

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки 12.04.02 «Оптотехника»
Кафедра лазерной и световой техники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Люминесценция кристаллов фторида лития с оксидами металлов

УДК 548.73, 535.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5Б	А.А. Липовка		

Руководитель

Должность	ФИО	Уч. степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЛИСТ	В.И. Корепанов	д. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	О.Н. Петухов	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Т.А. Задорожная			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЛИСТ	Е.Ф. Полисадова	к. ф.-м. н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Способность формулировать цели, задачи и составлять план научного исследования в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОПК- 1, ПК-1, 2, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1-5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования работодателей.
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов	Требования ФГОС ВО (ОПК- 2, ПК- 3, 4, 5, 19) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1, 5.2.4, 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . Требования работодателей.
P3	Способность к исследованию и анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания, к постановке цели и задач проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и	Требования ФГОС ВО (ПК- 6, 7, 10) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

	патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы	Требования работодателей.
P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности	Требования ФГОС ВО (ПК- 8, 9, 10, 11) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.	Требования ФГОС ВО (ПК-9, 12, 13, 14,15, 16, 17, ПК-9) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОПК- 2, ПК- 3, 11, 15, 16, 21) Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных,	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 2, ОПК-1, 2, ПК-9) Критерий 5 АИОР (п. 5.2.6),

	технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения	согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п. 5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-20, 22, 23), Критерий 5 АИОР (пп. 5.3.1, 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей
P10	Способностью к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов	Требования ФГОС ВО (ПК- 18, 24), Критерий 5 АИОР (пп 5.3.1, 5.3.3, 5.3.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3) Критерий 5 АИОР (5.3.2, 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> Требования работодателей.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт физики высоких технологий
 Направление 12.04.02 «Оптотехника»
 Кафедра лазерной и световой техники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ЛИСТ

_____ Е.Ф. Полисадова

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме

магистерской диссертации

Студенту

Группа	ФИО
4ВМ5Б	Анне Анатольевне Липовка

Тема работы

Люминесценция кристаллов фторида лития с оксидами металлов
утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом готовой работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы [непрерывный, периодический, циклический и т. д.]; вид сырья и материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования [эксплуатации] объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)	Объектом исследования – активаторная фотостимулирования люминесценция кристаллов фторида лития; Предмет исследования – кристаллы, LiF:Ti, LiF:Fe, LiF:W. Вид измерений – стационарная люминесценция; Условия измерений: возбуждение производилось в спектральном диапазоне 200...400 нм; диапазон измерения люминесценции 350...800 нм, температурный диапазон измерений - 20...300 К.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки и техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение	Обзор достижений в области исследования люминесценции кристаллов фторида лития путем изучения соответствующей научной и технической литературы. Постановка задач исследования. Освоение методик измерения спектров люминесценции и спектров

результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)	возбуждения люминесценции при различных температурах. Обработка полученных результатов с помощью программного обеспечения, анализ и обсуждение экспериментальных результатов. Написание разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Перевод раздела «Расчеты и аналитика» на английский язык. Выводы по работе.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Экспериментальные результаты, представленные в виде графиков; функциональные схемы и фотографии используемого оборудования, план эвакуации из лаборатории

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	О.Н. Петухов, доцент каф. менеджмента ИСГТ
Социальная ответственность	Т.А. Задорожная, ассистент каф. ЭБЖ ИНК
Раздел ВКР на иностранном языке	А.К. Устюжанина, доцент каф. ИЯФТ

Названия разделов, которые должны быть выполнены русским и иностранным языках:

Обзор литературы, методика эксперимента, экспериментальные результаты

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЛИСТ	В.И. Корепанов	д. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5Б	А.А. Липовка		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120 с., 71 рис., 16 табл., 53 источника, 3 прил.

Ключевые слова: ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, СЦИНТИЛЛЯТОР, ВОЗБУЖДЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ, АКТИВАТОРЫ, ЦЕНТРЫ ОКРАСА, КИСЛОРОДНЫЕ ЦЕНТРЫ, СПЕКТР, ФТОРИД ЛИТИЯ.

Объектом исследования является активаторная фотостимулированная люминесценция кристаллов фторида лития, предмет исследования - кристаллы, $\text{LiF}:\text{TiO}_2$, $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{LiF}:\text{WO}_3$.

Целью работы является установление роли кислорода в образовании сцинтилляционных центров свечения, а так же параметров и характеристик этих центров при фотовозбуждении.

В процессе работы изучена люминесценция (спектры люминесценции и спектры возбуждения) кристаллов LiF с примесями оксидов металлов в диапазоне энергий квантов 6,5 – 4,4 эВ при температурах 20 – 300 К. При постановке эксперимента было использовано лабораторное оборудование – спектрофлуориметр, монохроматоры, криостат.

Установлено, что во всех кристаллах присутствует свечение кислородных центров ($\text{O}^{2-} - V_a$). Предполагается, что при облучении фотонами, в кристаллах, содержащих примеси металлов, свечение возникает в результате возбуждения кислородных центров, возмущенных примесями Fe_2O_3 , WO_3 , TiO_2 .

В дальнейшем планируется написание статей, содержащих обсуждение полученных результатов, проведение дополнительных измерений в области низких температур.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. Гост 12.0.003-2016. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
2. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
3. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях
4. ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
6. СН 4557-88. Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях
7. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
8. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
10. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
11. СанПиН 2.2.4.1294-03 - гигиенические требования к аэроионному составу воздуха
12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
13. ФЗ об отходах производства и потребления от 24.06.1998 N 89-ФЗ
14. Постановление Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде»

15. НПБ 105-03. Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
16. Правила противопожарного режима в РФ (утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 года N 390)
17. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений
18. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 01.05.2016) "О специальной оценке условий труда»
19. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017)
20. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Люминесценция: избыточное над тепловым свечение, которое продолжается после возбуждения в течение времени, превышающего период световой волны.

Фотолюминесценция: вид люминесценции, при котором механизм возбуждения связан с поглощением света ультрафиолетовой, видимой или инфракрасной областей спектра.

Спектр фотолюминесценции: зависимость интенсивности свечения от длины волны, частоты или энергии излучения.

Спектр возбуждения люминесценции: зависимость интенсивности свечения в определенной полосе излучения от длины волны или частоты возбуждающего света при постоянной его интенсивности.

Сцинтилляция: вспышки свечения, возникающие при действии отдельных частиц на люминесцентное вещество.

Интенсивность, Вт/м²: поток излучения, падающий на участок поверхности, к площади этого участка (аналог облученности в фотометрии).

Центр окраски: дефект кристаллической решетки, поглощающий свет видимого диапазона.

Обозначения и сокращения

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

УФ – ультрафиолет;

ФЛ – фотолюминесценция;

ЦО – центры окраса;

ЩГК – щелочно-галоидный кристалл;

PL – photoluminescence (фотолюминесценция)

Оглавление

Введение.....	13
1. Обзор литературы	14
1.1. Структура, оптические свойства, применение, выращивание кристаллов LiF:Ti, LiF:W, LiF:Fe.....	14
1.2. Сцинтилляционные свойства кристаллов LiF:Ti, LiF:W, LiF:Fe.....	18
1.3. Люминесценция кристаллов LiF:Ti, LiF:W, LiF:Fe.....	19
1.4. Дegradaция сцинтилляторов на основе кристаллов LiF:Ti, LiF:W, LiF:Fe.....	21
1.4.1. Накопление центров окраски	21
1.4.2. Изменение параметров и характеристик люминесценции.....	25
2. Методики	26
2.1. Методика измерения спектров фотолюминесценции и спектров возбуждения фотолюминесценции при 300 К.	26
2.2. Методика измерения спектров фотолюминесценции и спектров возбуждения фотолюминесценции при температурах 20...300 К.....	33
3. Экспериментальные результаты.....	37
3.1. Люминесценция при температуре T=300 К.....	38
3.2. Особенности люминесценции кристаллов при 20 К.....	53
3.3. Температурные зависимости параметров люминесценции	57
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	60
4.2. Технология QuaD.....	60
4.3. SWOT-анализ	62

4.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	65
4.5. Планирование научно-исследовательских работ	65
4.6. Бюджет научно-технического исследования	70
5. Социальная ответственность	76
Введение.....	76
5.1. Производственная безопасность	77
5.2. Экологическая безопасность	84
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	86
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	89
Заключение	91
Список использованных источников	93
Приложение А	98
Приложение Б	119
Приложение В.....	120

Введение

Актуальность исследования люминесценции кристаллов фторида лития с примесями заключается в том, что данные материалы широко применяются в технике, кристаллы могут быть эффективными сцинтилляторами при регистрации тяжелых слабовазаимодействующих частиц (например, частиц темной материи). Высоким световым выходом обладают только образцы, содержащие активатор, например W или Ti. Однако выращивание кристаллов с поливалентными примесями сопровождается вхождением в них различных компенсирующих примесей и дефектов. По этой причине центр свечения представляет собой комплекс из ряда примесей и дефектов структуры кристалла. Предполагается, что в сцинтилляторах типа LiF-W, LiF-Ti излучательными центрами являются оксианионные комплексы WO_3 , TiO_2 .

Несмотря на то, что кристаллы исследуются уже давно, полной ясности в понимании структуры центра свечения, а также стадий развития процесса люминесценции в этих кристаллах нет. Центральными (главными) направлениями исследований является выяснение структуры центра свечения и механизмов передачи энергии возбуждения центру свечения (комплексы WO_3 , TiO_2 и др.). Это позволит создать научно обоснованные способы повышения эксплуатационных характеристик сцинтилляторов.

Цель настоящей работы - исследование спектров люминесценции и спектров возбуждения люминесценции кристаллов LiF- WO_3 , LiF- TiO_2 , LiF- Fe_2O_3 , LiF- Li_2O , LiF-ОН в спектральном диапазоне 6,5 – 4,4 эВ при температурах 20 – 300 К.

Задачи: Изучить спектры ФЛ и спектры возбуждения ФЛ кристаллов кристаллов LiF- WO_3 , LiF- TiO_2 , LiF- Fe_2O_3 , LiF- Li_2O , LiF-ОН в температурном диапазоне 20...300 К при возбуждении квантами из спектрального диапазона 200 – 400 нм.

1. Обзор литературы

1.1. Структура, оптические свойства, применение, выращивание кристаллов LiF:Ti, LiF:W, LiF:Fe

Фторид лития в чистом виде представляет собой ионные щелочно-галоидные кристаллы. Положительные ионы металла с отрицательными ионами галоида образуют кристаллическую структуру, связанную кулоновскими силами. Кристалл часто используется в ультрафиолетовой и инфракрасной оптике, полоса пропускания материала 110 – 700 нм, оптические свойства кристалла проиллюстрированы в таблице 1.

Кристалл фторида лития бесцветный, так как обладает большой шириной запрещенной зоны (10,9 – 14,5 эВ).

Таблица 1 – Оптические свойства LiF [1]

Параметр	Значение
Диапазон пропускания	0,12 – 8,5 мкм
Показатель преломления	1,3943
Потери на отражение	5,3%

Кристаллы выращиваются в вакууме методом Стокбаргера (метод направленной кристаллизации). Сущность метода заключается в том, что через печь, имеющую неравномерное распределение температуры по длине, протягивают ампулу с материалом. Тигель с расплавом перемещают из области высоких температур в область низких температур, на дне тигля начинается кристаллизация, получившийся в итоге кристалл имеет форму сосуда. Преимущество метода в том, что процессом кристаллизации можно управлять для улучшения свойств выращиваемого кристалла – например, с помощью

вибрации. Проводятся эксперименты по применению данной методики в условиях микрогравитации [2,3].

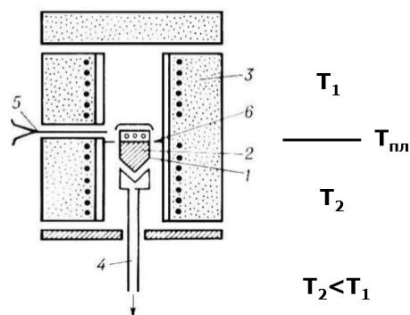


Рисунок 1 - Схема установки для выращивания кристаллов методом Стокбаргера. 1 – тигель с расплавом, 2 – кристалл, 3 – печь, 4 – холодильник, 5 – термопара, 6 – диафрагма

В тех случаях, когда необходима улучшенная структура кристаллов LiF, например, для производства таких оптических компонентов как монохроматоры, кристаллы выращивают методом Киропулоса. В данном методе тигель с солью помещается в электрическую теплоизолированную печь. При температуре существенно превышающей точку плавления соли, в расплав погружают часть затравочного кристалла; во время роста кристалла механически осуществляется его плавный подъем и охлаждение [4].

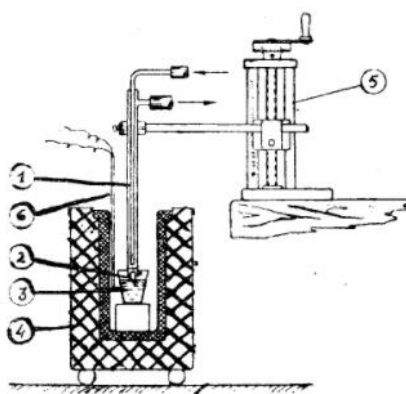


Рисунок 2 - Схема установки для выращивания кристаллов методом Киропулоса. 1 – платиновый холодильник, 2 – затравочный кристалл, 3 – тигель, 4 – электрическая печь, 5 – приспособление с микрометрическим винтом, 6 – термопара [4]

Оба метода требуют предварительной обработки сырья, расплава. Обработка сырья проводится в несколько этапов:

1. Низкотемпературная сушка (комнатная температура). Цель этапа – десорбция влаги из исходной соли
2. Сушка при температуре 100-200°C. Цель этапа – дополнительная очистка от примесей
3. Сушка при высокой температуре (500 °C). Цель этапа – дополнительное удаление газообразных продуктов. Проводится удаление азотсодержащих продуктов, которые приводят к тушению сцинтилляций [5].

Более современным методом выращивания данных кристаллов является метод направленной кристаллизации в гарнисаже [6]. Контейнер с сырьем устанавливают в вакуумную камеру, где происходит его сушка. В дальнейшем контейнер нагревается до температуры существенно ниже температуры плавления сырья. После достижения необходимого значения температуры, нижний нагреватель фиксируют. Важно, чтобы данное значение было ниже температуры плавления; а верхний нагреватель наоборот, нагревают выше температуры плавления сырья. Таким образом, в контейнере происходит плавления сырья везде, кроме гарнисажного слоя толщиной до 10 мм, который образуется вдоль стенок контейнера. Путем снижения температуры нагревателей достигают кристаллизации образца.

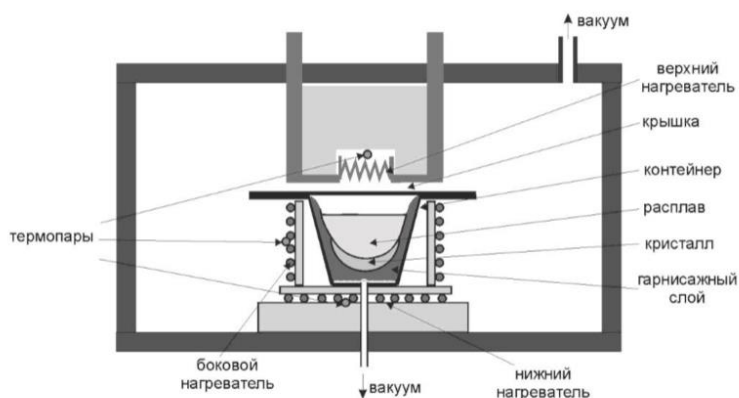


Рисунок 3 - Схема установки для выращивания кристаллов методом направленной кристаллизации в гарнисаже [6]

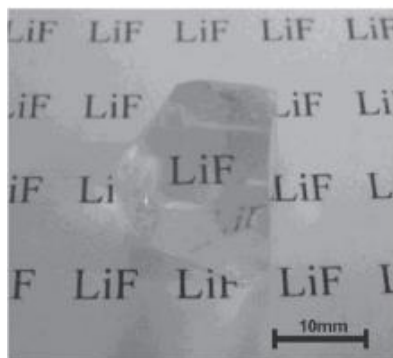


Рисунок 4 - Образец кристалла, выращенного методом направленной кристаллизации в гарнисаже [6]

Чистые кристаллы фторида лития обладают низким световыходом, поэтому часто в кристалл вводят примеси для улучшения радиационных свойств. Так, кристаллы фторида лития, активированные примесями титана, вольфрама, железа используют в качестве люминофоров для дозиметрии ядерных излучений, в частности для регистрации медленных нейтронов. Поперечное сечение захвата нейтронов у лития примерно $900 \times 10^{-24} \text{ см}^2$. К люминофорам, применяемых для данных целей предусмотрены некоторые требования. Люминофоры должны обладать:

1. наибольшей конверсионной эффективностью (световыходом);
2. спектральным составом излучения, соответствующим области максимальной чувствительности фотокатода счетчика;
3. малой длительностью сцинтилляций [7].

Также, сцинтилляционные детекторы используются для радиоэкологического мониторинга территорий, контроля космического и техногенного нейтронного фона, создания комплексов технического контроля за ядерным топливом, создания антитеррористических комплексов радиационного контроля [8].

Кристаллы активируют путем добавления в шихту окисла соответствующего металла. В полученных кристаллах можно обнаружить кислородосодержащие примеси и собственные дефекты, так как примесь входит в решетку кристалла не в чистом виде, а в виде оксидов металлов [9].

Такой оксианионный комплекс располагается в анионных узлах решетки и является центром сцинтилляционного свечения. Известно, что введение примесей при выращивании сопровождается также вхождением различных компенсирующих примесей и дефектов, в том числе вакансий, атомов (ионов) кислорода и OH^- групп.

Кристаллы, исследуемые в работе, выращены в Институте монокристаллов НАН Украины, г. Харьков.

1.2. Сцинтилляционные свойства кристаллов LiF:Ti , LiF:W , LiF:Fe

Сцинтилляторами называют вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения. Таким образом, сцинтиллятор работает как спектральный и энергетический преобразователь – преобразует высокоэнергетический фотон в излучение видимого и УФ диапазона [10]. Неорганические сцинтилляторы, о которых идет речь в тексте работы, представляют собой кристаллы неорганических солей, также такой вид сцинтилляторов является самым распространенным на практике. Около 80% сцинтилляторов представляют собой щелочно-галогидные монокристаллы. Помимо неорганических, существуют органические кристаллические, пластмассовые, газовые и органические жидкие сцинтилляторы.

Когда заряженная частица проходит через сцинтиллятор, в нем возникает определенное число фотонов, часть из которых поглощается в объеме материала, а наружу испускаются фотоны с меньшей энергией. Сцинтиллятор испускает сплошной спектр, характерный для отдельного рассматриваемого материала. Другой важной характеристикой сцинтилляторов, имеющей значение на практике, является световыход (конверсионная эффективность). Световыход представляет собой отношение энергии, излучаемой в виде сцинтилляций, к поглощенной энергии. Третьей важной

характеристикой является длительность сцинтилляций. К остальным характеристикам можно отнести следующие:

1. Время отклика
2. Радиационная стойкость
3. Химическая и механическая стабильность
4. Стоимость

Чистые кристаллы LiF обладают низким световыходом при комнатной температуре. Согласно оценкам, сцинтилляционный выход кристалла LiF близок к 5000 фот/МэВ [11]. Охлаждение до низких температур (10–50 K) увеличивает интенсивность высвечивания кристаллов почти на 2 порядка от распада первичных радиационных дефектов. Легирование фторида лития металлами существенно повышает световыход LiF, что делает материал более востребованным. Считается, что центрами свечения в таких кристаллах являются комплексы металл – кислород.

Фторид лития, активированный вольфрамом (LiF:W) имеет максимум люминесценции при 430 нм, длительность сцинтилляций 40 мкс, но сцинтилляционная эффективность не очень высока (0,1 относительно световыхода LiI:Eu).

Фторид лития, активированный титаном (LiF:Ti) характеризуется световыходом, составляющим 2% от NaI(Tl), которые на данный момент остается самым эффективным сцинтиллятором по световыходу [12].

1.3. Люминесценция кристаллов LiF:Ti, LiF:W, LiF:Fe

Люминофорами называют твердые и жидкие тела, которые люминесцируют от внешнего возбуждения. В зависимости от вида этого возбуждения выделяют несколько видов люминесценции: радио-, хими-, биотрибо-, кристалло-, катодо- и фотолюминесценция. В данном случае интерес представляет фотолюминесценция, обусловленная поглощением излучения ИК,

видимой и УФ областей спектра, так как именно этот вид возбуждения используется в работе.

Так как речь идет о внешнем возбуждении, интенсивность люминесценции зависит от интенсивности передачи энергии атомам от внешнего источника и процессов, происходящих внутри вещества, которые могут привести к тушению люминесценции. Интенсивность фотолюминесценции можно выразить формулой (1)

$$I = 2,3I_0\varphi klc, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность источника возбуждения, φ – квантовый выход люминесценции, k – коэффициент поглощения излучения веществом, c – концентрация центров люминесценции. Интенсивность люминесценции с ростом температуры как правило уменьшается (в отличие от случая теплового возбуждения).

Возбуждение светом относится к селективным видам возбуждения. Перевод центра в возбужденное состояние происходит в результате поглощения фотонов с энергией, соответствующей энергетической системе электронных поглощательных переходов в этом центре. Все этапы возникновения свечения происходят внутри одного центра. При возвращении частицы из возбужденного состояния в основное происходит люминесценция [13]. Фотолюминесценция находит широкое применение в технике. Фотолюминофоры составляют около 90% от всех используемых поликристаллических люминофоров [14].

У кристаллов фторида лития, активированных вольфрамом и титаном, полосы поглощения активаторов и фотовозбуждение находятся в спектральном диапазоне 190 – 300 нм, вследствие чего наблюдается интенсивная активаторная люминесценция.

У кристаллов фторида лития, активированных железом, слабо выраженная полоса поглощения активаторов в области 190 – 300 нм. В данных кристаллах происходит поглощение кислородных центров.

1.4. Деградация сцинтилляторов на основе кристаллов LiF:Ti , LiF:W , LiF:Fe

1.4.1. Накопление центров окраски

Возникновение люминесценции, как было упомянуто ранее, связано с появлением структурных нарушений в решетке образца, в частности, благодаря внедрению активаторных примесей. В результате в материале возникают центры свечения, вызывающие излучательную аннигиляцию локальных электронных возбуждений [15].

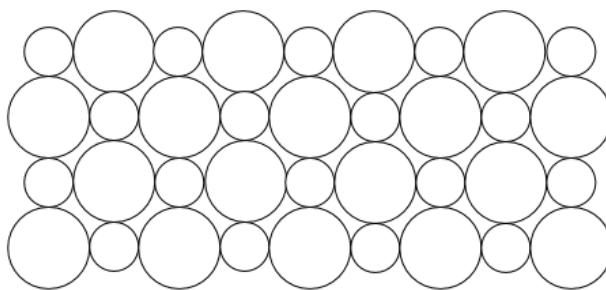


Рисунок 5 - Расположение ионов в идеальном кристалле [16]

На рисунке 5 представлено схематичное изображение идеального кристалла, маленькие круги иллюстрируют щелочные катионы, большие – ионы галогена. При введении активаторов в запрещенной зоне кристалла появляются энергетические уровни, переходы электронов между которыми при облучении кристалла светом вызывают его поглощение.

Простейшие ЦО в кристаллах – F-центры. Такие центры окраса появляются в результате облучения кристалла, либо при температурном воздействии (нагреве в парах щелочного металла). При этом в спектре поглощения кристалла обнаруживаются широкие полосы поглощения в видимой области, однако термин применим даже в случае, если полоса поглощения лежит не только в видимой области, а во всей области прозрачности не активированного примесями кристалла. В кристаллах фторида лития максимум полосы поглощения попадает на 5 эВ, таким образом, максимум поглощения находится в ультрафиолетовой области спектра. F-центр

представляет собой образование, состоящее из анионной вакансии, захватившей и удерживающей электрон. Два соседних F-центра образуют М-центр.

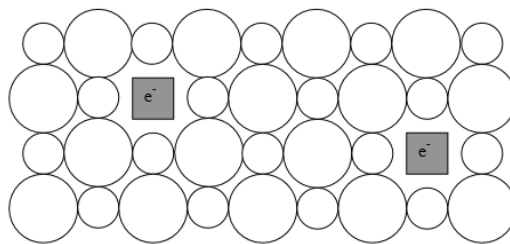


Рисунок 6 - Модель F-центра

На основе F-центров возможно образование более сложных ЦО: F_2 , F_3^- , F_a - и F_H - центров, где F_3^- центр – ионизированный F_3 центром, лежит вне одной плоскости решетки. Если добавить третий электрон в F_2 центр, получится F_2^- центр, два электрона к F_3^+ -центру - F_3^- , убрать один электрон от F_2 центра - F_2^+ . F_a , F_H -центры – простейшие ассоциаты F-центров с дефектами решетки. В кристаллах фторида лития охватываются все варианты F-центров.

Положение F- и F_2 -полос в спектрах поглощения описывается формулой Мольво-Айви (2)

$$\lambda_{max} = A \cdot d^\alpha \quad (2),$$

Где d – параметр решетки (Å), а константы A и α для F-центров равны, соответственно, 703 нм и 1,84 [17].

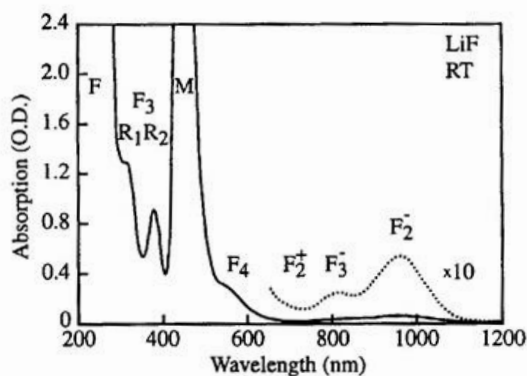


Рисунок 7 - Спектр поглощения при комнатной температуре LiF кристалла толщиной 0,5 мм, облученного при комнатной температуре, с электронами с энергией 3 МэВ. Полоса М состоит из полос поглощения F_3^+ -и F_2^- центров

Положение максимума полосы поглощения F_2^+ -центров для кристаллов LiF в зависимости от температуры определяется величинами: 1,913 при 4 К, 1,922 при 77 К, и 1,983 при 300 К. Относительная сила осциллятора определена экспериментально по преобразованию $F_2^+ \rightarrow F_2$ и составила 1 [18]. Полоса свечения F_2^+ -центров в кристаллах LiF при 80 К лежит на 1,36 эВ с полушириной 0,215 эВ, соответственно. Форма полосы свечения F_2^+ -центров может быть описана гауссовой кривой [19].

В сильно облученных ЩГК наблюдаются полосы поглощения, связанные с переходами в F_3^- центрах, обладающих точечной группой симметрии и представляющих собой F_3 -центры, захвативший избыточный электрон. С этим центром в кристаллах LiF связывают полосы поглощения 1,82 и 1,57 эВ при 77 К [20]. При возбуждении в F_3^- -полосе в кристаллах LiF возникает свечение с максимумом при 1,38 эВ. Радиационное время жизни в релаксированном возбужденном состоянии 10 нс [21].

Кроме электронных, в ЩГК есть и центры, образованные электронными вакансиями (дырками). Эти ЦО образуются при захвате дефектами дырок.

