

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет**  
**Кафедра физических методов исследования твёрдого тела**



УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ, д.ф.-м.н  
В.Е.Блинов  
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**СПЕЦПРАКТИКУМ 3**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	36			16	18			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 18 часов										
Компетенции ПК-2										

Ответственный за образовательную программу,  
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	5
5. Перечень учебной литературы. ....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	8

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Спецпрактикум 3» предназначена для практического освоения студентами-физиками основ научного эксперимента и знакомство с современным научным оборудованием для рентгенографических, спектральных исследований твердотельных объектов.

Цели дисциплины – дать студентам представления об экспериментальных возможностях и назначении различных физических методов исследования (спектроскопия ФМР и ЯМР, рентгенофотоэмиссионная спектроскопия), практические навыки работы на современном оборудовании для выполнения исследовательских работ (рентгеновские дифрактометры, спектрометры), навыки интерпретации экспериментальных данных с использованием стандартных методик.

Знания и навыки, получаемые при выполнении лабораторных работ в рамках данного спецпрактикума, необходимы для дальнейшей подготовки квалификационной работы бакалавра.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ПК-2</b> Способность использовать специализированные знания в области физики при решении научных и практических задач в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>ПК -2.2.</b> Применяет теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p><b>ПК -2.3.</b> Использует специализированные знания в области физики при выборе методов расчета, проведении статистического анализа экспериментальных данных в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> возможности и основные блоки устройства современных ЯМР, ЭПР и ФМР спектрометров, вакуумных рентгеновских фотоэлектронных спектрометров; основные этапы и методики проведения научного эксперимента этими методами, принципы обработки данных и работы с современными базами данных.</p> <p><b>Уметь</b> готовить и выполнять эксперименты на моно- и поликристаллических образцах, записывать спектры РФЭС, ЯМР, ЭПР; пользоваться программным обеспечением для обработки полученных РФЭС, ЯМР и ЭПР спектров, составить и защитить научный отчет.</p> <p><b>Владеть</b> навыками применения методик вышеописанных методов исследования в научно-исследовательской деятельности; программными комплексами для обработки экспериментальных спектральных данных.</p>

Лабораторные работы, входящие в дисциплину «Спецпрактикум 3», выполняются непосредственно в научно-исследовательских лабораториях Института катализа СО РАН (базового института кафедры физических методов исследования твёрдого тела). Занятия идут в интерактивной форме в составе малых групп (2-4 человека). Преподавателем описывается план предстоящей работы, ставятся задачи. Обсуждаются способы решения поставленных задач, оптимальность предложенных решений. Умение ответить на вопросы сокурсников и преподавателя развивает навыки, которые будут необходимы в дальнейшей профессиональной деятельности студента.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал практических работ увязывается с современными исследованиями в данной области.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Спецпрактикум 3» реализуется в течение 7-го семестра для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика». Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по электродинамике, квантовой физике, кристаллографии, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, численные методы, теория вероятностей и математическая статистика). Он должен предшествовать прохождению производственной практики и выполнению квалификационной работы бакалавра, т.к. дает необходимые знания и навыки для проведения научных исследований.

## 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	36			16	18			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 18 часов										
Компетенции ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лабораторные занятия, самостоятельная работа студента, зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного выполнения;
- промежуточная аттестация: зачёт.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачётная единица.

- лабораторные занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;

- промежуточная аттестация (зачёт) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (лабораторные занятия, зачёт) составляет 18 часов.

#### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Знакомство с методом ЭПР, устройством спектрометра, изучение спектров ЭПР радикалов.	1-2	4		2	2	
2	Изучение двумерных ферромагнитных структур (магнитных пленок) методом ферромагнитного резонанса	3-4	4		2	2	
3	Основы работы с данными методов ЭПР и ФМР, обработка спектров, определение ключевых характеристик образцов	5-6	4		2	2	
4	Знакомство с технической базой импульсного ЯМР спектрометра. Влияние изотропных взаимодействий на спектры ЯМР.	7-8	4		2	2	
5.	Особенности ЯМР спектроскопии в твердом теле. Влияние анизотропных взаимодействий на спектры ЯМР, Изучение базовых методик ЯМР твердого тела: спин-эхо, спектроскопия широких линий, вращения под магическим углом, кросс-поляризация.	9-10	4		2	2	
6.	Особенности ЯМР спектроскопии ядер со спином > 1/2. Знакомство с продвинутыми методиками ЯМР твердого тела: кросс-поляризация, квадрупольное эхо, двойное и динамическое вращение. Шкалы хим. сдвигов важнейших ядер.	11-12	4		2	2	
7.	Знакомство с технической базой рентгеновского фотоэлектронного спектрометра. Получение и интерпретация РФЭС спектров металлических поверхностей.	13-14	4		2	2	
8.	Особенности РФЭС спектроскопии при исследовании многокомпонентных систем, подзаярка поверхности. Определение химического состава оксидных систем методом РФЭС. Определение степени окисления катионов металлов.	15	4		2	2	

