatoly Titov, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Aleksey Kornienko, Alain Braudd, Rosa Maria Solé, Magdalena Aguilo´a, Francesc Díaza, Weidong Chenh,i, Pavel Volkovj, Valentin Petrov, Xavier Mateos. Growth, spectroscopy and 2 μm laser operation of monoclinic Tm³⁺: ZnWO₄ crystal // OpticalMaterials157(2024)116039 (13), Impact Factor 3.9
7. Simone Normani, Pavel Loiko, Roman Maksimov, Liza Basyrova, Vladislav Shitov, Elena Dunina, Alexey Kornienko, Liudmila Fomicheva, Alain Braud, Ammar Hideur, Bruno Viana, Patrice Camy. Solid-solution Er:(Sc,Y)2O₃ transparent ceramics: Optical spectroscopy, inhomogeneous line broadening, C3i sites and mid-infrared laser operation // OpticalMaterials157(2024)116288 (11), Impact Factor 3.9
8. A.V. Astrakhantseva, A.A. Shavelev, A.S. Nizamutdinov, K.N. Boldyrev, A.G. Nikolaev, S.V. Kuznetsov, E.B. Dunina, A.A. Kornienko. Study of the spectral and kinetic characteristics of the Er³⁺ ion in BaY_{1.8}Lu_{0.2}F₈ mixed crystals to assess the possibility of continuous laser oscillation at a wavelength of 2.7 μm // 2024 International Conference Laser Optics (ICLO), 2024, P.44. Дата 01-05 July 2024. Санкт-Петербург. DOI: 10.1109/ICLO59702.2024.10624501
9. Ghassen Zin Elabedine, Pavel Loiko, Simone Normani, Rosa Maria Solé, Alain Braud, Patrice Camy, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Alexey Kornienko, Weidong Chen, Dunlu Sun, Peixiong Zhang, Xavier Mateos, Uwe Griebner, and Valentin Petrov. Polarized spectroscopy of Ho:YAlO₃

crystals for 2 μm and 3 μm lasers // Solid State Lasers XXXIII: Technology and Devices, edited by W. Andrew Clarkson, Ramesh K. Shori, Proc. of SPIE Vol. 12864, P.128640V-01 – 128640V-08 · © 2024 SPIE 0277-786X

10.Е. Б. Дунина, А. С. Соколова, А. А. Корниенко. Искусственный интеллект. Лабораторный практикум. // Учебно-методическое пособие (с грифом УМО по образованию в области информатики и радиоэлектроники). Витебск : УО «ВГТУ», –2024. с. 89.

Список использованных источников

1. Ngoc Quynh Hoa Nguyen, Pavel Loiko, Abdelmjid Benayad, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Alexey Kornienko, Patrice Camy, And Alain Braud. Prospects of low-phonon energy Ho:MF₂ (M= Ca, Sr, Ba) crystals for 2-3 μm lasers // Vol. 33, No. 12 / 16 Jun 2025 / Optics Express 24303, **Impact Factor 4.116**.
2. *Ngoc Quynh Hoa Nguyen, Pavel Loiko, Abdelmjid Benayad, Aleksei Kornienko, Elena Dunina, Liudmila Fomicheva, Patrice Camy and Alain Braud.* Mid-infrared emissions of Dy³⁺ ions in CaF₂ // EPJ Web of Conferences **335**, 08012 (2025) *EOSAM 2025. (2)*, , **Impact Factor 0.4**.
3. Simone Normani, Pavel Loiko, Liudmila Moiseeva, Valeria Vinokurova, Leonid Vaimugin, Elena Dunina, Alexey Kornienko, Alain Braud, and Maria Brekhovskikh. Optical spectroscopy of erbium-doped fluorohafnate glasses for 2.8 μm lasers // EPJ Web of Conferences **335**, 08015 (2025) *EOSAM 2025. (2)*, , **Impact Factor 0.4**.
4. А.А. Корниенко, В.С. Андреев, Ант.А. Корниенко, Е.Б. Дунина, А.С. Соколова, К.О. Воронцова. Приложение на C# для определения вероятностей излучательных переходов с отдельных компонент возбужденного уровня ⁴F_{3/2} иона Nd³⁺ по температурной зависимости времени жизни // Вестник Витебского государственного технологического университета. № 2 (52), 92 – 99 (2025).
5. А.А. Корниенко, Е.В. Дунина, Л.А. Фомичева. Method for determining the probabilities of transitions from individual components of an excited multiplet based on the temperature dependence of the lifetime // Сборник тезисов XIX Международного Феофиловского Симпозиума по спектроскопии кристаллов, легированных ионами редкоземельных и переходных металлов (IFS2025). г. Саранск, Россия. 10–14 ноября 2025 г. / редкол.: М. Н. Попова (отв. ред.) [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2025. – 1 CD-ROM. – Текст : электронный.
6. Воронцова К.О. Разработка приложения для моделирования спектроскопических свойств иона Pr³⁺ в лазерных материалах/ К.О. Воронцова, Е.Б. Дунина, А.А. Корниенко // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 319–322.

7. Liu Yang Development and optimization of the vehicle parking management system / Liu Yang, A.Kornienko, A.Biziuk // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 341–343.
8. **Luo Zheyu Research** on the empowerment of 5g technology in intelligent transportation systems / Luo Zheyu, A.Kornienko, P. Dzerkachenka // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 350–352.
9. Cao Weilin Smart manufacturing: the role of iot and ai in modern production systems / Cao Weilin, A.Kornienko, P. Dzerkachenka // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 352–353.
10. Wang Shanni 3D scanning applications / Wang Shanni, A.Kornienko, P. Dzerkachenka // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 354–355.
11. Chen Jiake Intelligent Library Management System / Chen Jiake, A.Kornienko, A.Biziuk/ Тезисы докладов 58 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ».- Витебск, 2025. – С. 221.
12. Tang Qinghua Artificial Intelligence In Quality Inspection / Tang Qinghua, A.Kornienko, A.Biziuk/ Тезисы докладов 58 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ».- Витебск, 2025. – С. 223-224.
13. Li Ziyuan Application of mixed reality technology in student life simulation games / Li Ziyuan, E. Dunina, A.Biziuk // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 331–333.
14. Guo Rujie A real-time data processing system based on apache flink / Guo Rujie, E. Dunina, P. Dzerkachenka // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 335–336.
15. Li Yankun E Development and optimization of the university laboratory management system / Li Yankun, E. Dunina, P. Dzerkachenka // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 338–341.
16. Liu Ya Development and optimization of the campus management system / Liu Ya, E. Dunina, P. Sokalava // Материалы докладов 58-ой

- Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 343–346.
17. Стукалова Д.А. Анализ генетической информации с помощью искусственного интеллекта / Д.А. Стукалова, В.В. Мещеряк, И.Д. Архипов, Е.Б. Дунина // Материалы докладов 58-ой Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2025. – Т. 2. – С. 304–306.