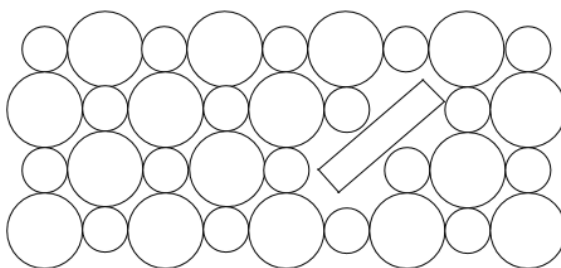


Рисунок 8 - V_k^- центр в ЩГК [16]

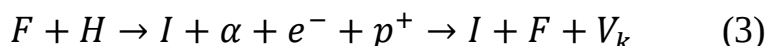
V_k^- центр — молекулярный ион, расстояние между ядрами галоида в котором на 30 – 40 % меньше, чем расстояние между обычными соседними атомами галоида в бездефектном кристалле. Параметры радиационных дефектов в кристаллах LiF проиллюстрированы в таблице 2. В таблице: Положение ($E_{ногл}$) и полуширина ($\delta_{ногл}$) полос поглощения; энергия, затрачиваемая на создание (W) и накопление (E) центра при 20К; энергия

активации термического отжига (E_d) и температура (T_d) делокализации; энергия активации процесса создания (E_a).

Таблица 2 - Параметры первичных радиационных дефектов в кристаллах LiF

кристалл		$E, \text{эВ}$	$\delta_{\text{пол}}, \text{эВ}$	$W, \text{эВ}$	$E, \text{эВ}$	$E_d, \text{эВ}$	$T_d, \text{К}$	$E_a, \text{эВ}$
LiF	F	5.1	0.6	$2 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^3$	1.1	550	0.06
	H	4				0.08	60	
	V_k	3.56 1.65	1.2			0.32	125	

В чистых кристаллах LiF механизм создания F -, V_k - пар основан на участии создающихся при облучении (например, в результате перезарядки F, H -пар) заряженных пар френкелевских дефектов – α , I - пар, где I – междоузельный ион фтора, а α – анионная вакансия (V_a). При облучении генерируется также большое количество электронно-дырочных (e^-, p^+) пар. Электроны захватываются вакансиями с образованием F -центров, а дырка автолокализуется в виде V_k -центра. Поэтому накопление F -, V_k -центров можно описать следующими реакциями:



Согласно общим представлениям о процессах накопления ЦО в щелочных галогенидах эффективность накопления ЦО – результат реализации ряда последовательных событий: генерация пар френкелевских дефектов (F, H -пар), пространственное разделения компонентов пар и их преобразование в устойчивые в условиях эксперимента дефекты. При низких температурах, меньших температуры делокализации H -центра, компоненты созданных пар Френкеля расположены рядом и могут из-за неподвижности при этих температурах обоих компонентов пары существовать в близких парах достаточно долго. Поэтому при низких температурах высока эффективность выживания F -центров. С повышением температуры (в LiF выше 60 К) увеличивается вероятность аннигиляции близких пар Френкеля и

эффективность выживания уменьшается [22]. В кристаллах LiF-TiO₂ и LiF-WO₃, LiF-Fe₂O₃ накопление F₂-центров линейно зависит от дозы облучения, а в кристаллах LiF и LiF-O наблюдается нелинейная параболическая стадия накопления при малых дозах облучения. Накопление ЦО искажает спектр активаторного излучения, теряется часть потока (уменьшается внешний световой выход) [23].

1.4.2. Изменение параметров и характеристик люминесценции

В процессе эксплуатации кристаллов, их сцинтилляционный спектр искажается. Помимо влияния накопления ЦО, влияние может оказать процесс перепоглощения с увеличением создаваемых ЦО. О степени его влияния на изменение интенсивности активаторной люминесценции свидетельствует изменение спектра активаторного свечения, показанное на рис. 9.

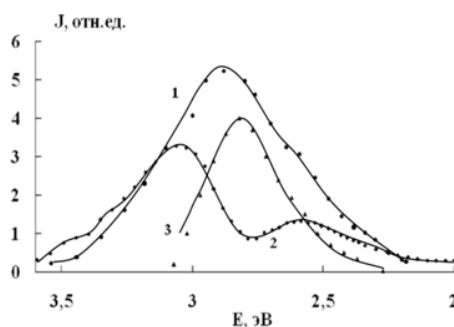


Рисунок 9 - Спектры ИКЛ кристалла LiF-WO₃ при 300 К. 1 – не облученный; 2 - облученный дозой $1,9 \cdot 10^5$ Гр; 3 – разностный спектр

Разностный спектр состоит из полосы с максимумом при 2,78 эВ, которая по характеристикам близка к характеристикам полосы поглощения F₂-центрами окраски. Этот факт однозначно говорит о том, что спектр 2 облученного кристалла искажен вследствие поглощения излучения накопленными при облучении центрами окраски [24].

2. Методики

2.1. Методика измерения спектров фотолюминесценции и спектров возбуждения фотолюминесценции при 300 К.

Для проведения измерений при комнатной температуре использовался спектрофлуориметр Agilent Cary Eclipse. Прибор оснащен сверхбыстрыми сканирующими монохроматорами, в качестве осветителя выступает импульсная ксеноновая лампа. Прибор обладает такими преимуществами как возможность работы в нескольких режимах (в том числе хеми- и биолюминесценции), обладает высокой чувствительностью и высокой скоростью измерений, лампа включается только в момент сбора данных, что позволяет работать с фотолабильными пробами. К недостаткам можно отнести тот факт, что полученный в результате измерений спектр зачастую является не очень гладким, что может быть обусловлено использованием импульсной ксеноновой лампы, так как в эксперименте со стационарной лампой данный недостаток отсутствует. Другие технические характеристики проиллюстрированы в таблице 3.



Рисунок 10 - Внешний вид спектрофлуориметра Agilent Cary Eclipse

Таблица 3 – Технические характеристики спектрофлуориметра [25]

Источник света	Импульсная ксеноновая лампа
Ширина импульса	2 мкс
Эквивалентная мощность	75 кВт
Оптика	Шварцшильда
Монохроматоры	Черни-Турнера, 0.125 м
Дифракционные решетки	30 x 35 мм, 1200 линий/мм
Детекторы	два ФЭУ R298
Оптический диапазон	Возбуждение: 200-900 нм Эмиссия: 200-900 нм
Спектральная ширина щели	1.5, 2.5, 5, 10 и 20 нм
Максимальная скорость сканирования	24000 нм/мин
Скорость сбора кинетических данных	4800 точек/мин
Время усреднения сигнала	Флюоресценция: 0.0125 - 999 с, Фосфоресценция: 1 мкс -10с , Био/Хемилюминесценция: 40 мкс -10с

В устройстве спектрофлуориметра предусмотрены фильтры, работающие в спектральном диапазоне от 250 нм, но исследования проводились в диапазоне от 200 нм. Таким образом, на полученные спектры влиял спектр самой ксеноновой лампы, требовалось исключить его влияние. Стоит отметить, что внести неточность в результаты измерений мог и рассеянный свет. Исключение попадания рассеянного излучения производилось подбором образцов и геометрии измерения люминесценции.

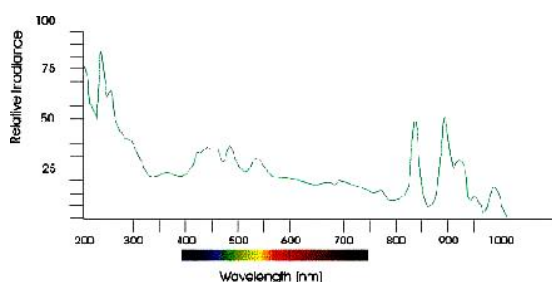


Рисунок 11 - Спектр излучения ксеноновой лампы

Для получения правильного распределения интенсивности в спектрах флуоресценции и в спектрах возбуждения люминесценции необходимо корректировать результаты измерений с учетом спектральной характеристики чувствительности измерительного тракта спектрометра и учитывать искажение спектра излучения лампы.

В процессе работы со спектрофлуориметром было обнаружено, что в используемом приборе не предусмотрено автоматическое исправление спектров возбуждения. Поэтому для получения истинных спектров было необходимо провести градуировку прибора вручную.

Для проведения градуировки использовался раствор флуоронового красителя родамина gб в этиловом спирте. Применение данного красителя обусловлено тем, что его относительный квантовый выход люминесценции постоянен в спектральном диапазоне 200 – 600 нм.

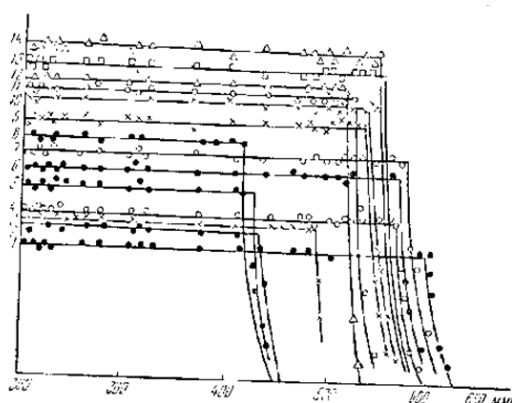


Рисунок 12 - Относительный квантовый выход люминесценции для различных веществ в функции длины волны возбуждающего света. 1 – родамин.



Рисунок 13 - Раствор родамина в этиловом спирте

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. Вначале были измерены спектры возбуждения люминесценции и оптическая плотность растворов при различной концентрации родамина в них. Изначально выбранная концентрация составила 25 мг на 100 мл, при дальнейших измерениях соотношение было изменено. Необходимость внести изменения обусловлена тем, что оптическая плотность D , ориентируясь на рекомендации, должна быть меньше 0,1. Значение 0,1 относится к толщине слоя 1 мм, таким образом, при толщине слоя 1 см (ширина используемой кюветы), значение оптической плотности должно быть меньше 1.

Если оптическая плотность превышает рекомендуемые значения, может произойти концентрационное тушение, самопоглощение рекомбинационного излучения, что приведет к ошибке. Таким образом, концентрация родамина в растворе изменялась путем большего его разведения в этиловом спирте до тех пор, пока не было получено необходимое значение оптической плотности образца. Точное значение итоговой концентрации родамина в растворе неизвестно. В дальнейшем описании оптимальная концентрация будет обозначена как C1. Так же, для сравнения, были проведены измерения со значением концентрации ниже оптимальной. Сниженная концентрация родамина будет обозначена в тексте работы как C2.

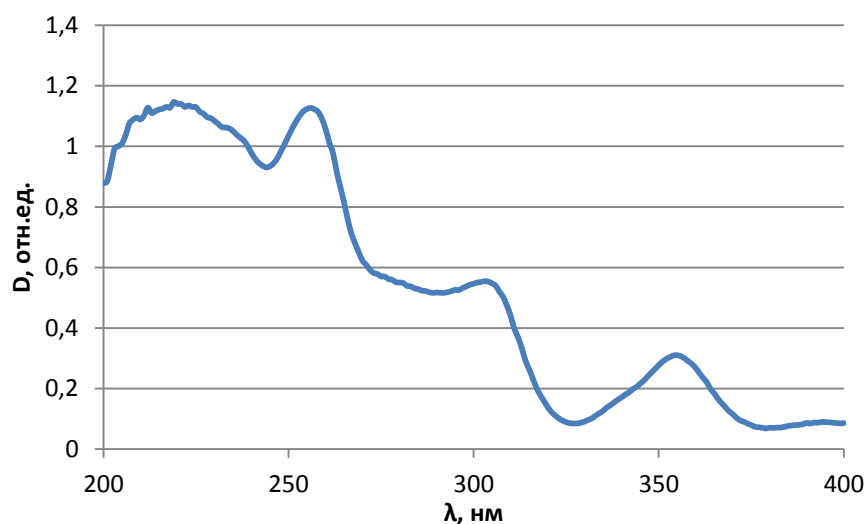


Рисунок 14 - Оптическая плотность раствора при концентрации родамина C1

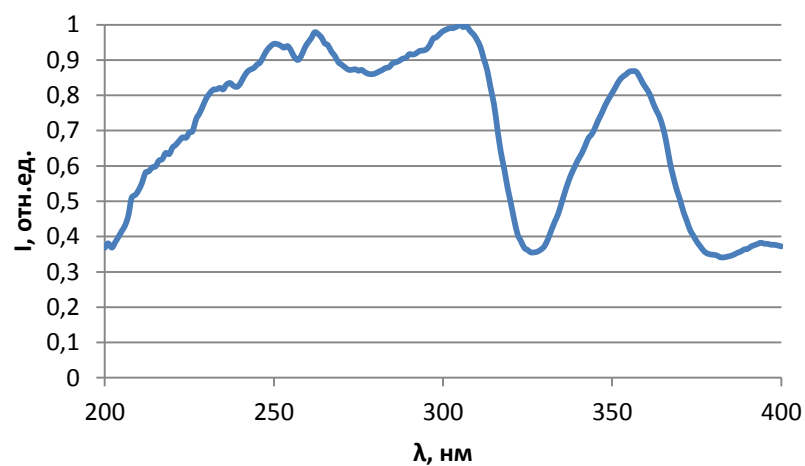


Рисунок 15 - Спектр возбуждения люминесценции раствора с концентрацией С1. Длина волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=580$ нм

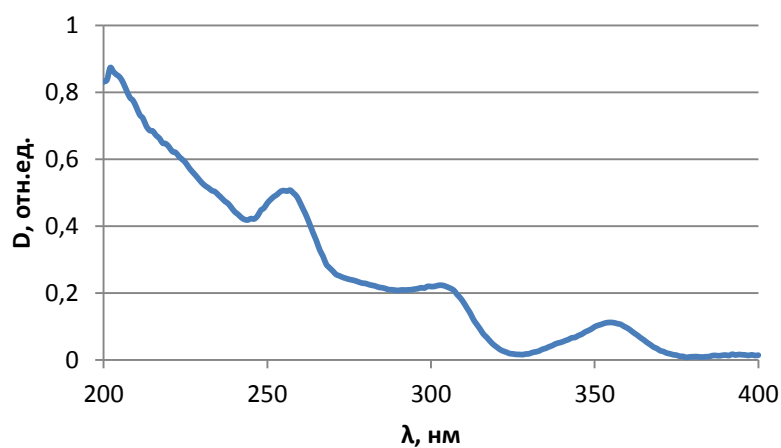


Рисунок 16 - Оптическая плотность образца при концентрации С2

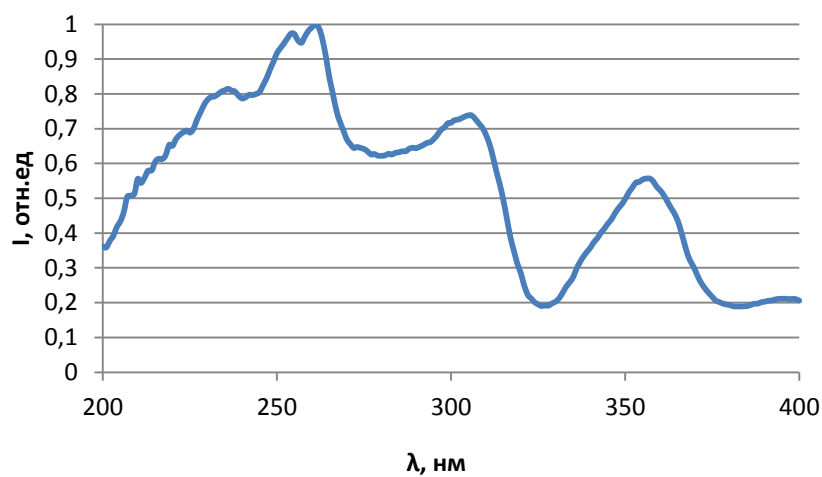


Рисунок 17 - Спектр возбуждения люминесценции раствора с концентрацией родамина С2. Длина волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=580$ нм

2. Интенсивность люминесценции выражается формулой 4:

$$I_{\text{л}} = k \times N_{\text{л}} \quad (4)$$

где k – константа, а $N_{\text{л}}$ – число испущенных квантов.

Квантовый выход выражается формулой 5:

$$\varphi = \frac{I_{\text{л}}}{I_{\text{погл}}} = \frac{I_{\text{л}}}{I_0 - I} = \frac{I_{\text{л}}}{k I_0 D} \quad (5)$$

где I_0 – интенсивность падающего излучения, D – оптическая плотность образца.

Из формулы (4) выведем выражение для интенсивности люминесценции:

$$I_{\text{л}} = k \varphi I_0 D = I_0 D A \quad (6)$$

где A – константа. Если $D < 0,1$, то можно вывести выражение для интенсивности падающего излучения:

$$I_0 = \frac{I_{\text{л}}}{DA} \approx \frac{I_{\text{л}}}{D} \quad (7)$$

Формула 7 и лежит в основе градуировки.

Далее представлены экспериментально полученные кривые:

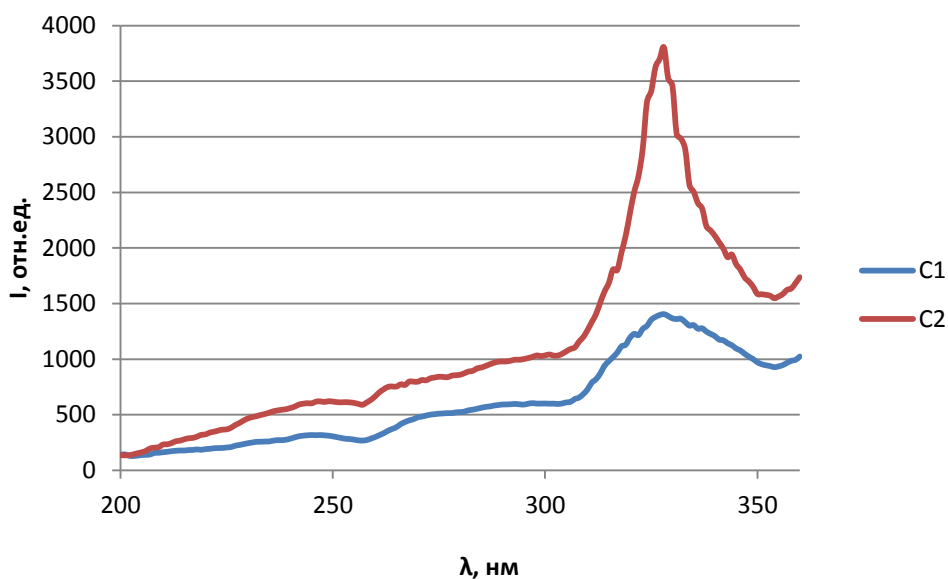


Рисунок 18 - Спектр интенсивности падающего потока при разной концентрации роданина. Длина волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=580$ нм

Для сравнения были проведены аналогичные измерения при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=630$ нм. Полученные результаты представлены на рисунке 19.

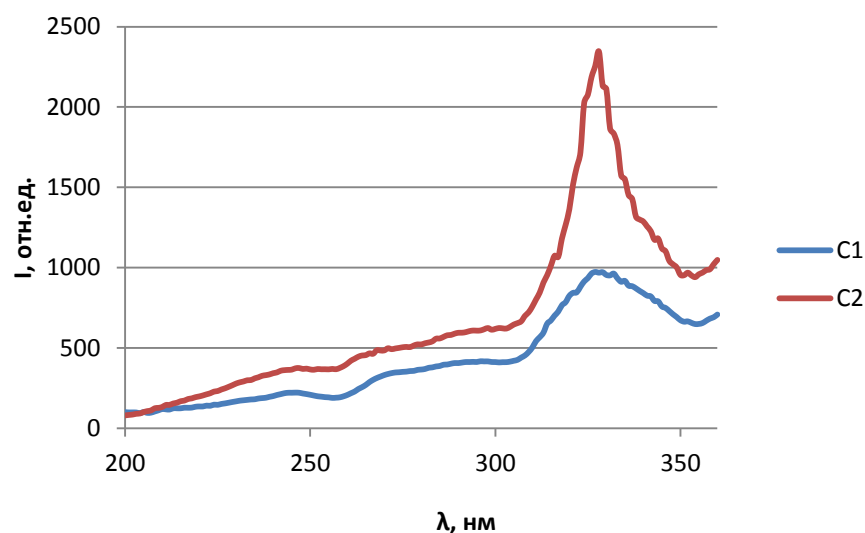


Рисунок 19 - Спектр интенсивности падающего потока при разной концентрации родамина. Длина волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=630$ нм

Аналогичная форма спектра свидетельствует о правильности проведенных измерений. За основу в работе выбран спектр с концентрацией C1, при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=580$ нм, так как при более низкой концентрации родамина C2, в области 320 нм и далее оптическая плотность уменьшается до нуля (рис.16), что вносит ошибку в измерения.

Таким образом, найдена спектральная характеристика падающего на образец излучения (рисунок 20).

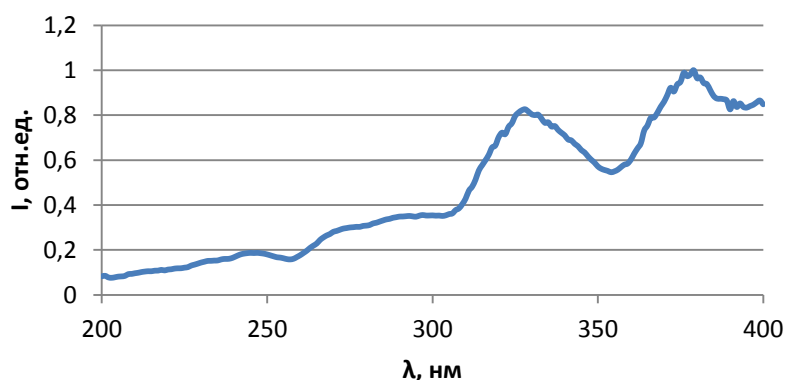


Рисунок 20 - Спектральная характеристика падающего на образец излучения импульсной ксеноновой лампы спектрофлуориметра Agilent Cary Eclipse

Стоит отметить, что полученная характеристика относится не только к лампе, а к системе монохроматор – импульсная ксеноновая лампа. При использовании другого монохроматора спектр был бы другим.

Спектральная характеристика, полученная на рисунке 20, является искомой кривой для градуировки. При проведении измерений, чтобы восстановить истинный спектр возбуждения образца, необходимо перемножить спектральную характеристику падающего на образец излучения и экспериментально полученный спектр.

2.2. Методика измерения спектров фотолюминесценции и спектров возбуждения фотолюминесценции при температурах 20...300 К.

На спектрофотометре Agilent Cary Eclipse нельзя получить данные при низких температурах от 20 до 300 К, необходимые для получения большей информации о механизме люминесценции.

Измерение люминесценции производилось в криостате (Рис.21). Поэтому для изучения фотолюминесценции при низких температурах использовалась стационарная ксеноновая лампа. Необходимая длина волны из спектра ксеноновой лампы выделялась с помощью монохроматора МДР-204. Измерение люминесценции производилось с помощью другого монохроматора. Функциональная схема установки (без криостата и ФЭУ) поясняется на рисунке 22.

Монохроматоры работают в спектральном диапазоне 190-5000 нм, для обработки результатов предусмотрено программное обеспечение.

Для поддержания низкой температуры использовался криостат, который представляет собой вакуумную камеру из нержавеющей стали с кварцевыми окнами для проведения оптических измерений. К нижнему фланцу камеры присоединен ускоритель таким образом, что вакуумный диод ускорителя и камеры составляют единый объем. Охлаждение образцов до температур диапазона 20 – 300 К осуществляется промышленной микрокриогенной системой MCSMP-150H-5/20. Работа МКС осуществляется следующим образом: криоагент (гелий), сжатый в компрессорной установке, через адсорбер по

трубопроводу поступает в микроохладитель, где он расширяется с понижением температуры, в результате чего происходит охлаждение фланцев 1 и 2 ступени микроохладителя. Из микроохладителя обратный поток криоагента возвращается по трубопроводу через заправочное устройство в компрессорную установку. Далее циклы повторяются и при выходе на режим 1 ступень охлаждается до 40-80 К, а 2 ступень до 15-20 К.

Тракт возбуждения состоит из источника света, линзы и монохроматора. В качестве источника используется стационарная ксеноновая лампа. Используемые монохроматоры - МДР-204.

Измерительный тракт состоит из линзы и ФЭУ.



Рисунок 21 - Внешний вид установки

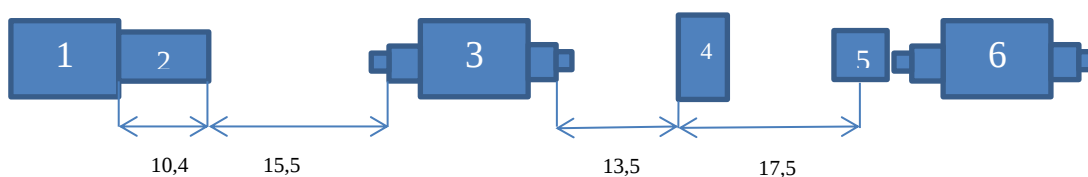


Рисунок 22 - Схема установки. 1 – источник света, 2,4 – линзы, 3 – монохроматор, 5 – образец, 6 – приемник излучения.

Установка, с помощью которой проводилась градуировка, показана на рисунке 22 с учетом всех расстояний между компонентами. Расстояния необходимо учитывать в дальнейших измерениях, так как линзы не исправлены на хроматическую aberrацию.

При градуировке в качестве образца также использовался раствор родамина с концентрацией C1, (см. раздел 2.1). Заметим, что градуировка производилась в первом случае - как показано на схеме (рис.22), во втором случае по той же схеме, но с использованием световода.

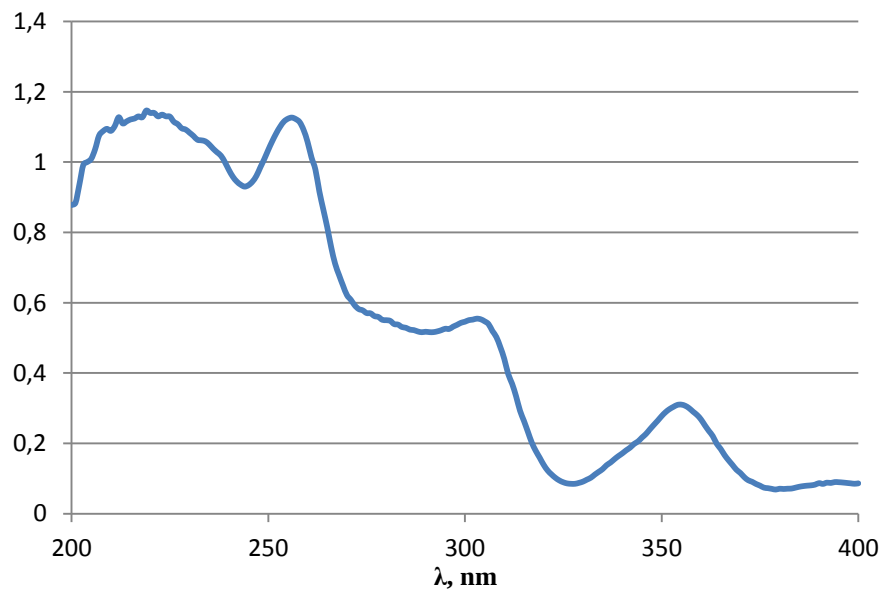


Рисунок 23 - Оптическая плотность раствора при концентрации C1

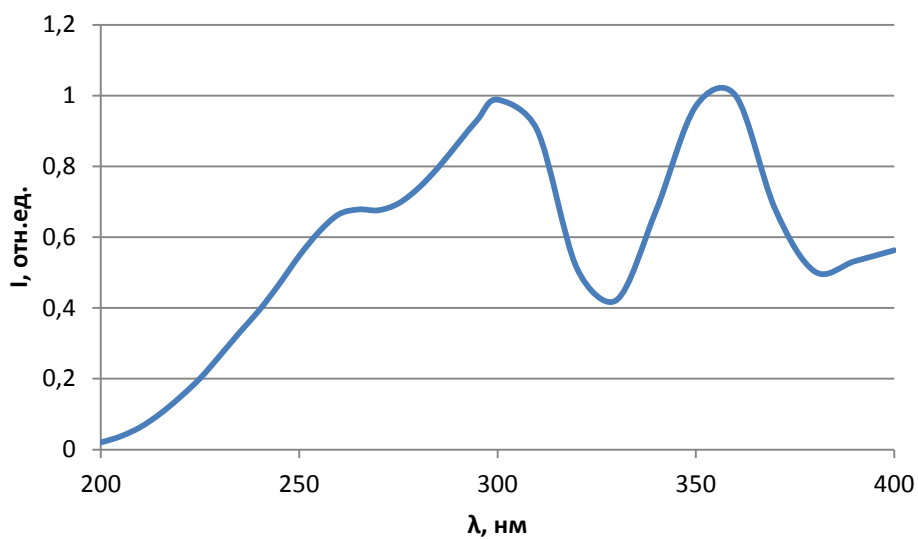


Рисунок 24 - Спектр излучения раствора, полученный без использования световода. Длина волны люминесценции $\lambda_{\text{л}} = 610 \text{ нм}$

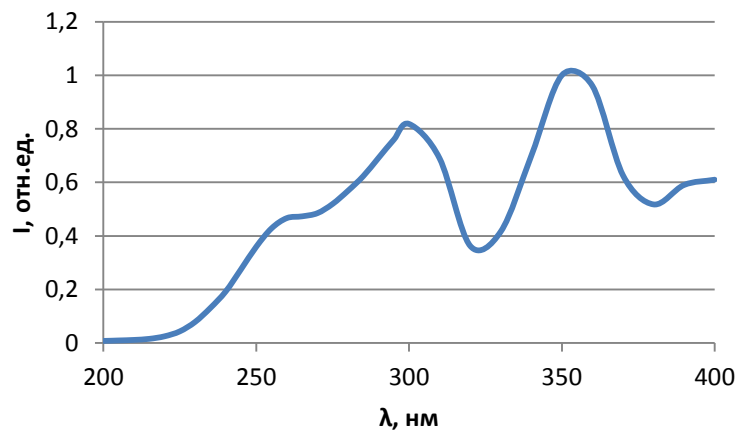


Рисунок 25 - Спектр излучения раствора, полученный с использованием световода. Длина волны люминесценции $\lambda_{\text{л}} = 610$ nm

Исследуя полученные спектры излучения на рисунках 24 и 25, заметим, что световод поглощает часть излучения в ультрафиолетовом диапазоне. Для получения искомой спектральной характеристики используем спектр, представленный на рисунке 24.

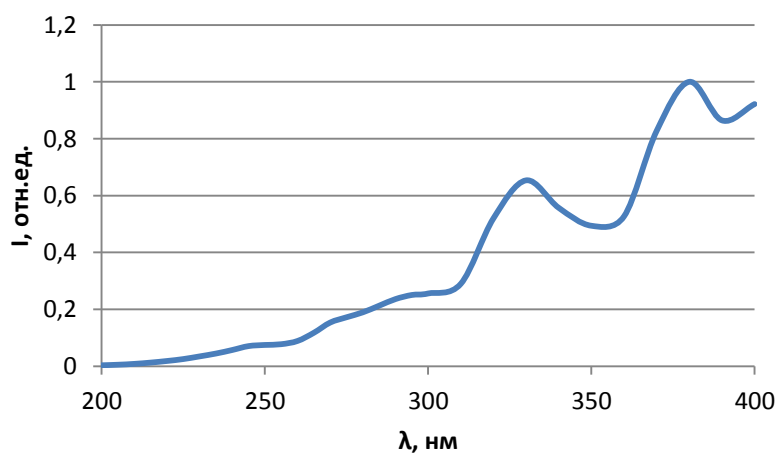


Рисунок 26 - Спектральная характеристика падающего на образец излучения стационарной ксеноновой лампы

Спектральная характеристика, полученная на рисунке 26, является искомой кривой для градуировки. Далее, при проведении измерений, чтобы восстановить истинный спектр возбуждения образца, необходимо перемножить спектральную характеристику падающего на образец излучения и экспериментально полученный спектр.

3. Экспериментальные результаты

На рисунке 27 показаны спектры поглощения исследованных образцов, измеренные на спектрофотометре СФ-256УВИ. Эти результаты дают информацию об области спектра, в которой материал поглощает излучение, а также о концентрации примесей в кристалле. Результаты измерения кристаллов с примесью вольфрама приведены для образцов разной толщины. Для исследований фотолюминесценции был выбран только тонкий образец, так как из-за сильного поглощения излучения во втором образце происходит искажение спектров возбуждения люминесценции.

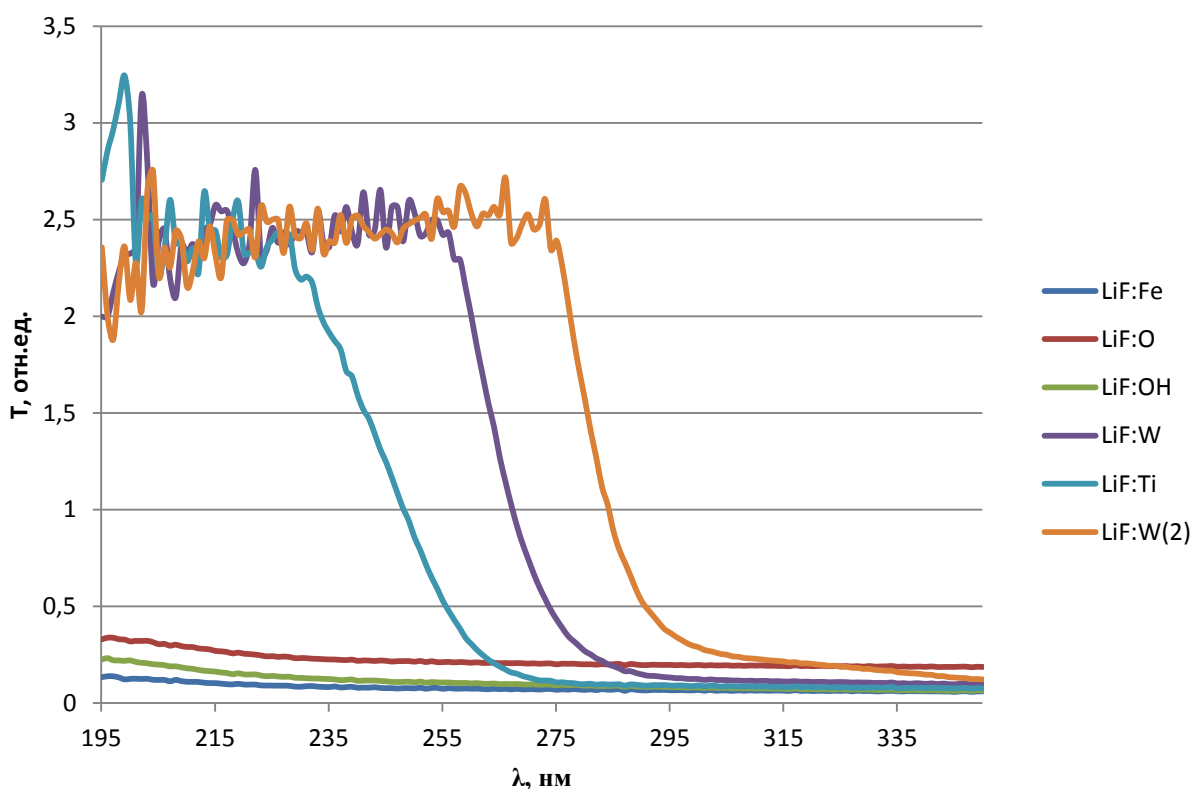


Рисунок 27 – Спектры поглощения образцов

3.1. Люминесценция при температуре $T=300\text{ K}$

3.1.1. Спектры люминесценции $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$

На рисунках 28 – 31 показаны спектры ФЛ кристаллов $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$ в спектральном диапазоне 350-800 нм при возбуждении в области 210 – 250 нм. Спектр люминесценции при всех энергиях возбуждающих квантов излучения не меняется, а максимум приходится на $\lambda_{\text{max}}=390\text{ нм}$ (3,1 эВ). Из рисунка 31 видно, что полоса люминесценции не является элементарной. Разложение на гауссовы составляющие позволило выделить две полосы с полуширинами 0,5 эВ и максимумами при 3,1 эВ и 2,64 эВ.

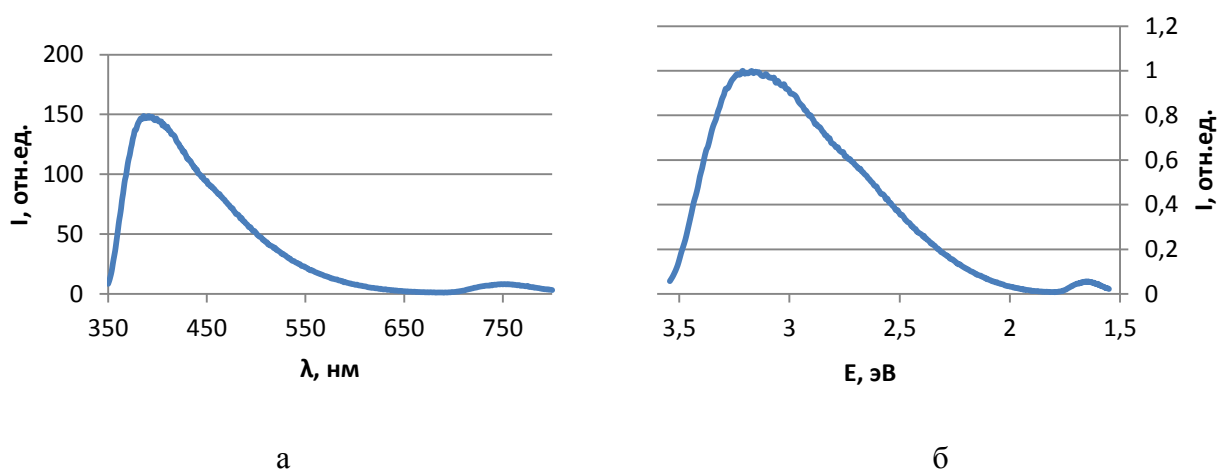


Рисунок 28 - Люминесценция кристалла $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$ при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=250\text{ нм}$. а – в нм, б – в эВ. $\lambda_{\text{max}}=386\text{ нм}$ (3,2 эВ)

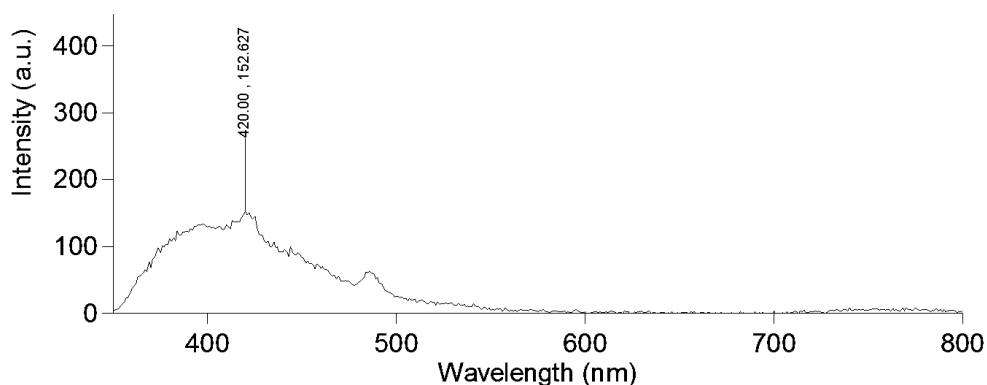


Рисунок 29 - Люминесценция кристалла $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$ при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=210\text{ нм}$ без фильтра возбуждения

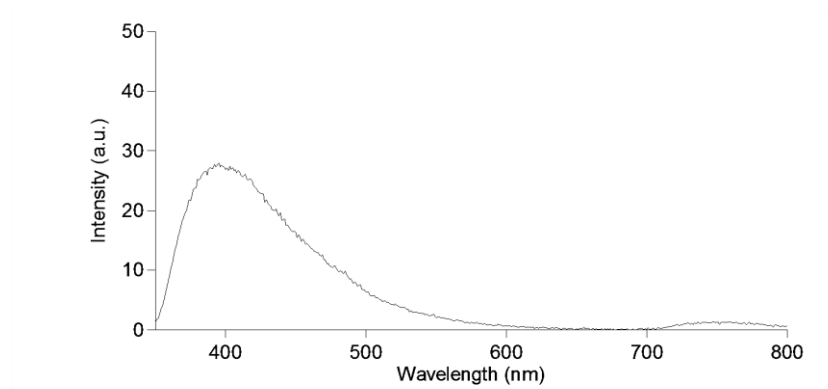


Рисунок 30 - Люминесценция кристалла LiF: Li₂O при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=240$ нм

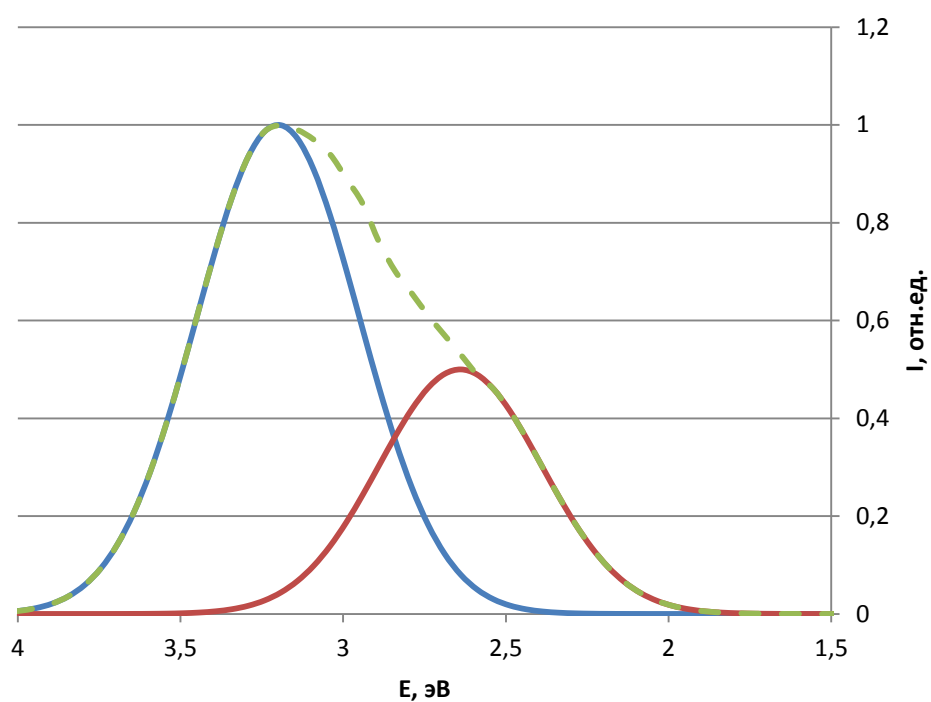


Рисунок 31 – Разложение спектра люминесценции кристалла LiF: Li₂O на гауссовы составляющие

3.1.2. Спектры возбуждения люминесценции LiF:Li₂O

Все спектры возбуждения были измерены в спектральном диапазоне 190 – 300 нм. На рис 32, 33 показаны результаты измерений. Спектры возбуждения одинаковы при различных энергиях возбуждающего излучения в диапазоне 190

– 250 К. Максимум спектра приходится на 206 нм, что соответствует полосе поглощения ($O^{2-} - V_a$) - центра (кислород – анионная вакансия).

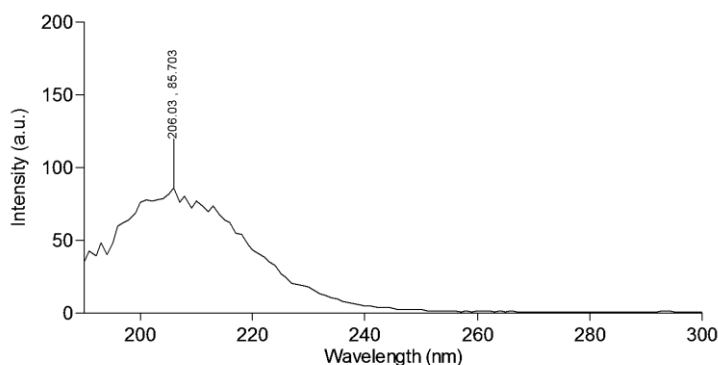


Рисунок 32 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF: Li₂O при длине волны люминесценции $\lambda_{л}=400$ нм

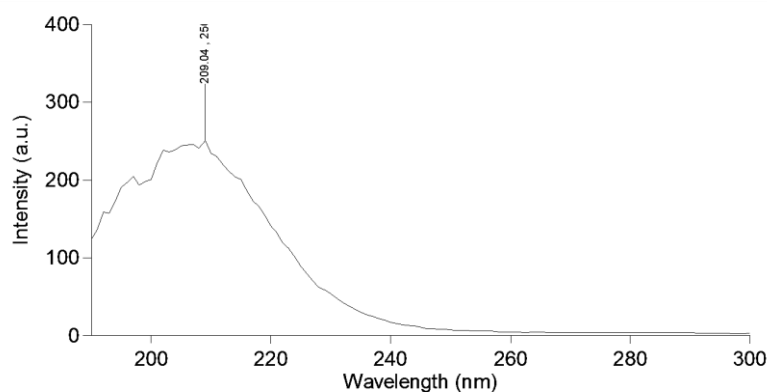


Рисунок 33 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF: Li₂O при длине волны люминесценции $\lambda_{л}=390$ нм

Вывод по пунктам 3.1.1, 3.1.2: Показано, что спектр люминесценции кислородного центра в кристалле LiF:Li₂O состоит из двух полос с полуширинами 0,5 эВ и максимумами полос при 3,1 эВ и 2,64 эВ. Максимум спектра возбуждения люминесценции соответствует полосе поглощения ($O^{2-} - V_a$) – центра.

3.1.3. Спектры люминесценции LiF:OH

Спектры были измерены в диапазоне длин волн 350-800 нм. Максимум люминесценции наблюдается при $\lambda_{max}=390$ нм. Показано, что спектр

практически не изменяется при возбуждении излучением в пределах 200 – 250 нм. Типичный спектр LiF:OH при возбуждении в области 250 нм показан на рисунке 34. Как оказалось, спектр идентичен спектру излучения кислородного центра в кристалле LiF:Li₂O и также разлагается на два компонента с максимумами при значениях энергии 3,1 эВ; 2,64 эВ и одинаковыми полуширинами, равными 0,5 эВ (рисунок 31).

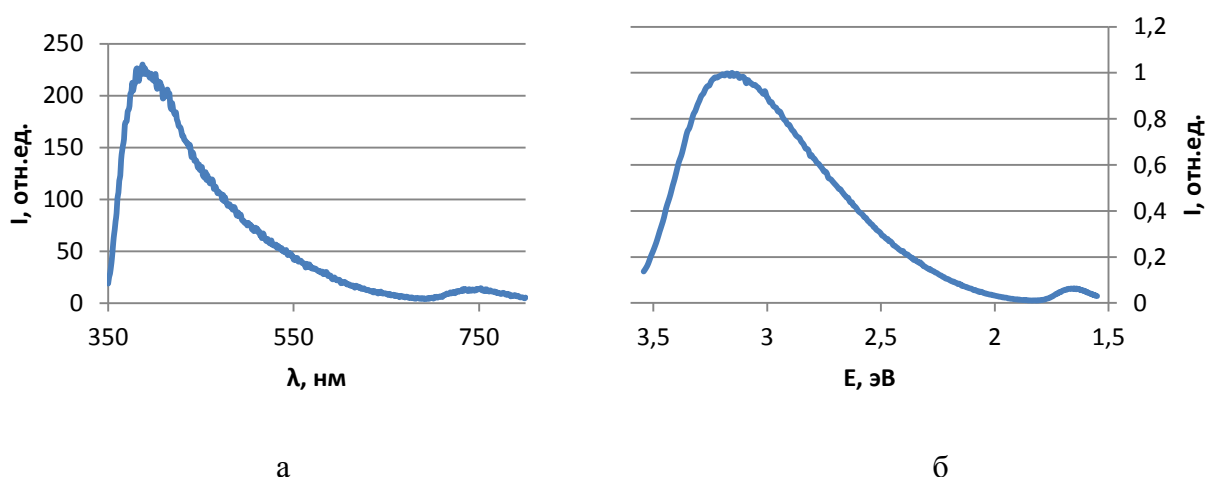


Рисунок 34 - Люминесценция кристалла LiF:OH при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=250$ нм. а - в нм, б – в эВ. $\lambda_{\text{max}}=390$ нм (3,1 эВ)

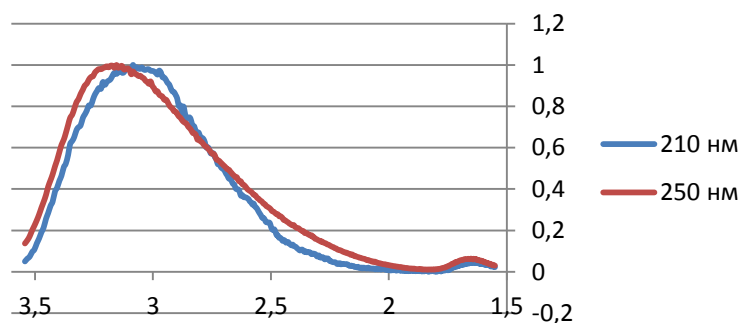


Рисунок 35 - Люминесценция кристалла LiF:OH при разном возбуждении

3.1.4. Спектры возбуждения люминесценции LiF:OH

Спектры возбуждения в кристаллах LiF:OH – аналогичны спектрам возбуждения кристалла LiF: Li₂O.

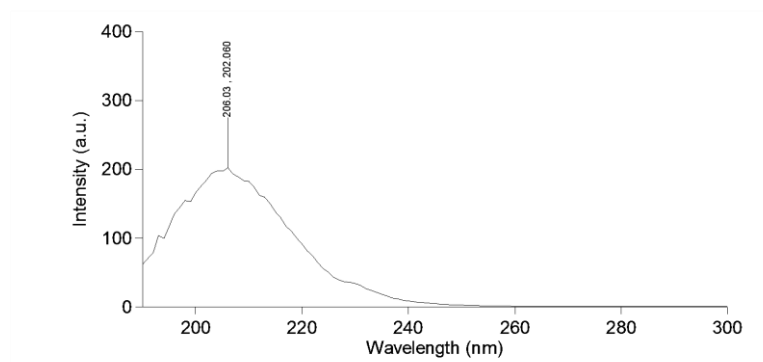


Рисунок 36 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:OH при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=400$ нм

Выводы по пунктам 3.1.3, 3.1.4: Исследования показали, что в кристаллах LiF:OH в области длин волн 200 – 300 нм возбуждается люминесценция только кислородных центров. Эти центры, по-видимому, создаются при выращивании кристаллов. Фотолюминесценции, вызванной примесью, в этом диапазоне энергий возбуждающего излучения не обнаружено.

3.1.5. Спектры люминесценции LiF:Fe₂O₃

Спектры фотолюминесценции кристаллов LiF:Fe₂O₃, измеренные в диапазоне длин волн 350-800 нм при 300 К показаны на рисунках 37, 38. Видно, что полоса люминесценции не является элементарной и может быть разложена на два компонента, форма полосы почти полностью повторяет форму полосы люминесценции кристалла LiF:Li₂O. Этот факт свидетельствует о большом содержании кислородных центров в кристалле и практически полном отсутствии активаторного свечения в спектре фотолюминесценции. О том же говорит и идентичный вид спектров поглощения этих кристаллов (рисунок 27).

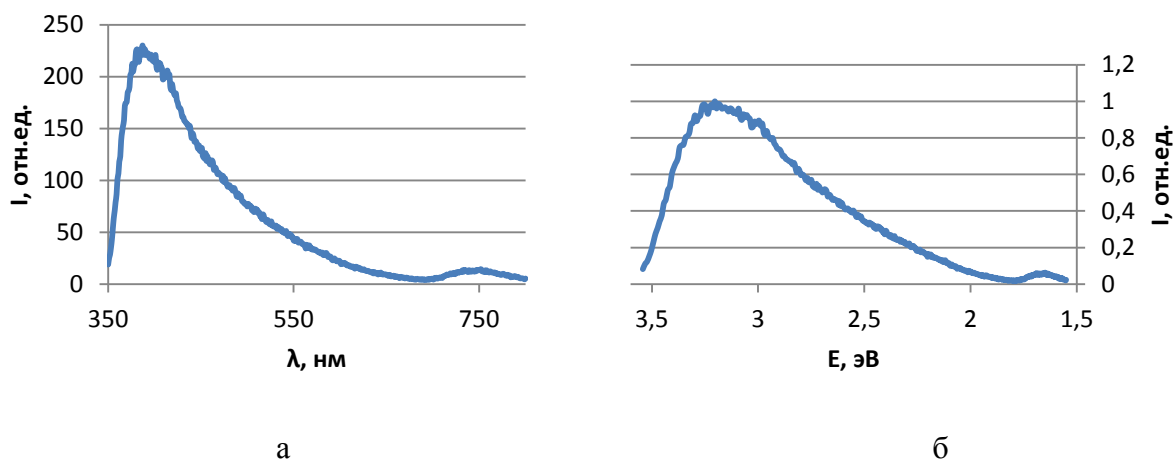


Рисунок 37 - Люминесценция кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=240$ нм. а – в нм, б – в эВ. $\lambda_{\text{max}}=387$ нм (3,2 эВ)

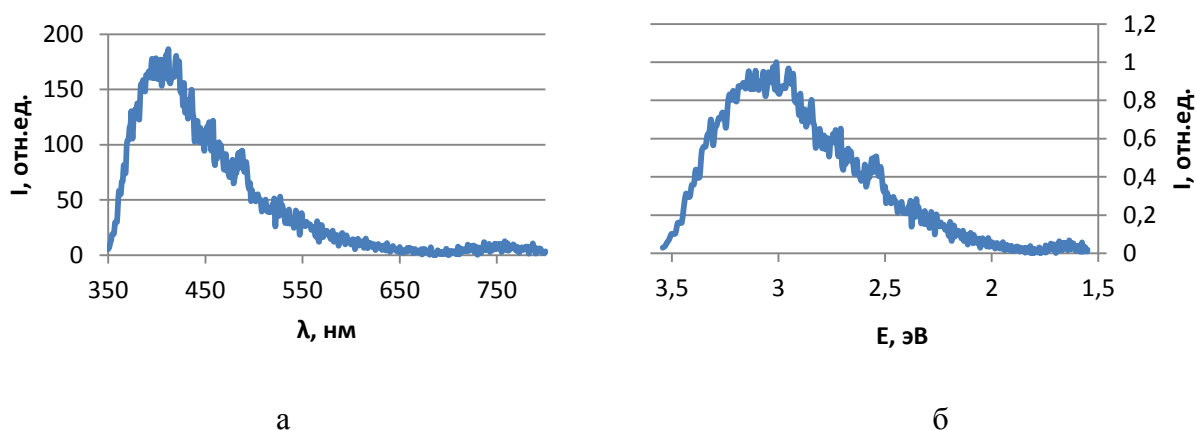


Рисунок 38 - Люминесценция кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=210$ нм. а – в нм, б – в эВ. $\lambda_{\text{max}}=412$ нм (3 эВ)

Сравнение спектров фотолюминесценции кристаллов $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ с разными длинами волны возбуждения, показано на рисунке 39. Эти результаты говорят о том, что вид спектра, оказывается, слабо, но зависит от длины волны возбуждающего излучения. Приведенные результаты позволили выделить активаторную полосу свечения с максимумом при значении энергии 2,2 эВ и полушириной около 0,5 эВ.

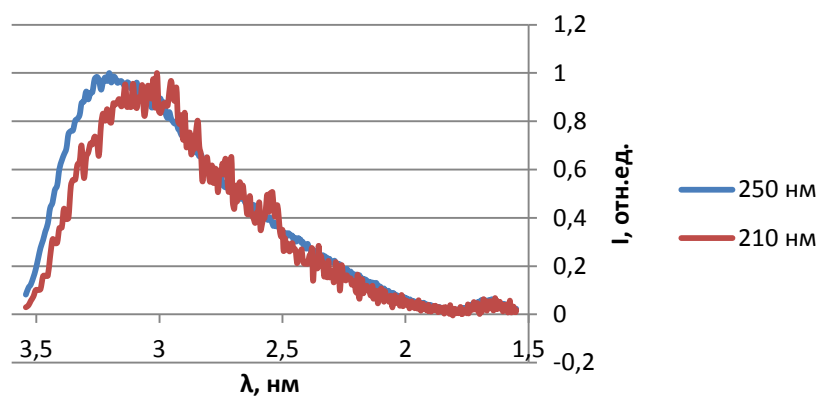


Рисунок 39 – Спектры люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ при различных длинах волн возбуждающего излучения

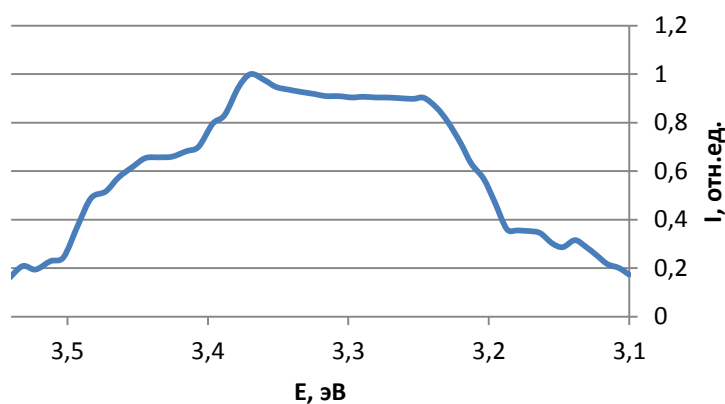


Рисунок 40 – Активаторная полоса люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$

3.1.6. Спектры возбуждения люминесценции $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$

Спектры возбуждения люминесценции подобны спектрам возбуждения кислородных центров в кристаллах $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$, $\text{LiF}:\text{OH}$.

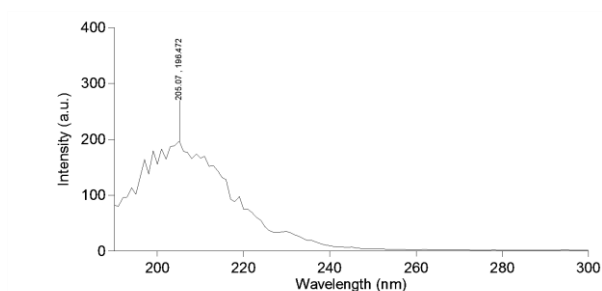


Рисунок 41 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=400$ нм

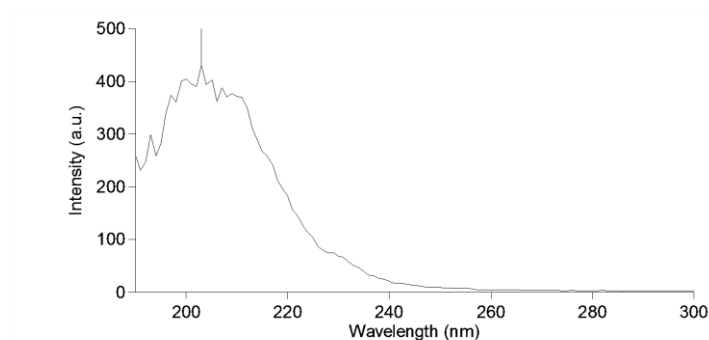


Рисунок 42 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=450$ нм

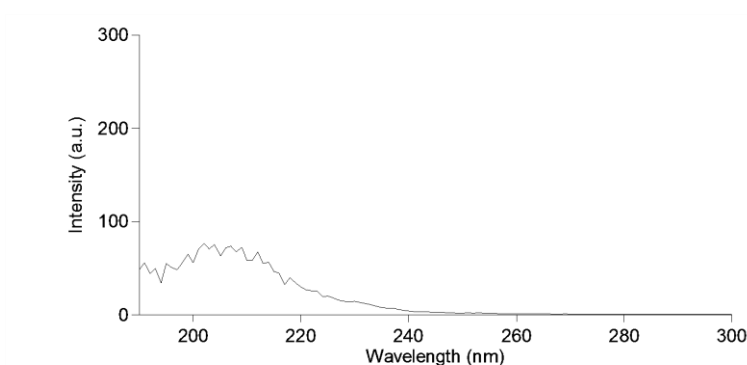


Рисунок 43 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=550$ нм

Выводы по пунктам 3.1.5, 3.1.6: В кристаллах $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$, также, как и в кристаллах $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$, $\text{LiF}:\text{OH}$, в области длин волн 200 – 300 нм возбуждается преимущественно люминесценция кислородных центров ($\text{O}^{2-}-V_{\text{a}}$), которые создаются при выращивании кристаллов. Слабое активаторное свечение обусловлено полосой с максимумом при энергии 3,37 эВ и полушириной около 0,5 эВ.

3.1.7. Спектры люминесценции $\text{LiF}:\text{WO}_3$

Спектры люминесценции кристаллов $\text{LiF}:\text{WO}_3$, измеренные в диапазоне длин волн 350-800 нм существенно отличаются от спектров люминесценции кристаллов $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$, $\text{LiF}:\text{OH}$, $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ (рисунки 44 - 46). Максимум люминесценции наблюдается при длине волны около 425 нм. Из результатов, представленных на рисунке 47 видно, что спектр не зависит от длины волны

возбуждающего излучения при комнатной температуре. Однако, как и в предыдущих случаях, полоса люминесценции является неэлементарной.

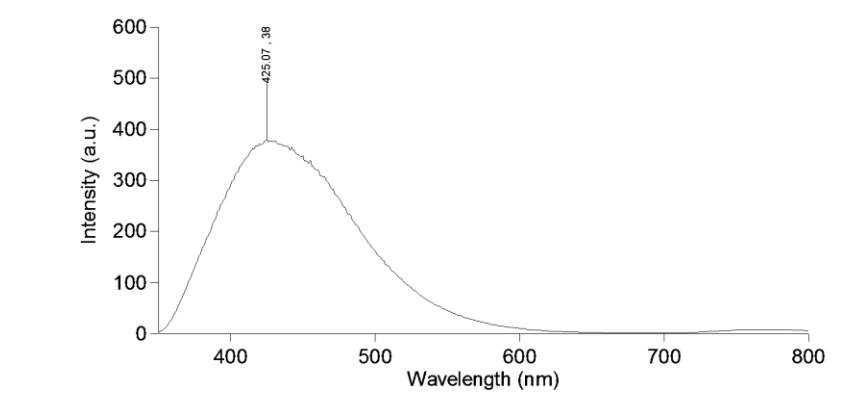


Рисунок 44 - Люминесценция кристалла LiF:WO₃ при длине волны возбуждения $\lambda_B=250$ нм

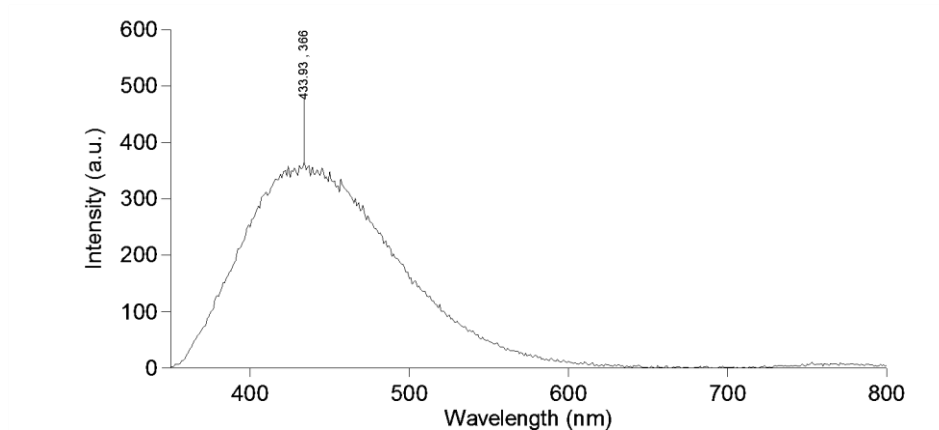


Рисунок 45 - Люминесценция кристалла LiF:WO₃ при длине волны возбуждения $\lambda_B=210$ нм

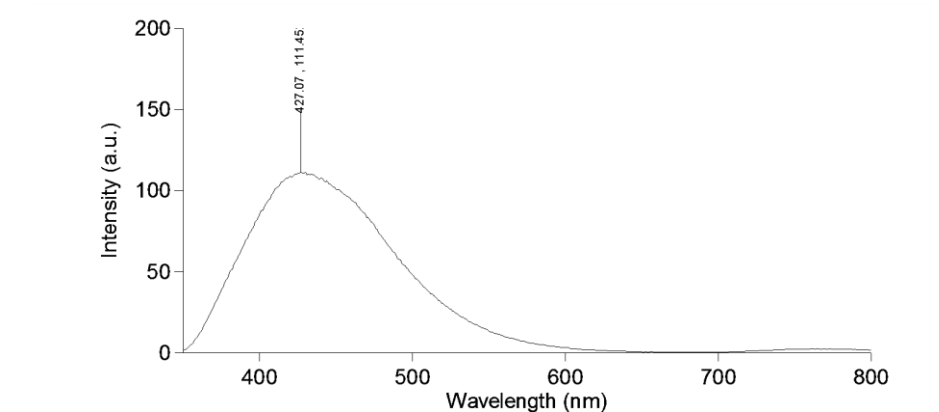


Рисунок 46 - Люминесценция кристалла LiF:WO₃ при длине волны возбуждения $\lambda_B=320$ нм

Из результатов сравнения спектров при минимальной и максимальной длинах волн возбуждения (210 нм и 320 нм) видно, что спектры излучения одинаковы (рисунок 47). Однако, люминесценция кристаллов $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$ слабо возбуждается в области 300 нм. Это свидетельствует о том, что полосы люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{WO}_3$ обусловлены не столько центрами кислород-вакансия.

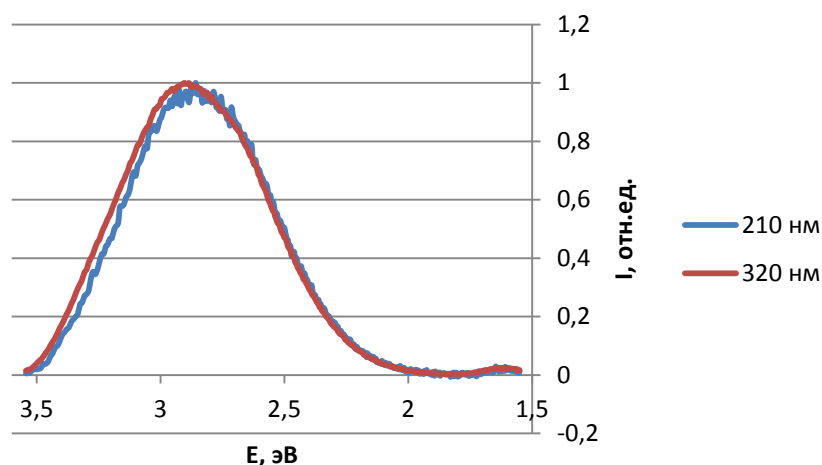


Рисунок 47 – Нормированные спектры люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{WO}_3$ при разных длинах волн возбуждения

Порядок и процедура разложения спектров на элементарные составляющие такова: Из спектров видно, что кислородная полоса либо отсутствует в спектре люминесценции кристалла $\text{LiF}:\text{WO}_3$, либо кислорода в образце намного меньше, чем примеси. Спектр неэлементарен и может быть представлен суммой двух полос с максимумами при 2,9 эВ и 2,6 эВ и полуширинами около 0,5 эВ. Результаты разложения спектров показаны на рисунке 48.

Таким образом, в спектре излучения кристалла $\text{LiF}:\text{WO}_3$ обнаружены две полосы люминесценции, связанные с примесью активатора (W).

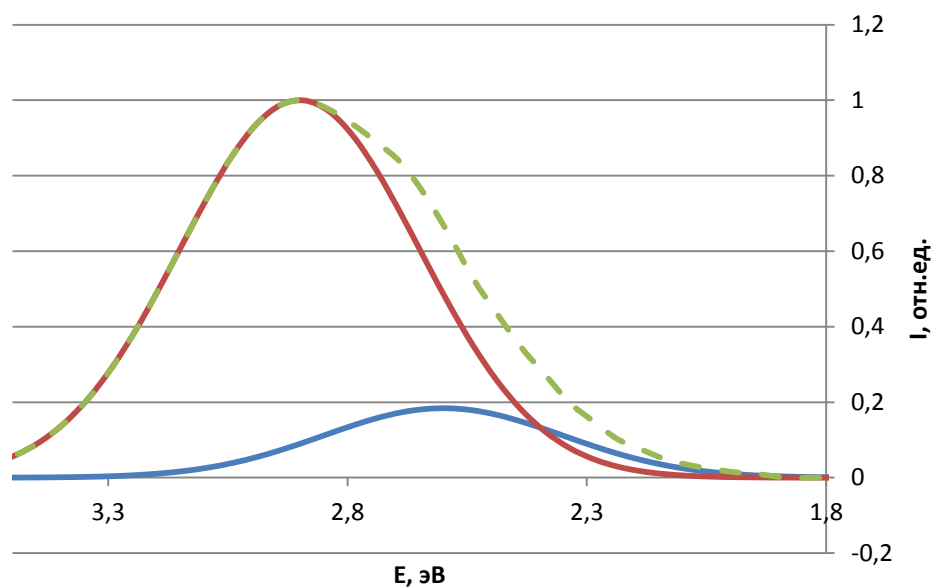


Рисунок 48 - Разложение спектра люминесценции кристалла LiF: WO₃ на гауссовы составляющие

3.1.8. Спектры возбуждения люминесценции LiF:WO₃

Спектры возбуждения фотолюминесценции кристаллов LiF:WO₃ при температуре 300 К и различных длинах волн возбуждающего излучения показаны на рисунках 49, 50. Видно, что спектры подобны и сильно отличаются от спектров возбуждения кристаллов LiF:Li₂O.

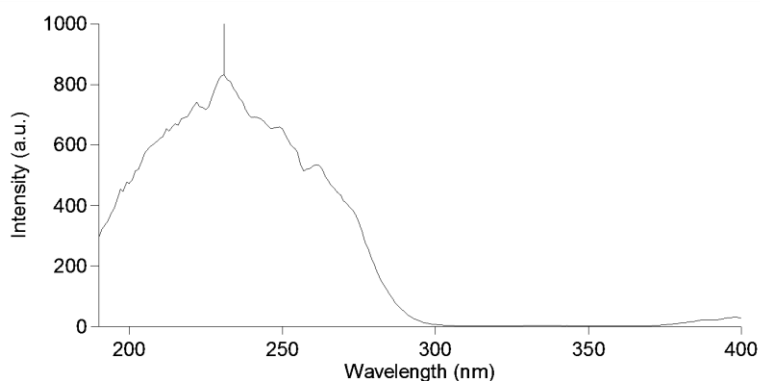


Рисунок 49 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:WO₃ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=430$ нм

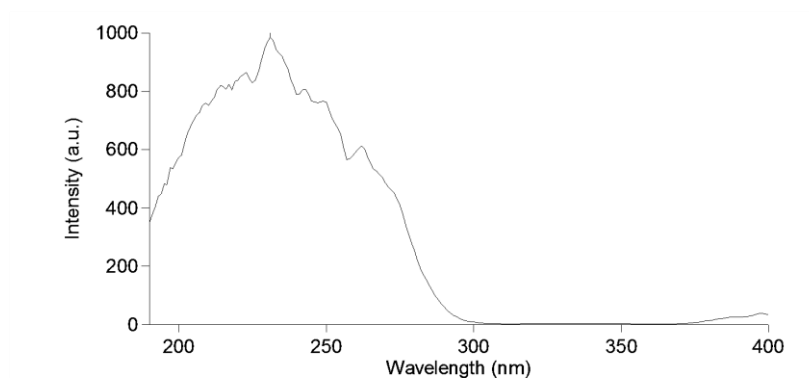


Рисунок 50 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:WO₃ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=500$ нм

Выводы по пунктам 3.1.7, 3.1.8: В спектрах излучения кристалла LiF:WO₃ обнаружено две полосы люминесценции, связанные с примесью активатора (W). Спектр возбуждения люминесценции LiF:WO₃ может быть разложен на 2 компонента (кислородный и примесный кислородный).

3.1.9. Спектры люминесценции LiF:TiO₂

Спектры люминесценции кристалла LiF:TiO₂ при различных длинах волн возбуждающего излучения представлены на рисунках 50 – 55. Вид спектров зависит от $\lambda_{\text{возб}}$. Возможно, что присутствуют как кислородные центры типа (O²⁻ - V_a), так и различные виды примесных кислородных центров.

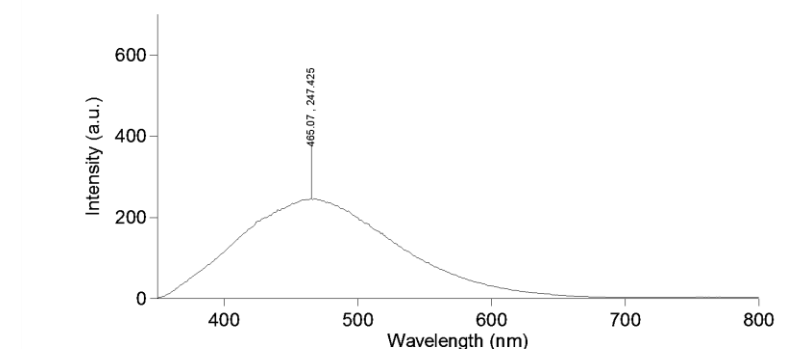


Рисунок 51 - Люминесценция кристалла LiF:TiO₂ при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=250$ нм

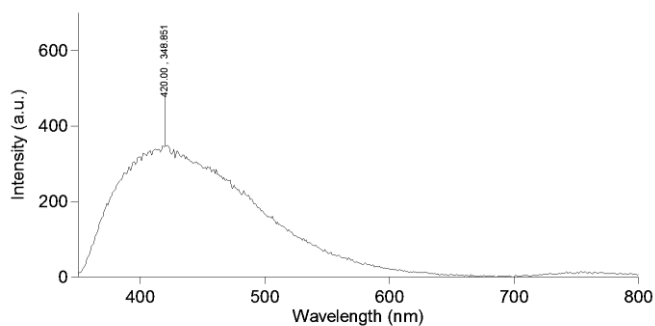


Рисунок 51 - Люминесценция кристалла LiF:TiO₂ при длине волны возбуждения $\lambda_B=210$ нм

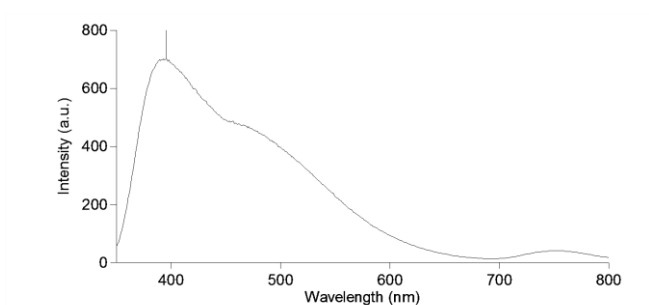


Рисунок 52 - Люминесценция кристалла LiF:TiO₂ при длине волны возбуждения $\lambda_B=285$ нм

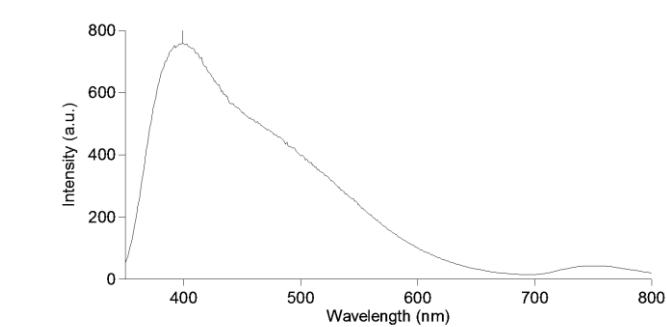


Рисунок 53 - Люминесценция кристалла LiF:TiO₂ при длине волны возбуждения $\lambda_B=300$ нм

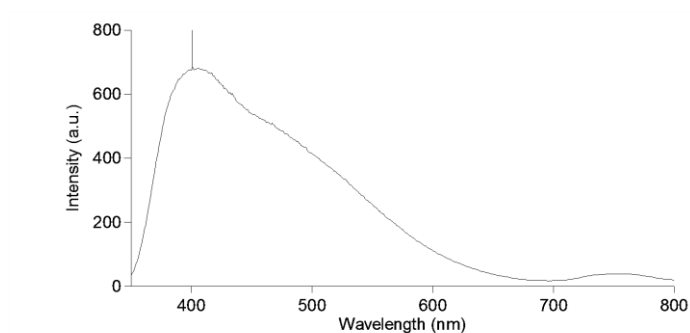


Рисунок 54 - Люминесценция кристалла LiF:TiO₂ при длине волны возбуждения $\lambda_B=320$ нм

Из анализа полученных данных можно сделать вывод о том, что в образце присутствуют, как минимум, три полосы излучения. Результат разложения показан на рисунке 55.

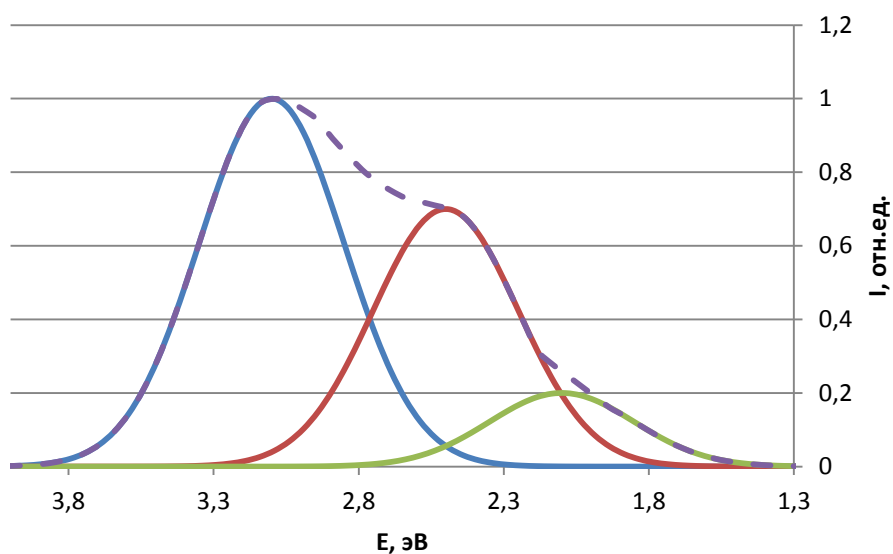


Рисунок 55 – Спектр люминесценции кристалла LiF:TiO₂ и его разложение на гауссовы составляющие

3.1.10. Спектры возбуждения люминесценции LiF:TiO₂

Из рисунков видно, что вид спектров возбуждения сильно зависит от длины волны, фиксируемого излучения.

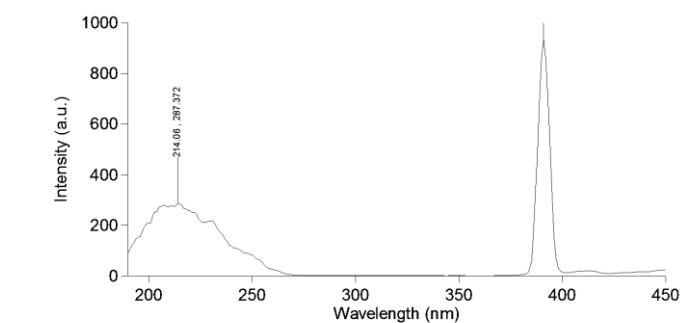


Рисунок 56 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=390$ нм

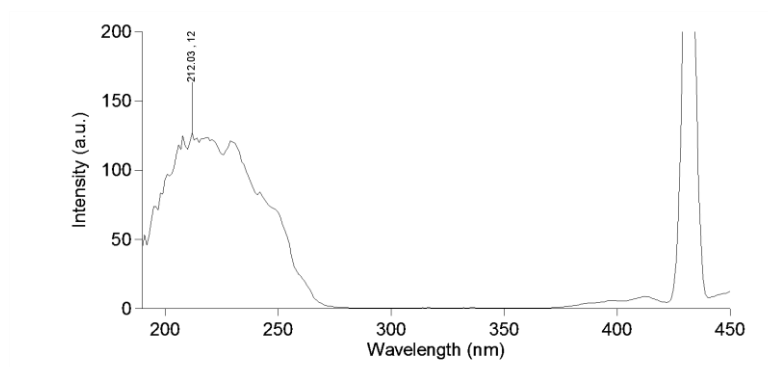


Рисунок 57 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=430$ нм

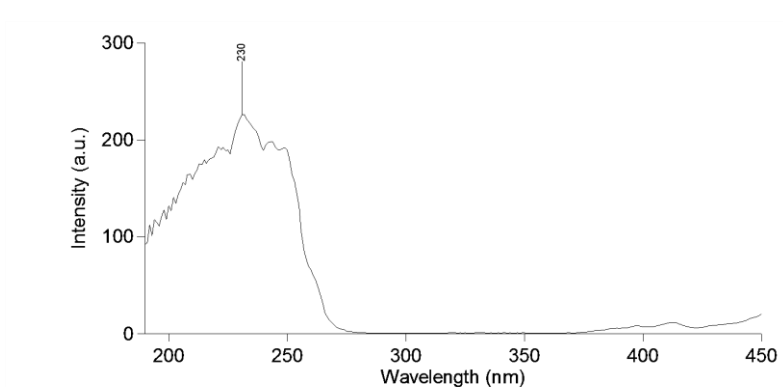


Рисунок 58 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=500$ нм

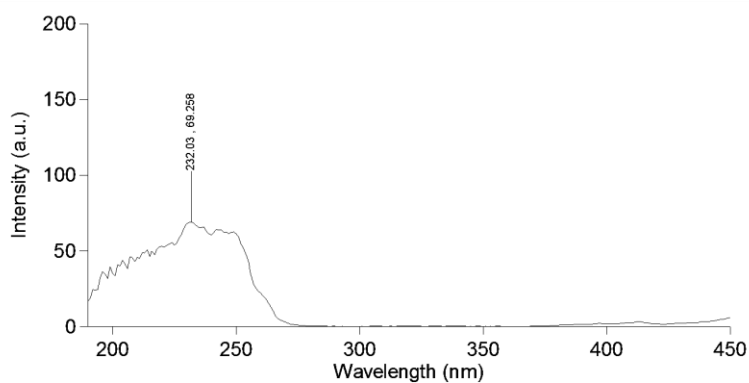


Рисунок 59 - Спектр возбуждения люминесценции кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=560$ нм

Выводы по пунктам 3.1.9, 3.1.10: Характер влияния примеси титана на спектры люминесценции и спектры возбуждения люминесценции такой же как в кристаллах с примесями вольфрама. Отличия в конкретных параметрах спектров или соотношениях интенсивностей полос излучения и возбуждения.

3.2. Особенности люминесценции кристаллов при 20 К

Подробно изучены кристаллы LiF:Ti и LiF:O. Измерения ФЛ при низких температурах проводились с помощью установки, описанной в разделе 2. Кристалл помещался в криостат и закреплялся в медном держателе. Спектры фотостимулированной люминесценции при низких температурах приведены без учета спектральной характеристики чувствительности измерительного тракта установки. Это оправдано сравнительным характером исследований. Спектры возбуждения корректировались на спектральную характеристику тракта возбуждения люминесценции.

3.2.1. Фотолюминесценция кристаллов LiF:Li₂O при 20 К

Спектры люминесценции обусловлены свечением кислородных центров ($O^{2-} - V_a$). Особенность состоит в том, что люминесценция кислородных центров возбуждается не только в области 200 – 250 нм, но и в других диапазонах длин волн. Это наглядно демонстрируют спектры возбуждения люминесценции. При понижении температуры в спектре возбуждения обнаруживаются максимумы, которых не было при комнатной температуре. Из рисунка 60 видно, что дополнительные максимумы есть при длинах волн 270 нм, 310 нм. Эти максимумы свидетельствуют о существовании в этой области спектра полос поглощения, связанных (или обусловленных) кислородными центрами.

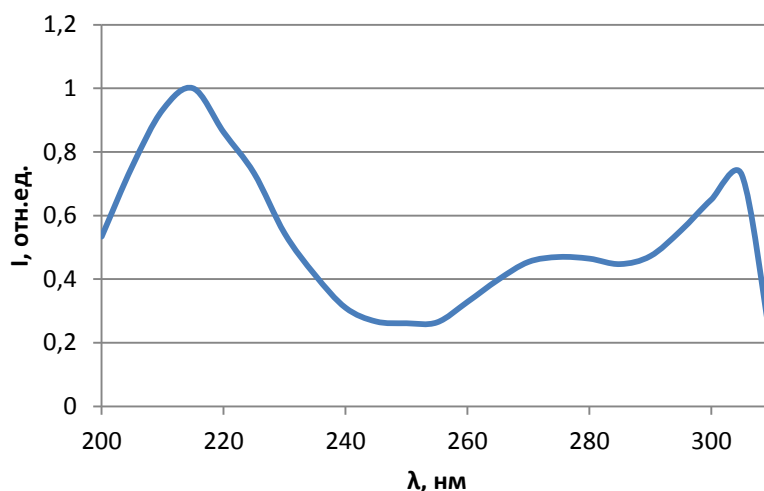


Рисунок 60 – спектр возбуждения ФЛ кристалла LiF:Li₂O при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=390$ нм. T=20 К

Вывод: Обнаружены новые полосы возбуждения люминесценции, которые, по-видимому не видны в спектрах возбуждения при 300 К из-за тушения люминесценции.

3.2.2. Фотолюминесценция кристаллов LiF:TiO₂ при 20 К

Спектры фотолюминесценции при 20 К подобны спектрам, измеренным при 300 К. Особенность состоит в том, что также как и в кристалле LiF:Li₂O, люминесценция эффективно возбуждается не только в области поглощения кислородных центров и примеси титана (200 – 270 нм), но и при длинах волн, как и в кристаллах LiF:O₂.

На рисунках 61 - 65 приведены спектры возбуждения люминесценции кристаллов LiF:TiO₂. Видно, что при низких температурах в спектре возбуждения обнаруживаются максимумы, которые при комнатной температуре были почти не заметны. Из рисунков 60, 63 видно, что дополнительные максимумы совпадают с максимумами при 20 К, обнаруженными в кристалле LiF:Li₂O (270 нм, 310 нм). По-видимому, эти максимумы также связаны с наличием в этой области спектра полос поглощения кислородных центров.

Отметим также, что спектры возбуждения активаторной люминесценции при возбуждении в области 200 – 250 нм при 20 К немного отличаются от спектров возбуждения, измеренных при 300 К.

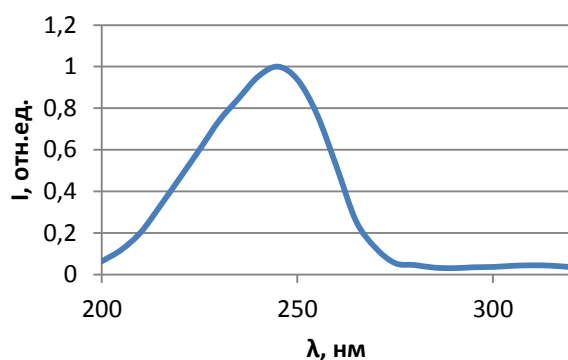


Рисунок 61 – спектр возбуждения ФЛ кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции λ_л=440 нм. T=300 К

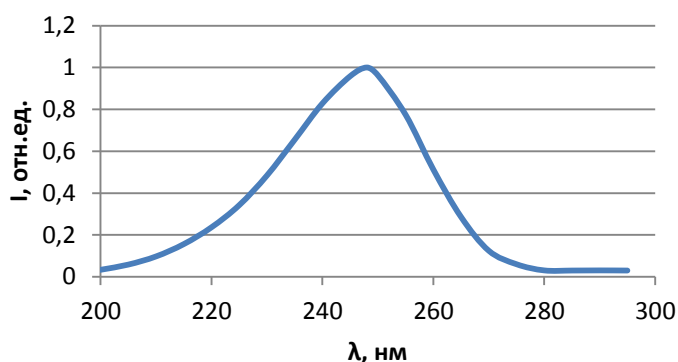


Рисунок 62 – спектр возбуждения ФЛ кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции λ_л=540 нм. T=300 К

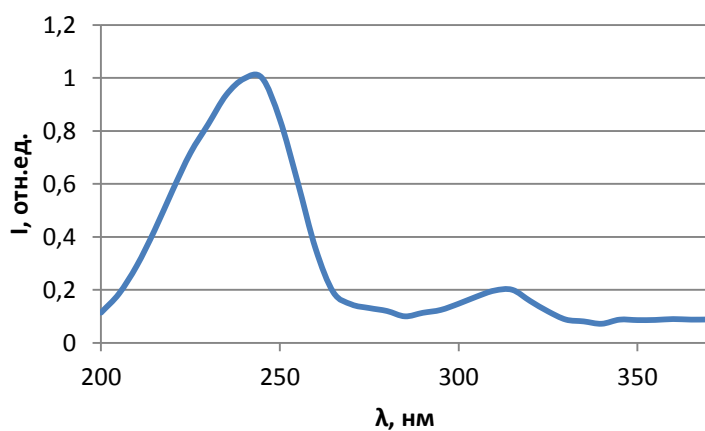


Рисунок 63 – спектр возбуждения ФЛ кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции λ_л=390 нм. T=20 К

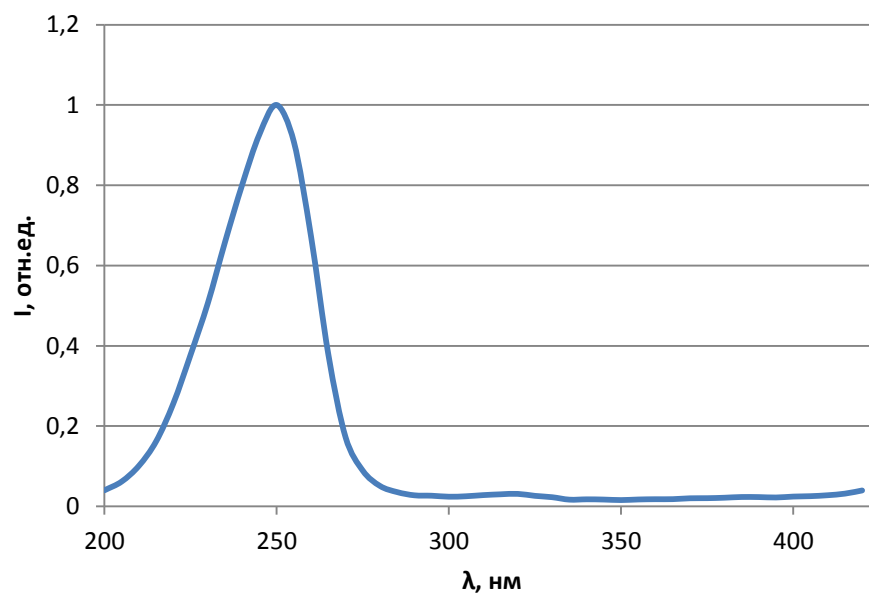


Рисунок 64 – спектр возбуждения ФЛ кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=440$ нм. T=20 К

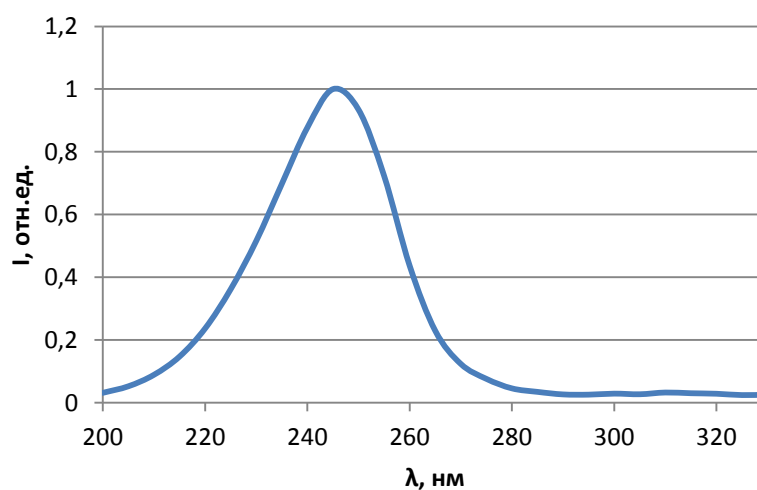


Рисунок 65 – спектр возбуждения ФЛ кристалла LiF:TiO₂ при длине волны люминесценции $\lambda_{\text{л}}=540$ нм. T=20 К

Выводы: Понижение температуры приводит к появлению выраженных полос возбуждения люминесценции, связанных с наличием кислорода в кристалле.

3.3. Температурные зависимости параметров люминесценции

Температурные зависимости подробно исследованы для двух кристаллов – LiF:Ti и LiF:W. Ниже приведены спектры люминесценции при возбуждении светом $\lambda_{\text{в}}=245$ нм. Видно, что при понижении температуры максимум свечения смещается в коротковолновую область спектра, а также возрастает интенсивность люминесценции.

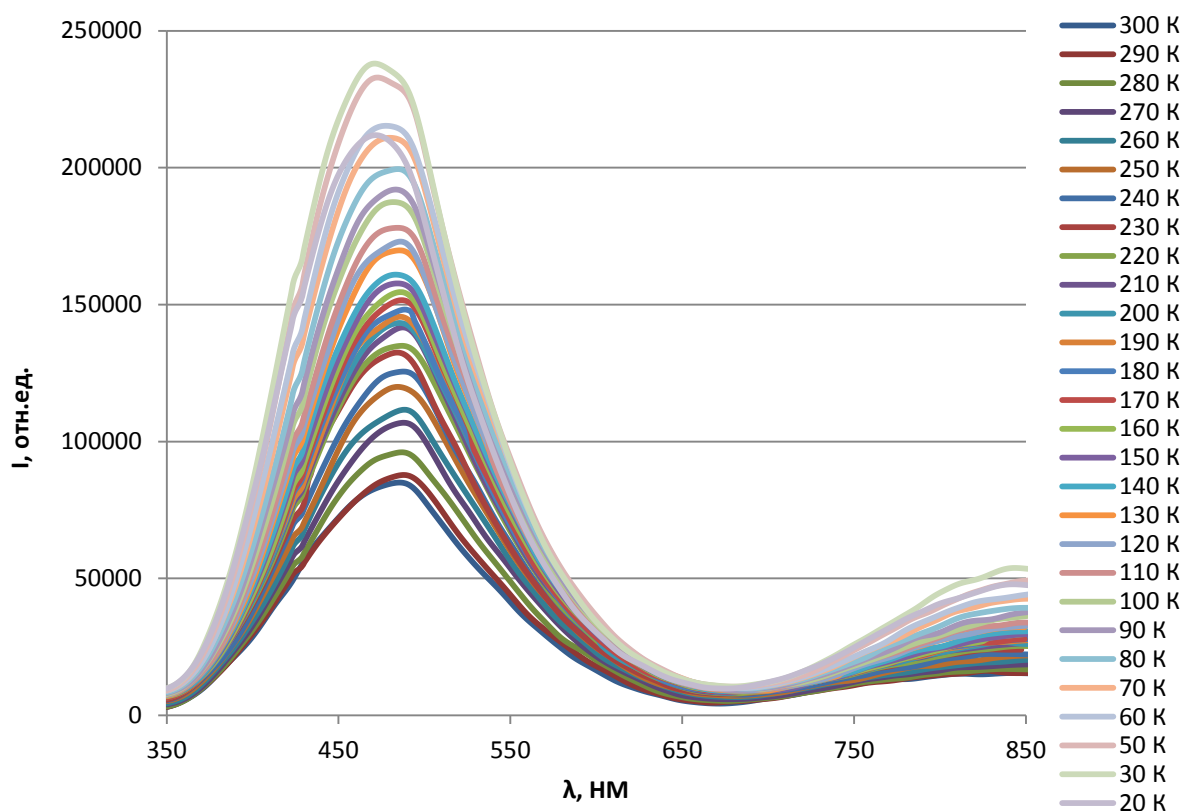


Рисунок 66 – Люминесценция кристалла LiF:TiO₂ при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=245$ нм в температурном диапазоне 20...300 К

Полуширина полосы практически не изменяется в диапазоне 20 – 300 К, а интенсивность уменьшается при повышении температуры от 20 К. Видно два характерных участка нарушения плавного хода кривой изменения интенсивности (60 К и 220 К). Максимум излучения слабо зависит от температуры.

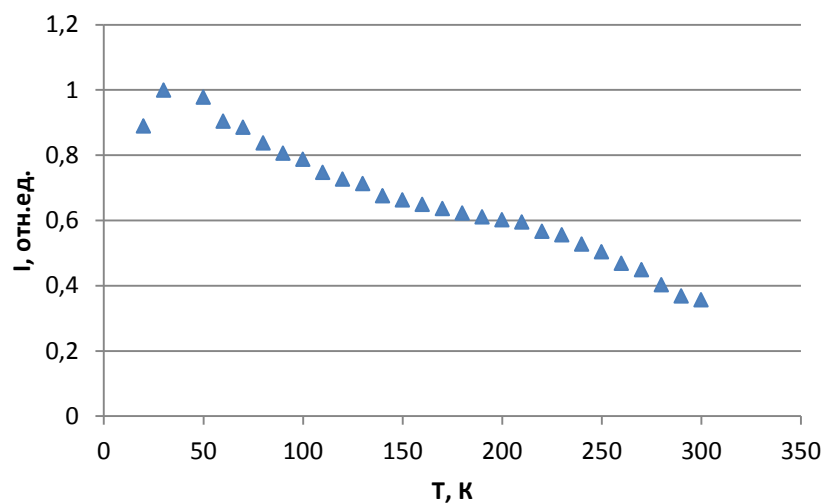


Рисунок 67 – Зависимость интенсивности люминесценции от температуры

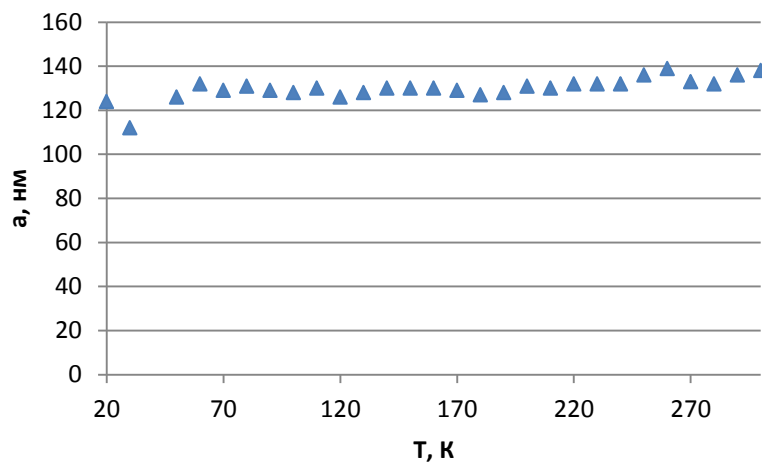


Рисунок 68 – Зависимость полуширины полосы люминесценции от температуры

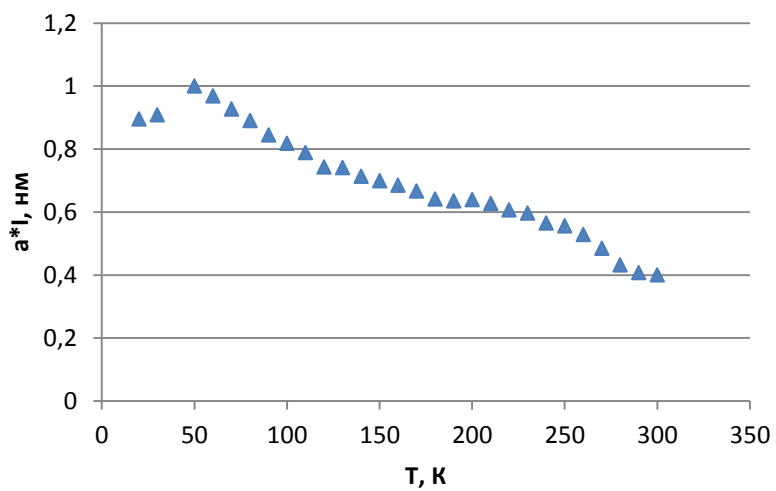


Рисунок 69 – Зависимость светосилы от температуры

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5Б	Липовка А.А.

Институт	Кафедра	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность 12.04.02 «Оптотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет материальных затрат НИИ, стоимости специального оборудования, расчет заработной платы руководителя и инженера
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ	Анализ конкурентных технических решений, определение альтернатив методов исследования на данном этапе разработки
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Календарный план, диаграмма Ганта, структура работ в рамках исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет заработных плат, всех видов отчислений, расчет бюджета НИИ с учетом всех факторов и необходимых затрат

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. График проведения и бюджет НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Петухов О.Н.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5Б	Липовка А.А.		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для любого исследования необходимо понимание коммерческой ценности разработки. В данной дипломной работе проводится исследование люминесценции сцинтилляторов на основе фторида лития с примесями оксидов металлов. Таким образом, конечным продуктом является не разработка нового материала, а изучение характеристик существующих материалов, которые пригодятся на практике в других научных исследованиях – в исследованиях темной материи, в качестве люминофоров для дозиметрии ядерных излучений, а разработанная технология исследования кристаллов LiF не является необходимой для массового использования в связи с ограниченностью применения. Соответственно потенциальные потребители результатов исследования представляют собой весьма ограниченный и специфический круг заинтересованных лиц – другие научные институты, на которые и нацелены результаты разработки. В данном случае сложно привести карту сегментирования рынка, так как ниша не занята конкурентами. Однако сама экспериментальная методика и используемое оборудование могут быть применимы для других исследовательских целей в будущем.

4.2. Технология QuaD

Использование технологии QuaD позволяет оценить перспективность исследования, качество разработки. Данная оценка позволяет визуализировать критерии целесообразности выделения финансирования на реализацию исследовательского проекта. Технология используется для проведения маркетинговых исследований. Оценочная карта для исследования люминесценции кристаллов LiF с примесями оксидов металлов представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Оценочная карта QuaD

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	5	90	100	0,9	4,5
2. Надежность	10	95	100	0,95	9,5
3. Уровень материалоемкости	15	90	100	0,9	13,5
4. Безопасность	10	50	100	0,5	5
5. Простота эксплуатации	5	20	100	0,2	1
6. Ремонтопригодность	10	60	100	0,6	6
7. Функциональная мощность	20	90	100	0,9	18
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	5	80	100	0,8	4
2. Уровень проникновения на рынок	5	30	100	0,3	1,5
3. Финансовая эффективность разработки	10	50	100	0,5	5
4. Наличие сертификации разработки	5	70	100	0,7	3,5
Итого	100	725	1100	7,25	71,5

Все рассматриваемые критерии касаются технологии эксперимента и, в том числе, возможности использования данных экспериментальных методик для других исследовательских целей. Исследовательская методика является высокоэффективной и дает корректные результаты, поэтому большинство показателей оценки качества разработки имеют высокие баллы. Низкие баллы связаны с простотой эксплуатации и безопасностью, так как использование данного оборудования требует высокой квалификации персонала, а также необходимо соблюдать особые требования охраны труда и промышленной безопасности.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot Б_i, \quad (1)$$

где $П_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); $Б_i$ – средневзвешенное значение i -го показателя.

Полученные результаты экспертной оценки свидетельствуют об уровне перспективности разработки «выше среднего». Чтобы проект стал менее уязвим, стоит уделить внимание коммерческой части исследования – внедрению результатов на рынок, расширению области применения.

4.3. SWOT-анализ

Для исследования сильных сторон проекта и угроз – как внутренних, так и внешних целесообразно воспользоваться SWOT-анализом. В работе проводится описание сильных и слабых сторон проекта, взаимосвязь их с возможностями и угрозами для проекта для разработки стратегии. Результаты анализа приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	C1. Уникальность методики C2. Экологичность, ресурсоэффективность технологии C3. Высококвалифицированный персонал C4. Методика не требует дополнительных материальных затрат для исследования разных образцов C5. Исследования проводятся на базе ТПУ, благодаря чему можно получить доступ к широкому кругу лабораторного оборудования	Сл1. Работа с некоторыми установками требует длительного времени проведения исследования Сл2. На результаты измерений могут повлиять внешние условия, что может привести к ошибочным выводам. Требуется многократная проверка правильности измерений Сл3. Исследование не очень широкого круга материалов на данный момент
Возможности: B1. Международный интерес к результатам исследования, участие в научно-технических конференциях различ-	B1C1C2C4. Упомянутые сильные стороны способствуют развитию возможности B1 B2C5. C5 способствует возможности B2,	B3Сл3. Сл3 является скорее временным ограничением и коррелирует с B3 Сл1 и Сл2 не связаны с упомянутыми

ного уровня В2. Привлечение кадрового состава и использование материально-технической базы ТПУ В3. Применение технологии для ряда других исследований	особенно касаясь привлечению студентов к исследованию В3С1С2С4С5. Возможности В3 способствуют все рассматриваемые сильные стороны	возможностями, так как связаны с технической стороной реализации и если уменьшить слияние Сл2 еще возможно, то Сл1 является постоянным фактором, который нужно учитывать при планировании работ
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологию У2. Отсутствие финансирования для продолжения исследования У3. Незаинтересованность сотрудников и студентов ТПУ в продолжение исследования	У1С1С2С3. Технология является конкурентоспособной благодаря сильным сторонам, что позволяет положительно влиять на У1, так же те же сильные факторы влияют на У2 и У3 У3С5 сильно связаны. С5 может повлиять на устранение угрозы У3	Сл1Сл2Сл3У1У2. Все приведенные факторы сильно связаны между собой и на их устранение нужно обратить внимание в первую очередь. Так как некоторые слабые стороны неустранимы, для уменьшения угроз нужно сделать упор на важность сильных сторон

Подводя итог, можно заключить, что укрепление сильных сторон, их увеличение с развитием методики будут способствовать развитию возможностей. Слабые стороны так же могут принести определенную пользу исследованию – их учет поможет грамотно планировать исследования и увеличивать их эффективность.

4.4. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В данной работе отсутствует создание принципиально нового продукта или устройства, упор делается на методику исследования. Университет уже сотрудничает с другими исследовательскими организациями, где результаты разработки находят практическое применение.

К основным вариантам совершенствования разработки можно отнести исследование других полезных для науки и технологий материалов с использованием предложенной методики, совершенствование методики с целью получения более высокой точности измерений, формирование нового ряда практических задач, выполнение которых возможно с использованием разработанной методики и используемого оборудования.

4.5. Планирование научно-исследовательских работ

4.5.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном пункте рассмотрены этапы работ и распределены обязанности в исполнении поставленных задач. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Зав. кафедры
Выбор направления исследования	2	Подбор материала по теме	Студент
	3	Проведение патентных исследований	Студент

	4	Определение цели исследования, составление плана работ	Студент, руководитель
	5	Календарное планирование работ	Студент, руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Нахождение литературных источников по теме	Студент
	7	Исследование уже созданных решений в данной области	Студент
	8	Экспериментальное исследование на установке 1	Студент, руководитель
	9	Экспериментальное исследование на установке 2	Студент, руководитель
	10	Обработка полученных результатов, сопоставление их с теоретическими ожиданиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности результатов, корректности измерений	Студент, руководитель
	12	Проведение повторных измерений в случае сомнительных данных	Студент, руководитель
	13	Формирование конечных	Студент,

		результатов, оценка эффективности исследо- вания	руководитель
	14	Планирование дальнейших работ по теме	Студент, руководитель

4.5.2. Разработка графика проведения научного исследования

Календарный план работ составлен с использованием диаграммы Ганта. Для использования формулы расчета продолжительности работ, необходимо найти коэффициент календарности.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году. В данном случае, работа велась не полный календарный год, а учебный год, поэтому коэффициент календарности рассчитан за этот период.

$$k_{\text{кал}} = \frac{273}{273 - 78 - 19} = 1,55$$

Далее переведены длительности каждого из этапов в календарные дни (таблица 4). Результат T_k округлен до целого числа. Результаты расчета представлены в таблице 4. Далее составлен календарный план-график проведения НИОКР, приведенный в таблице 7 (приложение Б).

Таблица 8 - Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Название работы	Трудоемкость работ, чел-дни			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
1	Составление и утверждение технического задания	1	1	1	Зав. кафедры	1	2
2	Подбор материала по теме	5	7	5,8	Студент	5,8	9
3	Проведение патентных исследований	2	4	2,8	Студент	2,8	5
4	Определение цели исследования, составление плана работ	1	2	1,4	Студент, руководитель	0,7	2
5	Календарное планирование работ	2	4	2,8	Руководитель	2,8	5
6	Нахождение литературных источников по теме	10	14	11,6	Студент	11,6	18
7	Исследование уже создан-	3	4	3,4	Студент	3,4	6

	ных решений в данной обла- сти						
8	Эксперимен- тальное ис- следование на установке 1	20	30	24	Студент	24	38
9	Эксперимен- тальное ис- следование на установке 2	20	30	24	Студент, руково- дитель	12	19
10	Обработка полученных результатов, сопоставление их с тео- ретическими ожиданиями	20	30	24	Студент	24	38
11	Оценка эф- фективности результатов, корректности измерений	5	8	6,2	Студент, руково- дитель	3,1	5
12	Проведение повторных измерений в случае сомни- тельных дан- ных	10	20	14	Студент, руково- дитель	7	11

13	Формирование конечных результатов, оценка эффективности исследования	5	8	6,2	Студент, руководитель	3,1	5
14	Планирование дальнейших работ по теме	2	4	2,8	Студент, руководитель	1,4	3

4.6. Бюджет научно-технического исследования

4.6.1. Расчет материальных затрат НТИ

К материальным затратам относится стоимость материалов, сырья, используемых для проведения исследования, а также канцелярские принадлежности и другие расходные материалы. Данные составлены на основе отчета лаборатории.

Таблица 9 – Материальные затраты НТИ

Наименование материала	Единицы измерения	Количество	Цена за ед C_i , руб	Затраты на материалы $З_m$, руб
Основные материалы				
ИКЛ LiF-TiO ₂	кг	0,2	6000	1200
ФЛ LiF-TiO ₂	кг	0,2	6500	1300
ИКЛ LiF-WO ₃	кг	0,2	5000	1000
ФЛ LiF-WO ₃	кг	0,2	5400	1080
Итого: 4580 руб				

4.6.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Затраты на спецоборудование существенно превышают материальные затраты на другие необходимые материалы, так как речь идет об экспериментальных установках, необходимых для работы.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
Спектрофлуориметр Agilent Cary Eclipse	1	114,5	114,5
Монохроматор МДР-204	2	195	390
Осветитель	1	45	45
Вакуумный насос	1	60	60
Компьютер	2	25	50
Итого:			659,5

4.6.3. Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет учитывает заработную плату сотрудников, величина расходов определяется из трудоемкости работ, все результаты расчетов представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_T	$З_{тс}$	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$	$З_{дн}$	T_p	$З_{осн}$
Руководитель	8	1,699	4000	0,3	0,3	1,3	8300	400	63	25000
Инженер	5	1,268	500	0,3	0,3	1,3	1000	50	123	6200
Итого $З_{осн}$										31200

4.6.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы и отчисления во внебюджетные фонды

Коэффициент дополнительной заработной платы выбран 0,12, так как разработка находится на стадии проектирования.

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель	25000	3000
Инженер	6200	750
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Величина отчислений во внебюджетные фонды		
Руководитель	7588	
Инженер	1880	
Итого	9500	

4.6.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие расходы при исследовании, в том числе затраты на электроэнергию.

Таблица 13 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N, кВт	n	t _{зан.ч.} ч.	Затраты, р.
Спектрофлуориметр Agilent Cary Eclipse	2	0,1	1	50	10
Монохроматор МДР-204	2	0,05	2	50	10
Осветитель	2	0,03	1	50	3
Вакуумный насос	2	1,5	1	50	150

Компьютер	2	0,03	2	50	6
Итого:					179

4.6.6. Расчет материальных затрат НТИ

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб на всех исполнителей	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	4580	Пункт 3.3.1
2. Затраты на специальное оборудование	659500	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	31200	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3750	Пункт 3.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	9500	Пункт 3.3.4
6. Накладные расходы	113365	16% от суммы ст.1-7
7. Бюджет затрат НТИ	821895	Сумма ст.1-8

Общий бюджет исследования составил 821900 рублей. Оценка бюджета необходима для планирования исследования, рассмотрения перспектив проведения дальнейших работ по теме.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ5Б	Липовка Анне Анатольевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ЛИСТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Оптехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

1. Работа посвящена исследованию свойств веществ в лабораторных условиях. Объект исследования – кристаллы фторида лития с примесями оксидов металлов, которые являются хорошими сцинтилляторами. Материалы широко применяются в качестве радиационных детекторов, используемых для радиоэкологического мониторинга территорий, контроля космического и техногенного нейтронного фона.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

- недостаточная освещенность рабочей зоны
- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения
- повышенная пульсация светового потока
- повышенный уровень ультрафиолетовой радиации
- повышенный уровень шума на рабочем месте
- повышенная или пониженная влажность воздуха и температура воздуха рабочей зоны
- повышенная или пониженная ионизация воздуха
- умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой
- напряженность анализаторных функций (зрение)

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	2. Экологическая безопасность В разделе рассмотрено влияние процесса исследования на литосферу: проведена классификация видов возможных отходов и описаны мероприятия по их утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях Наиболее типичная ЧС, которая может произойти в лаборатории – пожар. В разделе изложены возможные причины возникновения пожара, меры по его предотвращению, пути эвакуации из лаборатории, средства защиты и план действий по ликвидации ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности В разделе освещены вопросы специальной оценки условий труда сотрудников, определен круг лиц, допущенных до работы на установках. Проанализированы требования по компоновке рабочей зоны исследователя при работе с оборудованием и за компьютером.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Задорожная Т.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5Б	Липовка А.А.		

5. Социальная ответственность

Введение

Объектом исследования в работе являются кристаллы фторида лития с примесями оксидов различных металлов (титан, вольфрам, железо). Данные кристаллы широко используются в ультрафиолетовой и инфракрасной оптике, а так же в радиационной физике – например, в системах регистрации частиц темной материи. Целью работы является исследование люминесценции вышеупомянутых кристаллов. Необходимо установить механизм возбуждения люминесценции при воздействии ионизирующих излучений, исследовать процессы изменения свечения в процессе эксплуатации сцинтилляторов, изучить атомное строение и электронные конфигурации центров сцинтилляционного свечения.

В исследовании использовалось различное экспериментальное оборудование – спектрофлуориметр, спектрофотометр, монохроматоры, компьютеры и некоторые другие установки. Оборудование лаборатории должно удовлетворять установленным правилам, необходима разработка комплекса мер безопасности при работе с приборами для минимизации негативного воздействия на организм человека.

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, возникающие при работе в лаборатории, а так же другие вопросы охраны труда и промышленной безопасности, предусмотренные методическими указаниями к выполнению раздела.

5.1. Производственная безопасность

5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Выбор факторов осуществлен с использованием соответствующей нормативной документации - ГОСТ 12.0.003-2016 [26].

Отметим, что граница между опасными и вредными факторами условна, вредные факторы – приводящие к профессиональным заболеваниям, могут переходить в опасные – приводящие к травмам. В классификации отсутствуют химические и биологические факторы, так как при выполнении работ их влияние отсутствует.

Анализ проведен в соответствии с природой действия фактора, в связи с чем, все факторы разделены на несколько групп. Наибольшее число вредных факторов относится к физической природе возникновения.

Физические факторы:

- Недостаток освещенности рабочей зоны

В вечернее время, для обеспечения комфортных условий работы, в лаборатории обязательно должно присутствовать общее искусственное освещение. Недостаток освещения негативно влияет на зрение, нервную систему. Норма освещения рабочей поверхности (стола) в научно-технической лаборатории согласно СП 52.13330.2011 [27] составляет 400 лк (см. таблицу 15, приложение В).

Для данной лаборатории необходимо рабочее общее освещение, местное освещение не требуется, так как достаточно общего. Для искусственного освещения следует использовать энергоэкономичные источники света, предпочтение отдается источникам света с равной мощностью, наибольшей световой отдачей и сроком службы. Рекомендуемая цветовая температура должна находиться в диапазоне 2400 – 6800 К. Недопустимо наличие в спектре длин волн менее 320 нм. Чаще всего применяются люминесцентные светильники типа ОД, оснащенные лампами ЛБ-40, расположенные в 2 ряда

или же светодиодные светильники [28]. Однако люминесцентные лампы, оснащенные дросселями, имеют очень высокий коэффициент пульсации, поэтому необходимо заменить дроссели на электронные ПРА. На практике все чаще применяются светодиодные лампы. Световые приборы со светодиодами должны иметь защитные углы или рассеиватели, исключающие попадание в поле зрения прямого излучения.

- Повышенный уровень электромагнитных излучений

В рассматриваемой лаборатории работники подвергаются воздействию электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) из-за эксплуатации электрооборудования (ПК, монохроматоры, ФЭУ, спектрофлуориметр). Повышенный уровень излучений негативно влияет на нервную, иммунную и сердечно-сосудистую системы организма. Согласно СанПиН 2.2.4.1191–03 [29], предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всего рабочего дня устанавливается равным 5 кВ/м. Следует отметить, что при отсутствии защитного заземления уровень напряженности электрического поля увеличивается. При превышенном значении (более 25 кВ/м), необходимо применение коллективных средств защиты. При присутствии в лаборатории в течение 8 часов, предельно допустимый уровень напряженности магнитного поля составляет 100 мкТл. Защита производится путем проведения организационных и инженерно-технических мероприятий и применением средств индивидуальной защиты. В целях предупреждения и раннего обнаружения изменений состояния здоровья все лица, профессионально связанные с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП, должны проходить предварительный при поступлении на работу и периодические медосмотры в соответствии с действующим законодательством. Лица, не достигшие 18-летнего возраста, и женщины в состоянии беременности допускаются к работе в условиях воздействия ЭМП только в случаях, когда интенсивность ЭМП на рабочих местах не превышает ПДУ [29].

- Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

Все помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение. Существуют разработанные нормы [27]. Характеристикой зрительной работы является различение объектов. В данном случае наименьший объект различения представляет собой тонкие пластины кристаллов фторида лития с примесями и превышает по размеру 5мм. Таким образом, характеристика зрительной работы – очень малой точности (грубая), значит КЕО должен составлять 3% (при совмещенном освещении 1,8%). Расчет естественного освещения производится без учета мебели, оборудования и других затеняющих предметов. В лабораториях обязательно предусмотрено естественное боковое (в большинстве случаев одностороннее) освещение. Для создания благоприятных условий труда в дневное время необходимо не только иметь окна достаточной площади, но и регулярно проводить чистку оконных стёкол [28].

- Повышенная пульсация светового потока

Пульсация - показатель относительной глубины колебаний освещенности во времени в результате изменения светового потока [30]. Высокий коэффициент пульсации повышает опасность производственного травматизма, а так же влияет на зрительную и нервную систему человека. Согласно нормам [27] для данного вида работ (V) коэффициент пульсации не должен превышать 20%. Уменьшения пульсации в случае использования люминесцентных ламп можно добиться использованием ПРА, в современных светодиодных светильниках уже предусмотрены драйвера со стабилизацией тока, если же это не так, необходимо установить такие драйвера. Проверить и контролировать коэффициент пульсации можно с использованием люксметра.

- Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации

В эксперименте используется излучение стационарной ксеноновой лампы в диапазоне длин волн от 200 до 400 нм, таким образом, задействованы все три

области (УФ-А, УФ-В, УФ-С) согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям к физическим факторам на рабочих местах [31]. Ультрафиолетовое излучение может негативно влиять на зрение и незащищенные участки кожи. При общей продолжительности воздействия свыше 5 минут и до 50% длительности рабочей смены (4 часа) без использования спецодежды и средств защиты лица и рук, допустимая интенсивность может составлять 10 Вт/м^2 - для области УФ-А; $0,01 \text{ Вт/м}^2$ - для области УФ-В, а излучение в области УФ-С при указанной продолжительности не допускается. При длительной работе возможно использование индивидуальных средств защиты лица и рук, не пропускающих излучение – спилк, кожа, ткани с пленочным покрытием. В случае превышения допустимых интенсивностей облучения, должны быть предусмотрены мероприятия по уменьшению интенсивности излучения источника или защите рабочего места от облучения (экранирование), а также по дополнительной защите кожных покровов работающих.

- Повышенный уровень шума на рабочем месте

Использование спектрофлуориметра приводит к появлению непостоянного прерывистого шума (уровень звука изменяется на 5 дБА и более, длительность интервала превышает 1с). Повышенный уровень шума отрицательно воздействует на органы слуха и нервную систему человека. Предельно допустимый эквивалентный уровень звука согласно ГОСТ 12.1.003-83 [32] составляет 60 дБА, так как исследования относятся к категории высококвалифицированных работ, требующих сосредоточенности (таблица 16).

Таблица 16 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах [32]

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2. Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории: рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конструкторских помещений, лабораториях	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Шумовые характеристики технологического и инженерного оборудования должны содержаться в его технической документации и прилагаться к разделу проекта "Защита от шума" согласно СП 51.13330.2011. [33]. Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [34]. В лаборатории ПДУ шума не превышает, поэтому применение таких индивидуальных средств защиты как беруши и противозумные наушники не требуется.

- Повышенная или пониженная влажность воздуха и температура воздуха рабочей зоны

Микроклимат помещения влияет на состояние здоровья и самочувствие работников. Требования к микроклимату регламентированы СанПиН 2.2.4.548–96 [35]. Согласно рекомендациям, при 8 часовом рабочем дне и легких физических работах, в холодный период года температура воздуха должна составлять 22-24°C, относительная влажность воздуха 40-60%, а в теплый период 23-25°C, относительная влажность воздуха 40-60%. Допустимая скорость воздуха не должна превышать 0,2 м/с. Температура регулируется использованием отопительных и вентиляционных систем, для регулирования относительной влажности существуют увлажнители воздуха. В помещении лаборатории используется естественная вентиляция.

- Повышенная или пониженная ионизация воздуха

В лаборатории используется оргтехника (персональные компьютеры, принтеры), которая создает электростатические поля, поэтому при работе должны соблюдаться санитарные нормы. Если аэроионный состав воздуха не соответствует нормам, возможны негативные последствия для организма – не соответствующий норме уровень калия и кальция в организме, состав крови, утомляемость и головные боли. Согласно СанПиН 2.2.4.1294-03 [36], минимально допустимая концентрация положительных ионов составляет 400 ионов/см³, отрицательных 600 ионов/см³. Максимально допустимая концентрация положительных ионов 50000 ионов/см³, отрицательных 50000 ионов/см³. Для нормализации аэроионного состава воздуха следует применять соответствующие, прошедшие санитарно-эпидемиологическую оценку и имеющие действующее санитарно-эпидемиологическое заключение аэроионизаторы или деионизаторы.

Психофизиологические факторы:

- Умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой

Умеренное напряжение - нормальное рабочее состояние, возникающее под мобилизирующим влиянием трудовой деятельности. Это состояние психической активности - необходимое условие успешного выполнения действий [37]. Исследования предполагают длительную работу на компьютере и на лабораторных установках для анализа большого количества информации. Перенапряжение приводит к утомлению. Во избежание перенапряжения стоит делать перерывы в работе, чередовать виды деятельности, соблюдать рекомендуемую длительность рабочего дня.

- Напряженность анализаторных функций (зрение)

При длительной работе на компьютере происходит влияние на зрение. Для уменьшения воздействия этого фактора рекомендуется организация перерывов на 10 - 15 мин через каждые 45 - 60 мин работы. Комплексы упражнений для глаз регламентированы санитарными нормами [34]. Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1ч. А так же важна правильная установка монитора и качество изображения. Индивидуальные рекомендации даются врачом – офтальмологом.

5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

В помещении находится 6 персональных компьютеров и большое количество оборудования, работающего от электричества – спектрофлуориметр, монохроматоры, ФЭУ. Нарушения при работе с приборами могут привести к поражению электрическим током. К распространенным нарушениям можно отнести использование шнуров питания с поврежденной изоляцией, использование оборудования неизвестного происхождения, перегрузка розеток

электроприборами, которые включаются через тройники [38], случайное прикосновение к токоведущим частям. Воздействие тока на организм может привести к тяжелым последствиям – ожогам в характерных местах входа и выхода тока, сгущению и склеиванию клеток крови, нарушению работы скелетной мускулатуры сердца, нервной и других систем, в том числе, возможен летальный исход [39].

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. При промышленной частоте 50 Гц эти значения составляют: 2 мА, при воздействии более 10 с, 6 мА при воздействии менее 10 с согласно ГОСТ 12.1.038-82 [40].

Необходимо соблюдать меры по обеспечению защиты от поражения электрическим током. Металлические части электроустановок, доступные для прикосновения человека и не имеющие других видов защиты подлежат защитному заземлению или занулению согласно ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ [41].

5.2. Экологическая безопасность

Сам по себе объект исследования, представляющий собой кристаллы фторида лития с примесями оксидов металлов, является нетоксичным и не представляет опасности для окружающей среды. Однако в процессе исследований в лаборатории могут появиться факторы, влияющие на состояние окружающей среды. Научно-исследовательские лаборатории согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 [42] можно размещать в границах санитарно-защитной зоны промышленного объекта или производства. Процедура исследования по большей части заключается в облучении материалов ультрафиолетовым излучением и обработке результатов измерений с помощью компьютера, таким образом, выбросов в атмосферу и гидросферу не производится. Необходимо исследование мер по защите литосферы. В ходе работы возможно появление следующих видов отходов (классификация соответствует ФККО [43]):

- Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) – IV класс опасности
- Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства – I класс опасности
- Системный блок компьютера, утративший потребительские свойства - IV класс опасности
- Мониторы компьютерные жидкокристаллические, утратившие потребительские свойства, в сборе - IV класс опасности
- Оборудование компьютерное, электронное, оптическое, утратившее потребительские свойства - IV класс опасности

Отходы в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду подразделяются на 5 классов. Все указанные отходы, кроме люминесцентных ламп относятся к IV классу опасности – малоопасные. Лампы, утратившие потребительскую способность, относятся к I классу опасности – чрезвычайно опасные. К утилизации ламп предусмотрены особые меры. Требования к обращению с отходами I-IV классов опасности регламентируются федеральным законом об отходах производства и потребления от 24.06.1998 [44]. На образованные отходы составляются паспорта отходов I-IV классов опасности. Порядок паспортизации отходов и типовые формы паспортов отходов устанавливается уполномоченным органом исполнительной власти. Далее отходы должны быть переданы на размещение в специализированную организацию, имеющую лицензию на данный вид деятельности. Под размещением отходов подразумевается их хранение (складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения) или захоронение (изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду).

Обращение с отходами в части осветительных устройств регламентируется особыми правилами - Постановлением Правительства РФ от

3 сентября 2010 г. N 681 [45]. Накопление ртутьсодержащих ламп производится отдельно от других видов отхода в специальной таре. Запрещено совместное хранение поврежденных и неповрежденных ртутьсодержащих ламп. Сбор отработанных ламп также осуществляется специальными организациями, имеющими лицензию на данный вид деятельности, ведущие их переработку, учет и отчетность по ним.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера. При работе в данной лаборатории стоит исследовать ЧС техногенного характера.

- **Пожары, взрывы, угроза взрывов**

Лаборатория относится к категории В4 по взрывопожарной и пожарной опасности согласно НПБ 105-03 [46], так как в помещении находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы – деревянная мебель, офисные принадлежности, бумага. При исследованиях на спектрофлуориметре и с помощью монохроматоров образцы не нагреваются и не искрят. Возможные причины возникновения пожара согласно правилам противопожарного режима в РФ [47] являются неисправные электропроводка и нагревательные устройства, перегрузка и поврежденная изоляция электросети, оставленные включенными электроприборы, разряды молнии.

Для предотвращения пожароопасных ситуаций в лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка в соответствии с правилами противопожарного режима в Российской Федерации [47]. Система пожарной защиты направлена на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материального ущерба от него. В здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые

обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре (звуковое, световое) [47].

Сотрудники допускаются к работе после прохождения противопожарного инструктажа, в помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации [48,49]. Курение в зданиях допускается только в специально оборудованных для этого местах.

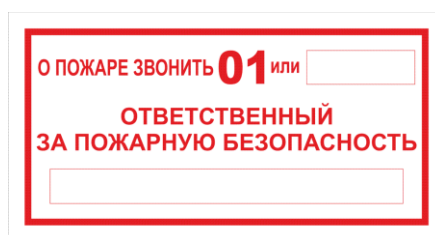


Рисунок 70 - Табличка с указанием номера телефона вызова пожарной охраны

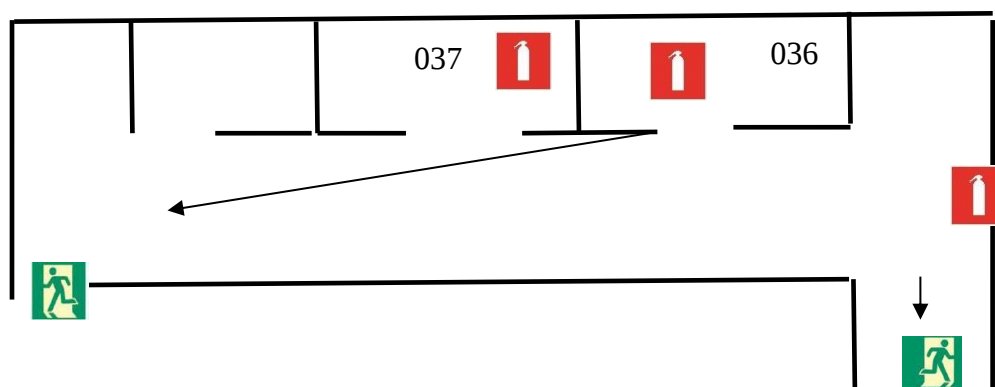


Рисунок 71 - План эвакуации из аудитории 036 10 корпуса ТПУ

В плане эвакуации обозначены выходы и огнетушители.

К эвакуационным выходам также предусмотрены требования: двери выходов и двери на путях к выходам должны открываться по направлению «от себя», наружные эвакуационные двери должны открывать без запоров и ключа. Эвакуационные пути не включают лифты [50].

Хранение огнетушителя осуществляется в соответствии с требованиями инструкции по его эксплуатации. Огнетушители бывают нескольких видов. Для тушения загораний веществ и материалов и электроустановок под напряжением

до 10кВ используются углекислотные огнетушители. Для тушения пожаров и загораний твердых веществ и материалов, ЛВЖ и ГЖ, кроме щелочных металлов и веществ, горение которых происходит без доступа воздуха, а также электроустановок без напряжения – пенные огнетушители. Для тушения пожаров и загораний нефтепродуктов, ЛВЖ и ГЖ, растворителей, твердых веществ, а также электроустановок под напряжением до 1кВ – порошковые огнетушители. Наиболее распространенными являются порошковые огнетушители. Также, стоит отметить, что тушение электроустановок водой запрещено. В лаборатории находится порошковый огнетушитель ОП-5.

При обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении (задымление, запах гари, повышение температуры воздуха) необходимо:

- немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- В случае загорания электроприбора необходимо обязательно отключить его от электросети, следует подождать несколько секунд, прежде чем начать тушить его
- вызвать к месту пожара руководителя;
- принять посильные меры по эвакуации людей и материальных ценностей и тушению пожара [47]
- Во время пожара не следует открывать окна и разбивать стекла – поток воздуха может ускорить распространение возгорания
- В случае задымления коридора стоит передвигаться на четвереньках, так как внизу задымление меньше, по возможности рекомендуется использовать респиратор или мокрую тряпку (или предмет одежды)
- Важно не поддаваться панике!

Руководитель обязан продублировать сообщение о пожаре в пожарную часть, поставить в известность администрацию объекта, отключить электроэнергию, устройства, прекратить все работы в помещении.

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Федеральному закону от 28.12.2013 N 426-ФЗ [51] руководитель обязан проводить специальную оценку условий труда. Организация, проводящая данную спецоценку, составляет перечень рабочих мест, на которых проводилась оценка и разрабатывает карты; на основе полученных данных составляется заключение об условиях труда по степени вредности. Условия труда в лаборатории относятся к оптимальным (1 класс) - воздействие на работника вредных и (или) опасных производственных факторов отсутствует или уровни воздействия не превышают установленные нормативами.

Согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации [52], работодатель обязан обеспечить безопасность работников. К работе на установке допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие обучение и инструктаж на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норм и правил работы с электроустановками.

Согласно стандарту, регламентирующему эргономические требования при выполнении работ сидя [53], конструкция рабочего места должна обеспечивать оптимальное положение работающего – высоту рабочей поверхности (725 мм), сидения, наличие места для ног (высота – не менее 600 мм, ширина – не менее 500 мм, глубина – не менее 650 мм).

Так как в процессе исследования происходит постоянная работа с компьютером, необходимо соблюдение требований к помещениям для эксплуатации ПЭВМ [34]. В помещении должно быть естественное и искусственное освещение, рабочее место следует расположить так, чтобы естественный свет падал сбоку, а окно было оборудовано жалюзи или другими регулируемыми устройствами. Площадь на одно рабочее место с ВДТ или

ПЭВМ должна составлять не менее 6 м^2 , а объем не менее 20 м^3 , расстояние между мониторами не менее 2 м. Рабочий стул должен быть регулируемым по высоте и углу наклона спинки в пределах 30° , поверхность должна быть не электризующейся, не допускается использование скамей или стульев без спинки. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм, а уровень глаз должен приходиться на центр или $2/3$ высоты экрана.

Заключение

В ходе работы изучены спектры люминесценции и спектры возбуждения люминесценции в кристаллах $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$; $\text{LiF}:\text{OH}$; $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$; $\text{LiF}:\text{WO}_3$; $\text{LiF}:\text{TiO}_2$ в диапазоне энергий квантов 6,5 – 4,4 эВ при температурах 20 – 300 К. Установлено, что во всех кристаллах присутствует свечение кислородных центров ($\text{O}^{2-} - V_a$).

Показано, что спектр люминесценции кислородного центра в кристалле $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$ состоит из двух полос с полуширинами 0,5 эВ и максимумами полос при 3,1 эВ и 2,64 эВ. Максимум спектра возбуждения люминесценции соответствует полосе поглощения ($\text{O}^{2-} - V_a$) – центра.

В кристаллах $\text{LiF}:\text{OH}$ в области длин волн 200 – 300 нм возбуждается люминесценция только кислородных центров. Эти центры, по-видимому, создаются при выращивании кристаллов. Фотолюминесценции, вызванной примесью, в этом диапазоне энергий возбуждающего излучения не обнаружено.

В кристаллах $\text{LiF}:\text{Fe}_2\text{O}_3$, также, как и в кристаллах $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$, $\text{LiF}:\text{OH}$, в области длин волн 200 – 300 нм возбуждается преимущественно люминесценция кислородных центров ($\text{O}^{2-}-V_a$), которые создаются при выращивании кристаллов. Слабое активаторное свечение обусловлено полосой с максимумом при энергии 3,37 эВ и полушириной около 0,5 эВ.

В спектрах излучения кристалла $\text{LiF}:\text{WO}_3$ обнаружено две полосы люминесценции, связанные с примесью активатора (W). Спектр возбуждения люминесценции $\text{LiF}:\text{WO}_3$ может быть разложен на 2 компонента (кислородный и примесный кислородный).

Характер влияния примеси титана на спектры люминесценции и спектры возбуждения люминесценции такой же как в кристаллах с примесями вольфрама. Отличия в конкретных параметрах спектров или соотношениях интенсивностей полос излучения и возбуждения.

Обнаружены новые полосы возбуждения люминесценции в кристалле $\text{LiF}:\text{Li}_2\text{O}$, которые, по-видимому, не видны в спектрах возбуждения при 300 К из-за тушения люминесценции.

Понижение температуры приводит к появлению выраженных полос возбуждения люминесценции, связанных с наличием кислорода в кристалле.

Изучены температурные зависимости кристаллов $\text{LiF}:\text{WO}_3$; $\text{LiF}:\text{TiO}_2$. Характер температурных зависимостей, полуширины и максимума полос активаторной люминесценции в кристаллах говорит о высокой степени локализации центров свечения в кристалле фторида лития и слабом влиянии колебаний решетки на параметры люминесценции.

Известно, что при активации, металл входит в виде оксианионных комплексов, но, также, в материалы вводят дополнительные примеси, которые являются центрами активаторной люминесценции, в частности, кислород. Концентрация кислорода зависит от способа выращивания кристалла. Во всех исследованных образцах очевидно присутствует атомарный кислород, который образует центр свечения в виде $(\text{O}^{2-} - \text{V}_a)$ –центра. По-видимому, активаторное свечение также обусловлено таким комплексом, но возмущенным примесью. Об этом говорят одинаковые закономерности возбуждения люминесценции изученных кристаллов. Такой центр может быть или внутри оксианионного комплекса (TiO_2 , WO_3), так он замещает анион в узле или просто возмущен этим комплексом.

Список использованных источников

1. Производственная компания ООО «Электростекло» [Электронный ресурс] / URL: http://www.elektrosteklo.ru/LF_rus.htm, свободный – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2017 г.
2. Метод Стокбаргера – Бриджмена [Электронный ресурс] / URL: http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/rost_03.pdf, свободный – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2017 г.
3. Багдасаров Х.С. Современная кристаллография / Под ред. Б. К. Вайнштейна. - Т.3. - М.: Наука, 1980. - 408 с.
4. Кац М.Л. Люминесценция и электронно-дырочные процессы в фотохимически окрашенных кристаллах щелочно-галогидных соединений / Тех. Редактор Алексеев П.З. – Издательство Саратовского Университета, Саратов, 1960. – 800 с.
5. Установка для выращивания кристаллов методом направленной кристаллизации в гарнисаже / В.И. Таранюк, А.В. Гектин, А.В. Колесников // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. - №1. – с. 4-7.
6. Неорганические люминофоры / О.Н. Казанкин, Л.Я. Марковский, И.А. Миронов, Ф.М. Пекерман, Л.Н. Петошина. –М.: Химия, 1975. – 192 с.
7. Состав нанодфектов в активированных кристаллах / Л.А. Лисицина, В.М. Лисицин // Физика твердого тела. – 2013. – том 55, вып. 11. – с. 2183 – 2189.
8. Спектрофлуориметр Agilent Cary Eclipse [Электронный ресурс] / URL: <http://www.ccsservices.ru/catalog/spektrofluorimetry-agilent/spektrofluorimetr-agilent-cary-eclipse-/>, свободный – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2017 г.
9. Люминесцентные свойства и проблемы выращивания кристаллов LiF [Электронный ресурс] / URL: <http://www.inr.ru/rus/kud-sem/shiran.pdf>, свободный – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2017 г.

10. Новые детекторные материалы и устройства / Шульгин Б.В., Черепанов А.Н., Шульгин Д.Б. –М.: Физматлит, 2017. – 366 с.
11. Крутяк Н.Р. Оптические и люминесцентные свойства новых сцинтилляционных кристаллов вольфраматов и пути их улучшения: диссертация / научный руководитель Михайлин В.В. –М. 2016. – 205 с.
12. Детекторы ионизирующего излучения / А.В. Коваленко, Т.М. Бочкова // Физика и техника полупроводников. – 1993. – том 27, вып.8. – с. 1335 – 1339.
13. Pulsed cathodoluminescence of LiF-Fe₂O₃ crystals / V.I. Korepanov, P.V. Petikar, and A A. Kamrikova // International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2014) IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 552 (2014) 012038 doi:10.1088/1742-6596/552/1/012038.
14. А. М. Пшуков. Сцинтилляционные свойства активированных кристаллов LiF / Москва, Препринт ИЯИ РАН 1121. - 2004. - 17 с.
15. В.И. Корепанов. Импульсный люминесцентный анализ: учебное пособие / Рецензенты В.Ф. Лосев, Л.А. Губанова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 134 с.
16. Модульная многофункциональная оптоволоконная спектрометрическая система [Электронный ресурс] / URL: <http://www.avantes.ru/articles/up1/6.php>, свободный – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2017 г.
17. В.И. Арбузов. Основы радиационного оптического материаловедения: учебное пособие / СПб: СПбГУИТМО. - 2008. – 284 с.
18. Nikl M., Laguta V., VeddaA. // Phys. Stat. Sol.(b), - 2008, V. 245, № 9, P.1701
19. Vilira N.D., Ranieri I.M., Morato S.P. Room temperature visible laser action of F2 – aggregated centers in LiF: Mg, OH crystals // Phys.Stat. Sol (a). – 1982. – Vol.73. – № 1. – P.K115-K117.
20. Nahum J. Optical properties and mechanism of formation of some F- aggregate centers in LiF // Phys.Rev. – 1967. – Vol.158. – № 3. – P.814-825.

21. Нестационарная активная спектроскопия лазерно-активных центров окраски в кристалле фтористого лития / Гадонас Р., Данелюс Р., Камалов В.Ф., и др. // Изв. АН СССР. Сер физ. – 1982. Том 46. – № 10. – С.1979-1984.
22. Bosi L., Bussolati C., Spinolo G. Livetime studies on the relaxed excited state of colour centers // Phys.Rev. – 1970. – Vol. 1. – № 2. – P.890-895.
23. Экспериментальные методы химической кинетики: учебное пособие / под редакцией Н.М. Эмануэля, М.Г. Кузьмина. – Москва: Изд-во Московского университета, 1985. – 181 с.
24. Накопление центров окраски в кристаллах LiF, LiF-TiO₂, LiF-WO₃ при низких температурах / В.И. Корепанов, П.В. Петикарь
25. Spectroscopic properties of Lif crystals doped with W, Ti and Fe oxides / L. Lisitsyna, V. Korepanov, V. Lisitsyn, P. Petikar, R. Kassymkanova, D. Esilbaev // Proceedings Higher Education, 2012. - Phys. 55 (11/3). P. 95–99
26. Гост 12.0.003-2016. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
27. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
28. Освещение лабораторий — обзор и советы в выборе лабораторного светового оборудования [Электронный ресурс] URL: <http://www.moslabo.ru/info/13-10-14/> свободный, яз. рус. Дата обращения 20.05.2017 г.
29. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях
30. Производственное освещение [Электронный ресурс] URL: http://ftemk.mpei.ac.ru/bgd/_private/Svet_pr/Osn_Svet_1/IV_1_ocn_haract.htm свободный, яз. рус. Дата обращения 20.05.2017 г.
31. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах
32. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
33. СП 51.13330.2011. Защита от шума.

34. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
35. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
36. СанПиН 2.2.4.1294-03 - гигиенические требования к аэроионному составу воздуха
37. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс] URL: <http://lib4all.ru/base/B3329/B3329Part2-5.php#5> свободный, яз. рус. Дата обращения 20.05.2017 г.
38. Электробезопасность в офисе: как ее обеспечить / А. Таймасов // Справочник специалиста по охране труда – 2017 - №4 – с. 1-8
39. Удар током: первая помощь, последствия после поражения электрическим током [Электронный ресурс] URL: <http://zdravotvet.ru/udar-tokom-pervaya-pomoshh-posledstviya-posle-porazheniya-elektricheskim-tokom/> свободный, яз. рус. Дата обращения 20.05.2017 г.
40. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)
41. ГОСТ 12.1.030–81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
42. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
43. Федеральный Классификационный Каталог Отходов (редакция от 16.08.2016) [Электронный ресурс] URL: <http://eco-c.ru/guides/fkko> свободный, яз. рус. Дата обращения 20.05.2017 г.
44. ФЗ об отходах производства и потребления от 24.06.1998 N 89-ФЗ
45. Постановление Правительства РФ от 3 сентября 2010 г. N 681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение

которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде»

46. НПБ 105-03. Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

47. Правила противопожарного режима в РФ (утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 года N 390)

48. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений

49. Эвакуационные знаки [Электронный ресурс] URL: <http://auditpb.ru/evakuatsionnye-znaki.html> свободный, яз. рус. Дата обращения 20.05.2017 г.

50. Пособие по пожарной безопасности / О.И. Тихомиров – М.: ЭНАС, 2010. – 64с.

51. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 01.05.2016) "О специальной оценке условий труда»

52. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017)

53. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

Приложение А

Раздел 6

Literature review; Experiment; Experimental results

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ5Б	А.А. Липовка		

Консультант кафедры ЛИСТ:

Должность	ФИО	Уч. степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЛИСТ	В.И. Корепанов	д.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Уч. степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИЯФТ	А.К. Устюжанина	к.ф.н.		

Introduction

The research relevance of the activated lithium fluoride crystals luminescence is that these materials have a wide application in engineering, more precisely as scintillation detectors. Despite the fact that crystals have been studied for a long time, there remain questions worth attention:

1. The mechanism of luminescence excitation under the influence of ionizing radiations has not been elucidated
2. There is no clarity in the atomic structure and electronic configuration of the centers of scintillation emission
3. There is no understanding of the changes in illumination in the process of exploitation.

Pure LiF crystals, which are irradiated with ionizing radiation, have a relatively weak luminescence noticeable only at low temperatures (exciton emission) [13]. However, LiF crystals, activated with heavy metals such as tungsten and titanium, can be used as effective scintillators.

By considering all the background, we can underline the purpose of the research: to establish the role of oxygen in the formation of scintillation luminescent centers and consider the parameters and characteristics of these centers during photoexcitation process.

The research objectives are: to explore the PL spectra and PL excitation spectra at temperature effective range of 20-300 K while the samples are excited by light from the spectral range of 200-400 nm.

1. Theoretical review

Lithium fluoride in its pure form is an ionic alkali-halide crystal. Positive metal ions with negative halogen ions form a crystalline structure, which is stable due to a bound by Coulomb forces. The crystals are used in ultraviolet and infrared optics, the transmission bandwidth of the material is from 110 to 700 nm, the optical properties of the crystal are illustrated in Table 1.

The lithium fluoride crystal is colorless, because it has a large value of band gap (10.9 - 14.5 eV).

Table 1 – Optical properties of LiF crystals

Parameter	Meaning
Transmission	0,12 – 8,5 μm
Refractive index	1,3943
Reflection losses	5,3%

Pure lithium fluoride crystals have low light output, so impurities are often provided into the crystal to improve the radiation properties. Normally lithium fluoride crystals are activated with impurities of titanium, tungsten, iron. These materials are used as the phosphors for dosimetry of nuclear radiation, in particular for registration of slow neutrons. The cross section for neutron capture in lithium is approximately $900 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$. There are some requirements for the phosphors, which are used for these purposes. Phosphors should possess:

- the greatest conversion efficiency (light output);
- the best spectral composition of the radiation corresponding to the region of maximum sensitivity of the photocathode of the counter;
- short duration of scintillations.

Also, scintillation detectors are used for radioecological monitoring of territories, control of space and technogenic neutron background, creation of

complexes for technical control over nuclear fuel, creation of antiterrorist complexes for radiation monitoring.

The crystals are activated by adding the corresponding metal to the charge. In the following crystals, it is possible to detect oxygen-containing impurities and intrinsic defects, because the impurity is located in the lattice of the crystal not in its pure form, but in the form of metal oxides. This oxyanion complex is located in the anionic lattice sites and presents the center of the scintillation emission. It is known that the introduction of such impurities during growth is also accompanied by the entry of various compensating impurities and defects, including vacancies, oxygen atoms (ions) and OH groups.

The crystals studied in the research paper were grown in the Institute of Single Crystals of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkov.

1.1. Scintillation properties of LiF: Ti, LiF: W, LiF: Fe

Scintillators are the substances that have the ability to emit light while absorbing ionizing radiation. Thus, the scintillator works as both a spectral and energy converter - converting a high-energy photon into visible and UV radiation.

The inorganic scintillators, which are the subjects of research, mechanically are the crystals of inorganic salts, and this kind of scintillator is the most common in practice. About 80% of scintillators are alkali-halide single crystals. In addition to inorganic, there are organic crystalline, plastic, gas and organic liquid scintillators.

When a charged particle passes through a scintillator, a certain number of photons arise in it, some of which are absorbed in the bulk of the material, and photons with lower energy are emitted to the environment.

The scintillator emits a continuous spectrum, which is typical for the chosen material. Another important characteristic of scintillators, which is significant in practice, is the light output (conversion efficiency). The light output is the ratio of the energy radiated in the form of scintillations to the absorbed energy. The third

important characteristic is the duration of scintillations. Other considering characteristics are:

- Response time
- Radiation resistance
- Chemical and mechanical stability
- Price

Pure LiF crystals have low light output at room temperature. It is estimated that the scintillation yield of a LiF crystal is close to 5000 phot/MeV. Cooling to low temperatures (10-50 K) increases the intensity of crystal luminescence by almost 2 orders of magnitude from the decay of primary radiation defects. The alloying of lithium fluoride by metals significantly increases the light yield of LiF, which makes the material more practically helpful. It is suggested that the centers of luminescence in these crystals are metal-oxygen complexes.

Lithium fluoride activated by tungsten (LiF:W) has a luminescence maximum at 430 nm, the scintillation duration is 40 μ s, but the scintillation efficiency is not very high (0,1 comparing to the light yield of LiI: Eu).

Lithium fluoride activated by titanium (LiF:Ti) is characterized by a light yield of 2% of NaI (Tl), which at the moment remains the most efficient scintillator in case of considering the light output.

1.2. Luminescence of LiF: Ti, LiF: W, LiF: Fe crystals

Solid and liquid substances, which luminesce from external stimulation are called phosphors. Depending on the type of excitation, several types of luminescence are distinguished: radio-, chemi-, bio-, tribo-, crystal-, cathodo- and photoluminescence. In our case, photoluminescence is the interesting one. The excitation happens due to the absorption of radiation from the IR, visible and UV spectral regions. This type of excitation is used in paper.

We are talking about external excitation, the luminescence intensity depends on the intensity of energy transfer to atoms from an external source and processes occurring inside the substance that can lead to quenching of the luminescence. The intensity of the photoluminescence can be expressed by the formula (1)

$$I = 2,3I_0\phi klc, \quad (1)$$

where I_0 is the intensity of the excitation source, ϕ is the quantum yield of the luminescence, k is the absorption coefficient, c is the concentration of the luminescence centers. The luminescence intensity decreases with increasing temperature (in contrast to the case of thermal excitation). Excitation by light refers to selective types of excitation. The transfer of the center to the excited state occurs as a result of the absorption of photons with an energy corresponding to the energy system of electronic absorption transitions at this center. All the stages of the appearance of illumination occur inside one particular center. When the particle returns from the excited state to the ground state, luminescence occurs. Photoluminescence is widely used in engineering. Photoluminophors are taken about 90% of all polycrystalline phosphors in use.

In lithium fluoride crystals activated by tungsten and titanium, the absorption bands of activators and photoexcitation are in the spectral range 190-300 nm, as the result, the intensive activator luminescence is observed.

In lithium fluoride crystals activated by iron, a weakly pronounced absorption band of activators in the 190-300 nm region. In these crystals, oxygen centers are the absorbers.

2. Exploratory procedure

Exploratory procedure for measuring the spectra of photoluminescence and excitation spectra of photoluminescence at T=300K

To conduct measurements at room temperature, Agilent Cary Eclipse spectrophotometer was used. The device is equipped with ultrafast scanning

monochromators, pulsed xenon lamp is used as an illuminator. The device has such advantages as the ability to work in several modes (including chemi- and bioluminescence), has high sensitivity and high measurement speed, the lamp is switched on only at the time of data collection – due to that fact working with photolabile samples is allowed. The drawbacks of the spectrophotometer is that the spectrum obtained as a result of measurements on this equipment is often not smooth enough, this fact could be explained by the use of a pulsed xenon lamp (in the experiment with a stationary lamp this problem is absent). Other technical characteristics are illustrated in Table 2.



Figure 1 - Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer

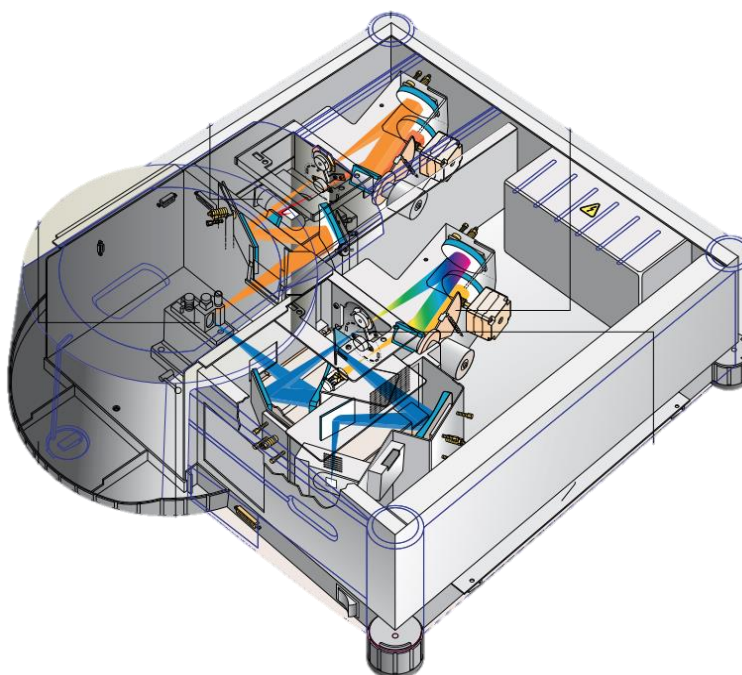


Figure 2 - Functional scheme of the Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer

Table 2 - Technical features of Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer

Lamp	Xenon flash lamp
Pulse width	2 μ s
Equivalent power	75 KW
Optics	Schwarzchild
Monochromators	Čzerny-Turner, 0.125 m
Difraction gratings	30 x 35 mm, 1200 lines/mm
Detectors	PMT R298 x2
Optical range	Excitation: 200-900 nm Emission: 200-900 nm
Spectral width of the slit	1.5, 2.5, 5, 10 и 20 nm
Scan rate	24000 nm/min
Kinetic Data Collection Rate	4800 dotes/min
Full wavelength scans	fluorescence: 0.0125 - 999 s, phosphorescence: 1 μ s -10s , bio-/chemi-luminescence: 40 μ s -10s

2.1. Spectral characteristic of radiation incident on a sample from a pulsed xenon lamp

To obtain the correct intensity distribution in the fluorescence spectra and in the luminescence excitation spectra, it is necessary to correct the measurement results taking into account the spectral sensitivity characteristic of the measuring path of the spectrometer and to take into account the distortion of the lamp emission spectrum in the luminescence excitation path.

In the process of working with the spectrofluorimeter it was found that the device does not automatically correct the excitation spectra. Therefore, in order to obtain the real spectra, it was necessary to calibrate the instrument manually.

The device provides filters operating in the spectral range from 250 nm, but the studies were conducted in the range from 200 nm. Noticeable, that the spectra

were influenced by the spectrum of the xenon lamp itself. It was required to exclude this influence. Also, the scattered light could put an inaccuracy to the results of measurements. The elimination of the scattered radiation was made by the selection of samples and the geometry of the measurement of luminescence.

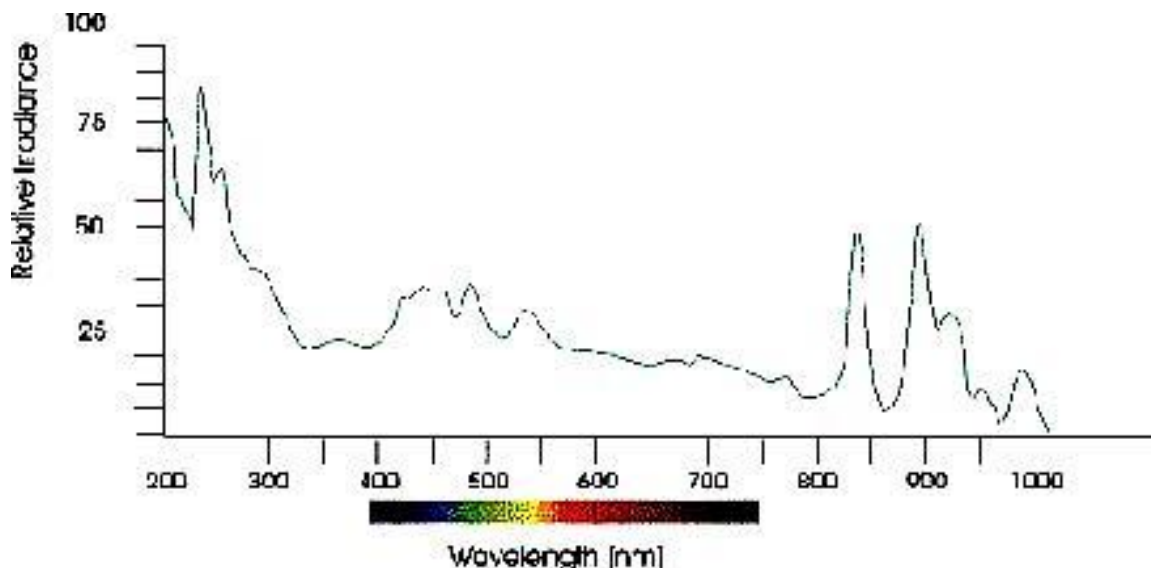


Figure 3 - Xenon lamp emission spectrum

To provide the calibration we used a solution of fluoramine dye “rhodamine g6” in ethyl alcohol. The use of this dye is settled down, because its relative quantum yield of luminescence is constant in the spectral range of 200 - 600 nm.

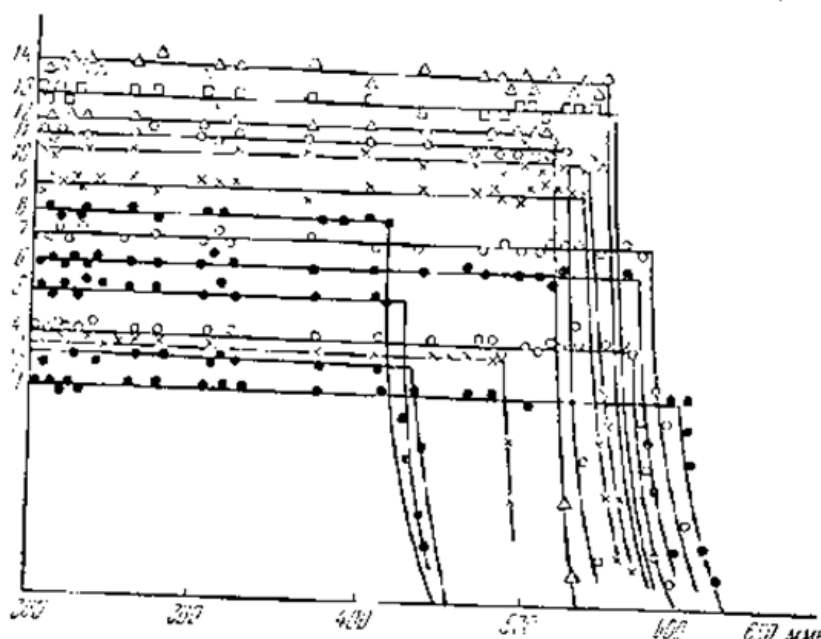


Figure 4 - Relative quantum yield of luminescence for various substances as a function of the wavelength of the exciting light. 1 - rhodamine



Figure 5 - Solution of fluoramine dye “rhodamine g6” in ethyl alcohol

The research was conducted in several steps:

Initially, the luminescence excitation spectra and the optical density of the solutions were measured for various concentrations of rhodamine in them. At first, chosen concentration was 25 mg per 100 ml, in further measurements the ratio was changed. The necessity to make changes in concentration ratio is explained by the fact that the optical density D , according to the recommendations, should be less than 0,1. The value of 0,1 refers to a layer thickness of 1 mm, so with a layer thickness of 1 cm (the width of the using cuvette), the optical density should be less than 1.

If the optical density exceeds the recommended values the error could occur because of the effects of concentration quenching and self-absorption of the recombination radiation. Therefore, the rhodamine concentration in the solution was changed by increasing its dilution in ethyl alcohol until the required value of the optical density of the sample was obtained. The exact value of the final concentration of rhodamine in the solution is unknown. In the following description, the optimum concentration will be determined as C1. Also, for comparison, measurements were made with a value below the optimal concentration. Reduced rhodamine concentration will be indicated in the text of the work as C2.

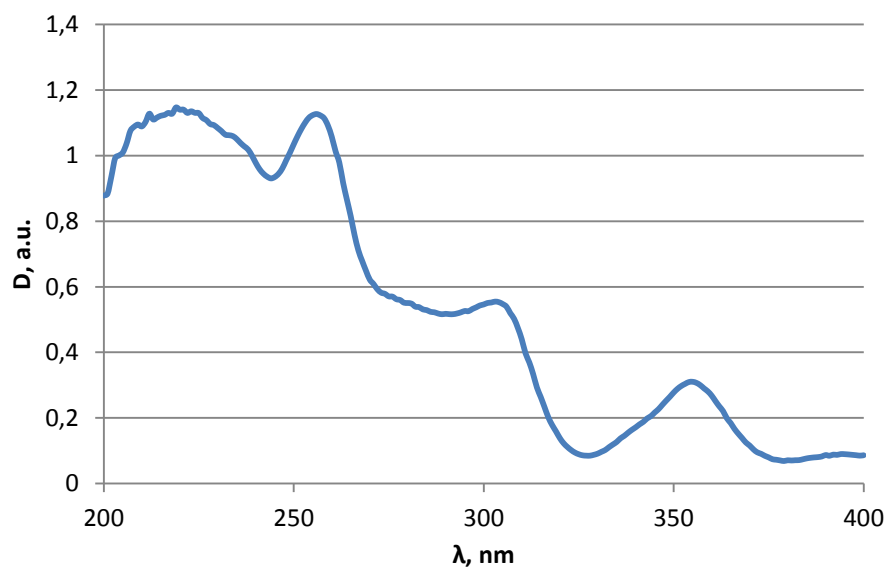


Figure 6 - Optical density of the solution at the concentration of rhodamine C1

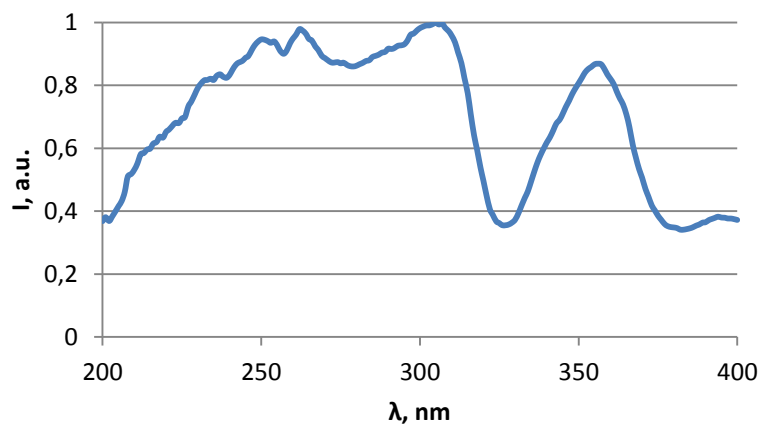


Figure 7 - The excitation spectrum of the luminescence of a solution with concentration C1. Luminescence wavelength $\lambda_{em}=580$ nm

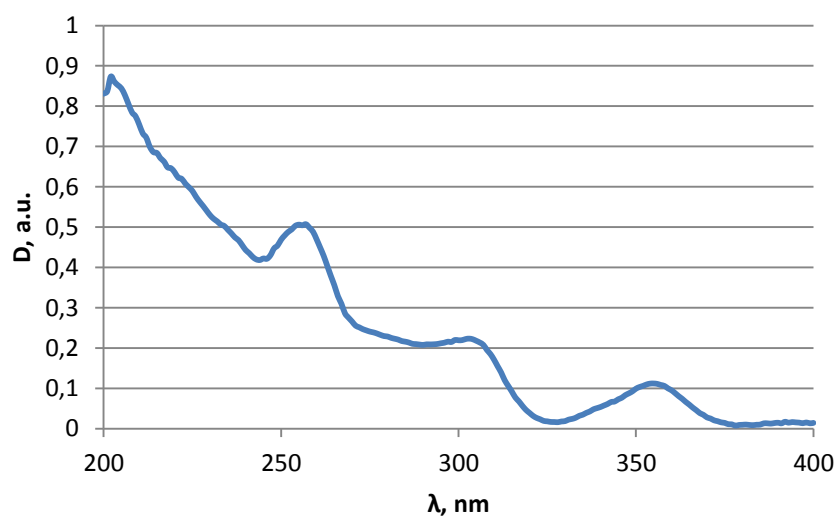


Figure 8 - Optical density of the solution at the concentration of rhodamine C2

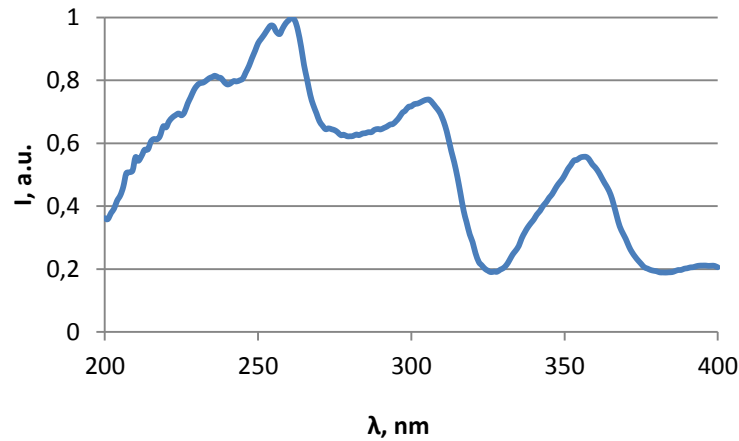


Figure 9 - The excitation spectrum of the luminescence of a solution with concentration C2. Luminescence wavelength $\lambda_{em}=580$ nm

The luminescence intensity is expressed by formula 2:

$$I_{em} = k \times N_{em} \quad (2)$$

where $k=\text{const}$, N_{em} – the amount of emitted photons.

The quantum yield is expressed by the formula 3:

$$\varphi = \frac{I_{em}}{I_{abs}} = \frac{I_{em}}{I_0 - I} = \frac{I_{em}}{kI_0D} \quad (3)$$

where I_0 – the intensity of incident radiation, D – optical density, I_{abs} – the intensity of absorbed radiation.

With the help of formula 2 it is possible to find the expression of luminescence intensity:

$$I_{em} = k\varphi I_0 D = I_0 D A \quad (4)$$

where $A=\text{const}$. If the optical density $D < 0,1$, we could derive the formula for the intensity of incident radiation:

$$I_0 = \frac{I_{\pi}}{DA} \approx \frac{I_{\pi}}{D} \quad (5)$$

The last formula is the basis for the future graduation.

The following experimentally obtained curves are presented:

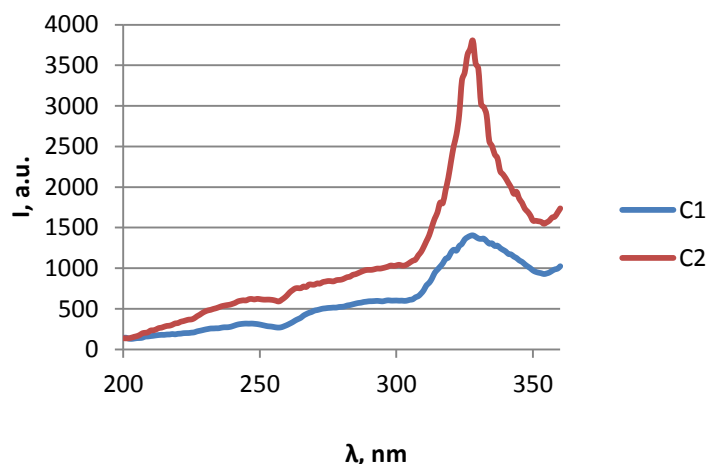


Figure 10 - The intensity spectrum of the incident flux with different rhodamine concentrations. Luminescence wavelength $\lambda_{em}=580$ nm

For comparison, similar measurements were done for a luminescence wavelength $\lambda_{em}=630$ nm. The results are shown in Figure 11.

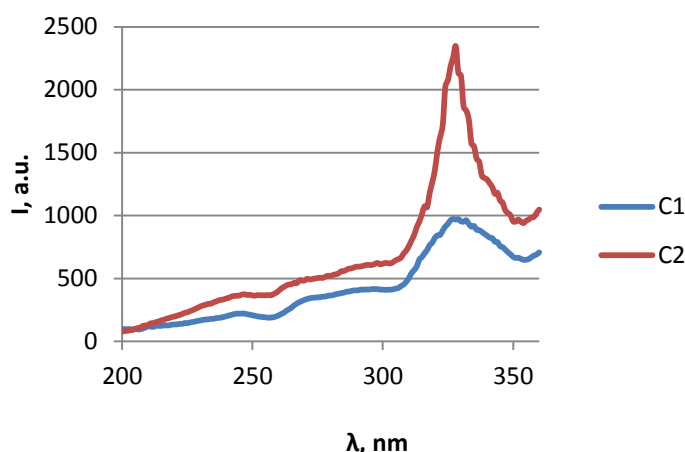


Figure 11 - The intensity spectrum of the incident flux with different rhodamine concentrations. Luminescence wavelength $\lambda_{em}=630$ nm

An analogous form of the spectrum indicates the correctness of the measurements. As a basis, the spectrum with concentration C1 is chosen for the luminescence wavelength $\lambda_{em} = 580$ nm, since at the lower concentration of rhodamine C2, at 320 nm and further, the optical density decreases to zero (Fig. 5), which introduces an error in measurements.

The spectral characteristic of the radiation incident on the sample was found and illustrated in Figure 12.

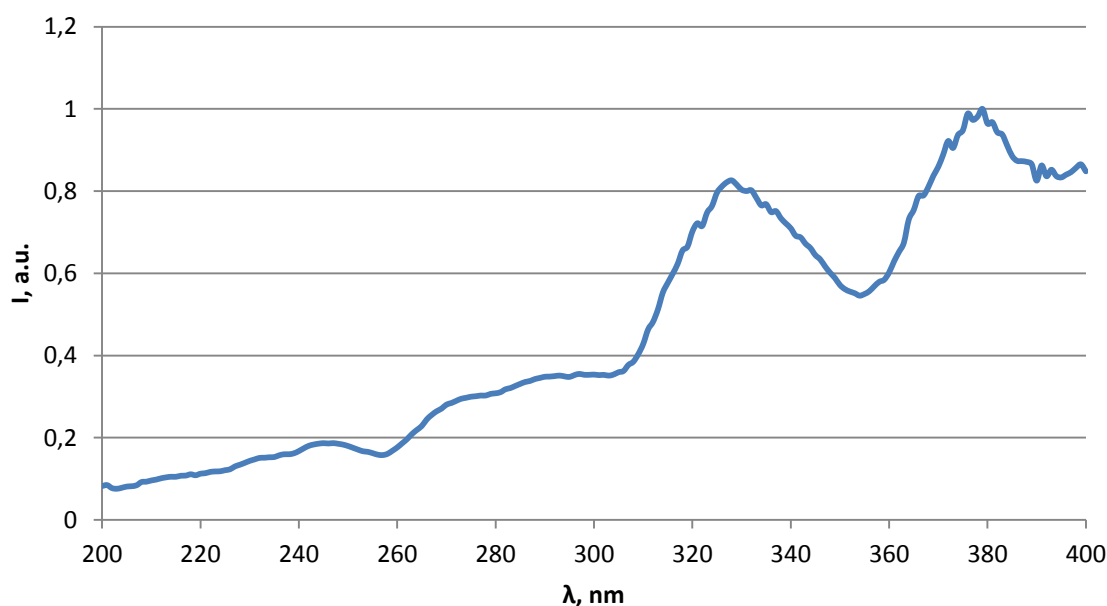


Figure 12 - Spectral characteristic of incident on a sample radiation from a pulsed xenon lamp of the Agilent Cary Eclipse spectrofluorimeter

It should be noted, that the obtained characteristic is not applied only for the lamp, but for the “monochromator - pulse xenon lamp” system. If it would be necessary to use another monochromator, the spectrum would be different.

The spectral characteristic obtained in Fig. 12 is the desired curve for the graduation. Further, during the measurements, in order to restore the true excitation spectrum of the sample, it is necessary to multiply this spectrum and the experimentally obtained spectrum.

2.2. Exploratory procedure for measuring the spectra of photoluminescence and excitation spectra of photoluminescence at $T=20\ldots 300\text{K}$

Data at low temperatures from 20 to 300 K, which are necessary for obtaining more information about the luminescence mechanism, could not be obtained with the Agilent Cary Eclipse spectrophotometer.

The luminescence was measured in a cryostat (Fig.13). Therefore, a stationary xenon lamp was used to study photoluminescence at low temperatures. The required wavelength from the spectrum of the xenon lamp was selected using the MDR-204

monochromator. The luminescence was measured with the help of another monochromator. The functional diagram of the installation (without a cryostat and photomultiplier) is explained in Fig. 14.

Monochromators operate at the spectral range of 190-5000 nm, also the PC software is provided for processing the results.

To maintain the chosen low temperature, a cryostat was used, which is a stainless steel vacuum chamber with quartz windows for optical measurements. The accelerator is connected to the lower flange of the chamber in such way that the vacuum diode of the accelerator and the chambers constitute a single volume. Cooling of the samples to temperatures in the range of 20...300 K is carried out by the industrial microcryogenic system MCMR-150N-5/20. The ISS operates in the following way: the cryoagent (helium) compressed in a compressor plant passes through the adsorber to the microcooler, where it expands as the temperature decreases, as a result of which the flanges of stages 1 and 2 of the microcooler are cooled. From the microcooler, the return flow of the cryogen is returned through the pipeline through the filling device to the compressor unit. Then the cycles are repeated and when the mode 1 is reached, the stage is cooled to 40-80 K, and the second stage is cooled to 15-20 K.



Figure 13 - Equipment for low temperatures experiments

The excitation path consists of the light source, a lens and a monochromator. The source is a stationary xenon lamp, the used monochromators - MDR-204. The measuring path consists of a lens and a photomultiplier.

Graduation of the system for studying the excitation spectra at low temperatures

Before starting the work on the developed installation, it was calibrated.

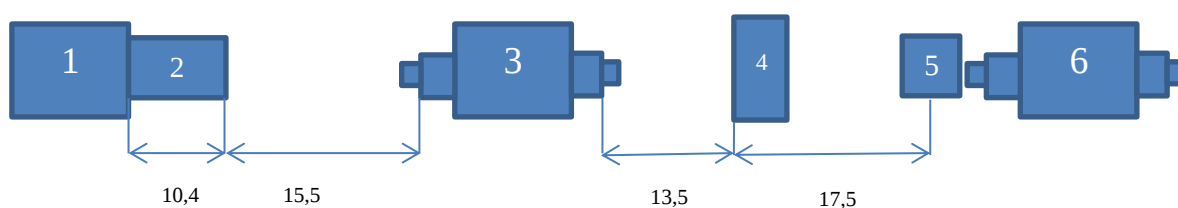


Figure 14 - Functional scheme of the system. 1 – light source, 2,4 – lenses, 3 – monochromator, 5 – sample, 6 – light detector

The installation, with the help of which the calibration was carried out, is shown in Fig. 14. Taking into account all distances between the components is needed. Distances have to be considered in further measurements, because the lenses are not corrected for chromatic aberration.

During the calibration process, the solution of rhodamine g6 with a concentration C1 was used as a sample (Chapter 1). The calibration was performed in two cases: in the first case - as shown in the diagram (Fig. 15), in the second one using the same scheme, but with a light guide additionally.

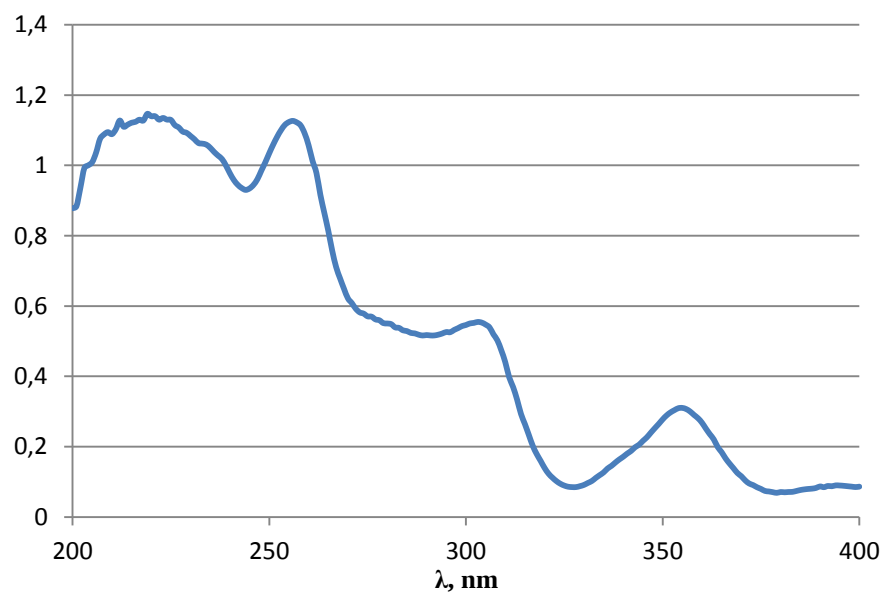


Figure 15 - Optical density of the solution at the concentration of rhodamine C1

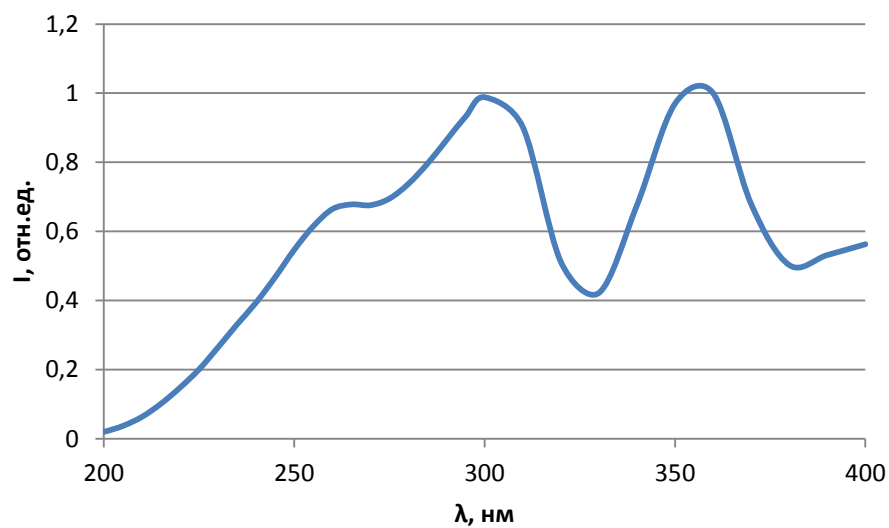


Figure 16 - The radiation spectrum of a solution obtained without the use of an optical fiber. The luminescence wavelength $\lambda_{em} = 610$ nm

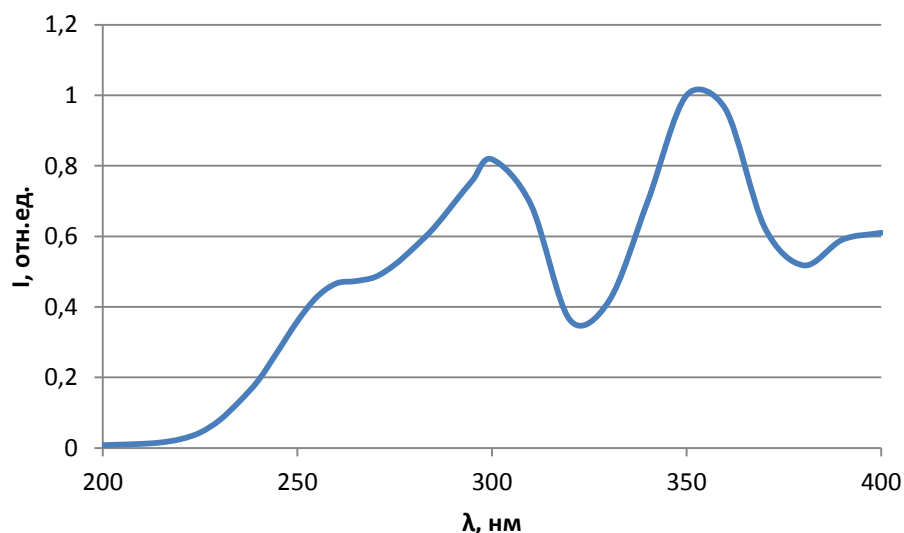


Figure 17 - The radiation spectrum of a solution obtained with the use of an optical fiber. The luminescence wavelength $\lambda_{em} = 610$ nm

The spectral characteristic obtained in Fig. 17 is the desired curve for the graduation. Further, during the measurements, in order to restore the true excitation spectrum of the sample, it is necessary to multiply this curve and the experimentally obtained spectrum.

3. Experimental data

During the period of making experiments, 7 different samples were explored. In this chapter, to illustrate the principle, there are some experimental graphs with the descriptions.

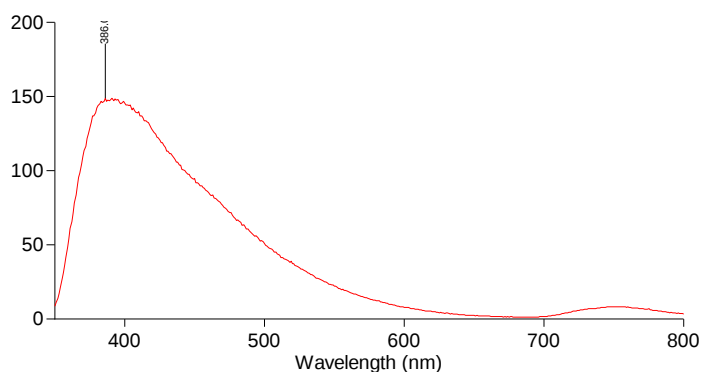


Figure 18 - Luminescence of LiF:O₂ crystal at an excitation wavelength $\lambda_{ex} = 250$ nm

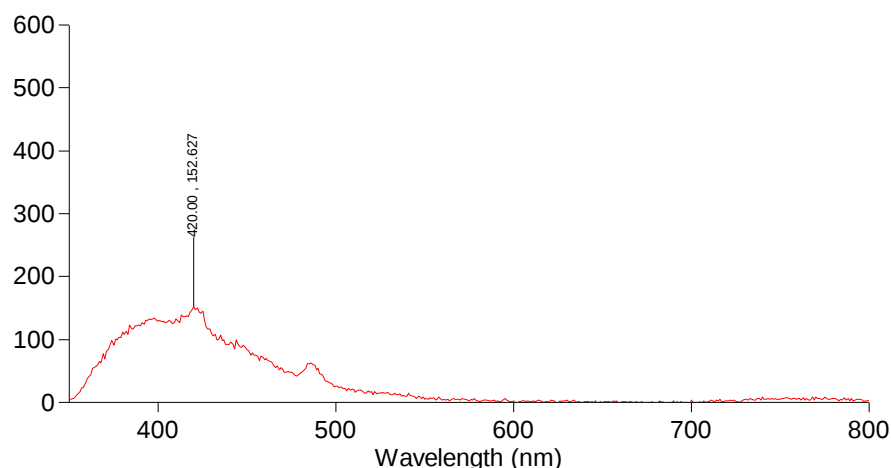


Figure 19 - Luminescence of LiF:O₂ crystal at an excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 250$ nm without excitation filter

In figures 18 and 19 we could observe almost the same excitation conditions. The only thing which is different is that in the second case excitation filter was not used. Due to this fact, there are two external peaks at the wavelength 420 and 490 nm. Existence of these peaks is explained by the fact that without filter scattered light occurs and could dramatically change the measurement results.

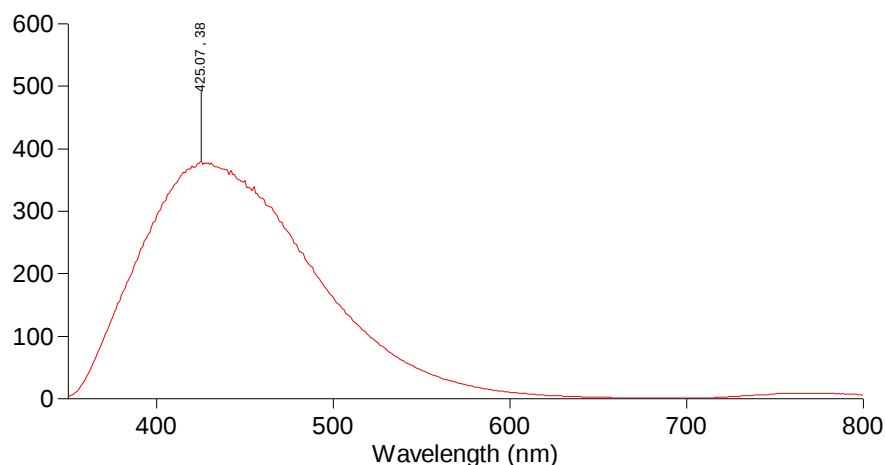


Figure 20 - Luminescence of LiF:WO₃ crystal at the excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 250$ nm

To find out the real spectra of Wolfram, deducting the oxygen luminescence band is needed. The result is illustrated in Figure 21.

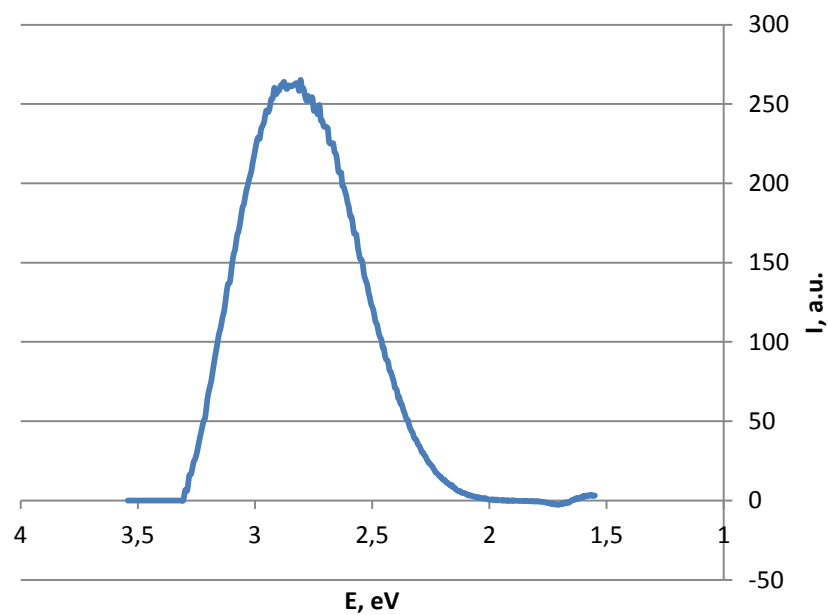


Figure 21 - Luminescence of LiF:WO₃ crystal at an excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 250$ nm without influence of the oxygen complex

The same procedure is done for another sample.

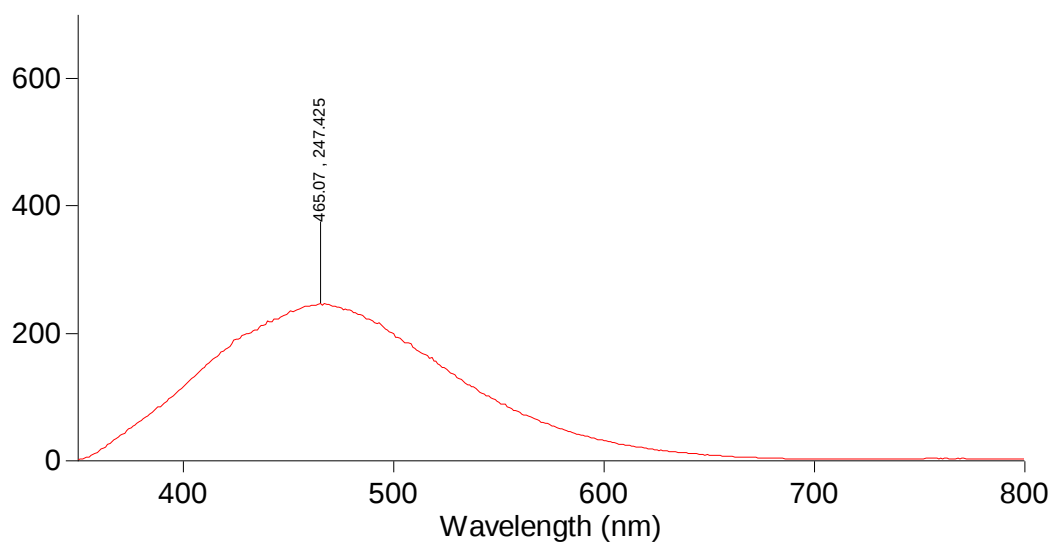


Figure 22 - Luminescence of LiF:TiO₂ crystal at the excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 250$ nm

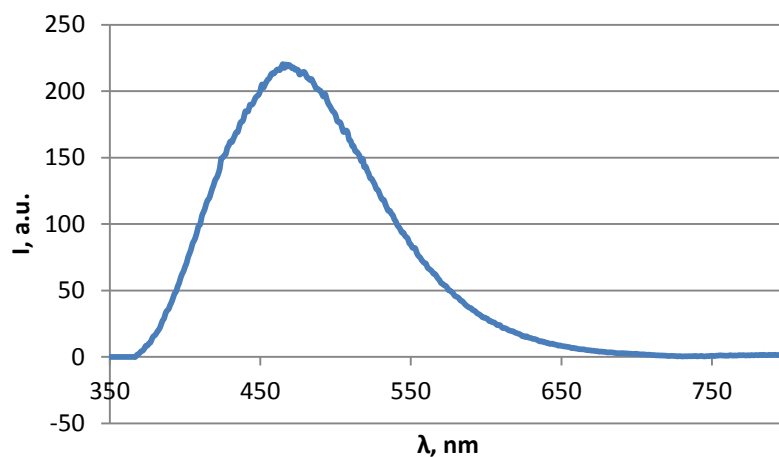


Figure 23 - Luminescence of LiF:TiO₂ crystal at the excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 250$ nm without influence of the oxygen complex

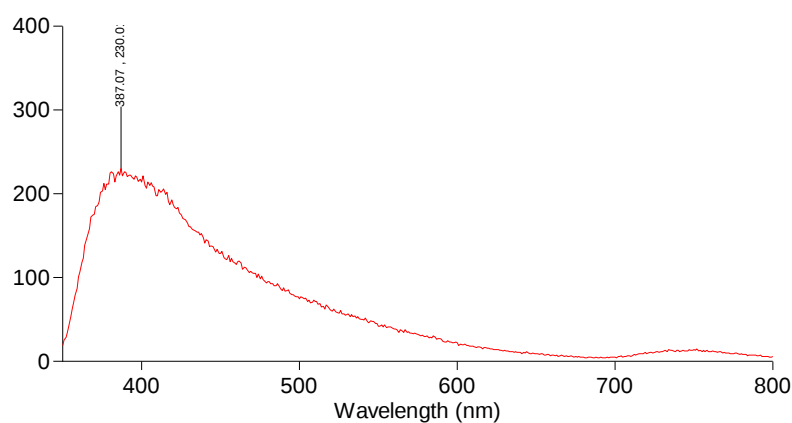


Figure 24 - Luminescence of LiF:Fe₂O₃ crystal at the excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 240$ nm

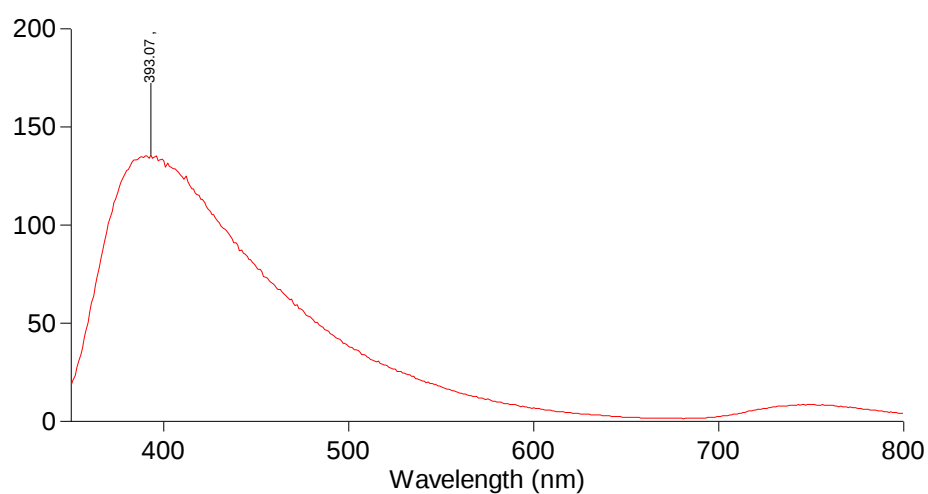


Figure 25 - Luminescence of LiF:OH crystal at the excitation wavelength $\lambda_{\text{ex}} = 250$ nm

Приложение Б

Таблица 5 – календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работы	Исполнитель (ответственный)	Календарные дни, T_k	октябрь			ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Зав. кафедры	2																								
2	Студент	9																								
3	Студент	5																								
4	Руководитель	2																								
5	Руководитель	5																								
6	Студент	18																								
7	Студент	6																								
8	Студент	38																								
9	Руководитель	19																								
10	Студент	38																								
11	Руководитель	5																								
12	Руководитель	11																								
13	Руководитель	5																								
14	Руководитель	3																								

Приложение В

Таблица 1 - Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых, вспомогательных зданий [2]

Помещения	Плоскость (Г – горизонтальная, В – вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	Разряд и подразряд зрительно работы	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
			Освещенность рабочих поверхностей, лк		Цилиндрическая освещенность, лк	Объединенный показатель дискомфорта URG, не более	Коэффициент пульсации и освещенности, не более	КЕО e_n , %		КЕО e_n , %	
			При комбинированном освещении	При общем освещении				При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
13. Лаборатории: органической и неорганической химии, термические, физические, спектрографические, стилометрические, фотометрические, микроскопные, рентгеноструктурного анализа, механические и радиоизмерительные электронных устройств, препаратормские	Г-0,8	А-2	500/300	400	-	21	10/15	3,5	1,2	2,1	0,7