9.	Подготовка отчета.	16-17	2			2	
10.	Зачёт	17	2				2
<b>Всего</b>			<b>36</b>		<b>16</b>	<b>18</b>	<b>2</b>

### Программа лабораторных занятий (16 часов)

#### Лабораторная работа № 1.

Знакомство с техникой проведения ЭПР эксперимента, устройством спектрометра. Получение спектров ЭПР органических радикалов в жидкой и твердой фазах. В качестве базового объекта для исследования используются образцы радикалов ( $S=1/2$ ).

**Оборудование:** ЭПР спектрометр Bruker “Elexsys”-500. (2 часа)

#### Лабораторная работа № 2.

Определение эффективного диаметра ион-радикала  $VO^{2+}$  в растворах сульфата ванадила. Знакомство с основами анализа данных метода ЭПР. Методиками расчета спектров ЭПР.

**Оборудование:** ЭПР спектрометр Bruker “Elexsys”-500. (2 часа)

**Лабораторная работа № 3.** Знакомство с методом ФМР, знакомство с основами анализа систем на основе дисперсных магнетиков, особенности метода ФМР при исследовании дисперсных систем. Определение магнитных и размерных характеристик дисперсного ферромагнетика.

**Оборудование:** ЭПР спектрометр Bruker “Elexsys”-500. (2 часа)

#### Лабораторная работа № 4.

Знакомство с технической базой импульсного ЯМР спектрометра. Влияние изотропных взаимодействий на спектры ЯМР. Влияние изотропных взаимодействий и радиочастотных импульсов на спектры ядер со спином  $1/2$ .

**Оборудование:** импульсный ЯМР спектрометр Bruker “Avance”-400. (2 часа)

#### Лабораторная работа № 5.

Особенности ЯМР спектроскопии в твердом теле. Влияние анизотропных взаимодействий на спектры ЯМР. Подготовка поликристаллического образца. Запись и анализ  $^{51}V$  ЯМР спектра поликристаллического  $NaVO_3$  в статических условиях и с вращением под магическим углом.

**Оборудование:** импульсный ЯМР спектрометр Bruker “Avance”-400. (2 часа)

#### Лабораторная работа № 6.

Особенности ЯМР спектроскопии ядер со спином  $> 1/2$ . Знакомство с продвинутыми методиками ЯМР твердого тела: кросс-поляризация, квадрупольное эхо, двойное и динамическое вращение. Знакомство со шкалами химическим сдвигов важнейших ядер:  $^1H$ ,  $^{13}C$ ,  $^{27}Al$ ,  $^{29}Si$ ,  $^{31}P$ ,  $^{51}V$ .

**Оборудование:** импульсный ЯМР спектрометр Bruker “Avance”-400. (2 часа)

#### Лабораторная работа № 7.

Знакомство с устройством вакуумного фотоэлектронного спектрометра. Подготовка и загрузка образца. Очистка поверхности с помощью ионного травления. Запись РФЭС спектров поверхности металлической фольги с использованием монохроматизированного излучения. Получение и интерпретация РФЭС спектров металлических поверхностей.

**Оборудование:** рентгеновский фотоэлектронный спектрометр SPECS. (2 часа)

#### Лабораторная работа № 8.

Определение химического состава оксидных систем методом РФЭС. Знакомство с устройством системы компенсации заряда. Подготовка и загрузка образца – высокодисперсного порошка. Запись РФЭС спектров образца с использованием системы компенсации заряда. Интерпретация полученных спектров.

**Оборудование:** рентгеновский фотоэлектронный спектрометр SPECS. (2 часа)

### Самостоятельная работа студентов (18 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	8
Подготовка отчётов по выполненным работам	8
Подготовка к зачёту	2

#### 5. Перечень учебной литературы.

1. Дзюба С.А. Основы магнитного резонанса, Учебное пособие. - Новосибирск: НГУ, 2010. - 294 с., ISBN 978-5-94356-844-2 (30 экз.)
2. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, / [Сих М. П., Бриггс Д., Ривьер Дж. К. и др.] ; под ред. Д. Бриггса, М. П. Сиха; пер. с англ. под ред. В. И. Раховского, И. С. РезаМосква : Мир, 1987598 с. : ил. ; 22 см. (3 экз.)

#### 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

3. Мазалов Л.Н., Рентгеновские спектры и химическая связь, Новосибирск, Наука, 1982 - 110 с.

#### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

##### 7.1 Современные профессиональные базы данных

1. <http://www.ccp14.ac.uk/index.html>
2. <http://www.iucr.org/iucr-top/>
3. *National Institute of Standard and Technology*. NIST, 1991. <https://www-s.nist.gov>.
4. Электронная база кристаллоструктурных данных для неорганических соединений ICSD. *Inorganic Crystal Structure Database*, ICSD, Release 2008, Fachinformationszentrum Karlsruhe, D-1754 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany, 2008.

5. Международная электронная база порошковых рентгенографических данных PDF. *Powder Diffraction File. PDF-2/Release 2009.* // International Centre for Diffraction Data. USA. 2009.
6. Таблица основных сведений о магнитных изотопах <https://nmr.cemhti.cnrs-orleans.fr/dmfit/Tables/TableIsotopes.aspx>
7. Таблица значений энергии связи химических элементов <https://xpssimplified.com/>

## **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Пакет программ EasySpin для моделирования ЭПР спектров <https://easyspin.org>.

Пакет программ CasaXPS для обработки РФЭС спектров <https://casaxps.com>.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

3. Лаборатории.

4. Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***



Текущий контроль осуществляется посредством проверок отчётов, составленных обучающимися к каждому лабораторному практикуму, о работе, проведённой на предыдущем занятии. На каждом занятии отчёты разбираются, задаются контрольные вопросы на знание материала.

**Промежуточная аттестация**

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-2 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области спектроскопии ЭПР, ФМР, ЯМР, РФЭС в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачёте. Зачёт проводится в конце семестра в зачётную неделю в устной форме. При получении зачета учитываются результаты текущего контроля: должны быть оформлены и сданы отчеты по всем лабораторным работам. Помимо этого, обучающиеся должны ответить на контрольные вопросы непосредственно во время зачета. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале «сформирована / не сформирована». Зачёт ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Это означает успешное прохождение студентом промежуточной аттестации.

**Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины**

**Таблица 10.1**

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
<b>ПК -2.2.</b> Применяет теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> возможности и основные блоки устройства современных ЯМР, ЭПР и ФМР спектрометров, вакуумных рентгеновских фотоэлектронных спектрометров; основные этапы и методики проведения научного эксперимента этими методами, принципы обработки данных и работы с современными базами данных. <b>Уметь</b> готовить и выполнять эксперименты на моно- и поликристаллических образцах, записывать спектры РФЭС, ЯМР, ЭПР; пользоваться программным обеспечением для обработки полученных РФЭС, ЯМР и ЭПР спектров, составить и защитить научный отчёт.	Проведение лабораторных работ, зачет.
<b>ПК-2.3.</b> Использует специализированные знания в области физики при выборе методов расчета, проведении статистического анализа экспериментальных данных в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Владеть</b> навыками применения методик вышеописанных методов исследования в научно-исследовательской деятельности; программными комплексами для обработки экспериментальных спектральных данных.	Проведение лабораторных работ, зачет.

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Спецпрактикум 3».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 2.2	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

## 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### Примеры вопросов на защите отчёта выполненных лабораторных работ

1. Эффект Зеемана для ядер.
2. Величина магического угла в ЯМР.
3. Количество линий в спектре ядра со спином 1 с учетом квадрупольного взаимодействия 1 порядка.

### Примерные вопросы на зачёте

- Основные характеристики ферромагнетика. Процессы намагничивания магнито-мягких и магнито-жестких материалов. Причины гистерезиса.
- Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) в жидкости.
- Каков диапазон частот ЯМР?
- Можно ли наблюдать ЯМР в отсутствии внешнего магнитного поля? Почему?
- Спектры ЭПР хаотически ориентированных парамагнитных центров в твердом теле.
- Двойной электронно-ядерный резонанс (ENDOR).
- Каково условие 90-градусного импульса в ЯМР квадрупольных ядер?
- Чем отличается характер диполь-дипольного расщепления в ЯМР спектре для случая одинаковых и различных спинов? Какой случай следует считать промежуточным и как его надо рассматривать?

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Спецпрактикум 3»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного