

# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



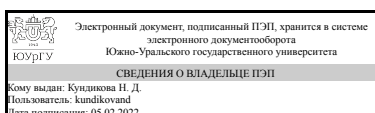
А. А. Замышляева

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины ФД.03 Современный физический эксперимент  
для направления 03.03.01 Прикладные математика и физика  
уровень Бакалавриат  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Оптоинформатика

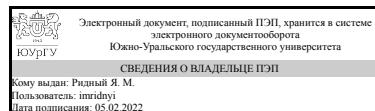
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика, утверждённым приказом Минобрнауки от 07.08.2020 № 890

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., проф.



Н. Д. Кундикова

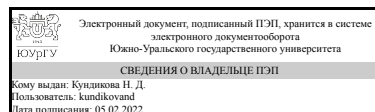
Разработчик программы,  
к.физ.-мат.н., доцент



Я. М. Ридный

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления  
д.физ.-мат.н., проф.



Н. Д. Кундикова

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целью курса является воспитание естественнонаучного мировоззрения, как основного способа познания окружающего мира. Основными задачами являются: 1) Освоение принципов работы современных измерительных приборов. 2) Знакомство с современными проблемами оптики. 3) Формирование у студентов естественнонаучной картины мира.

## Краткое содержание дисциплины

В курсе рассматриваются современные измерительные приборы и современные проблемы физики. Изучаются явления на границе раздела оптических сред, основные характеристики световодов, спектроскопия комбинационного рассеяния, зондовая сканирующая микроскопия, эллипсометрия, электронная микроскопия, методы оптической микроскопии.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе математические, методы исследований и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	Знает: принципы работы современных приборов для физических исследований, оптического, электронного и зондового сканирующего микроскопа, спектрометра комбинационного рассеяния, эллисметра. Умеет: работать на современных измерительных приборах. Имеет практический опыт: планирования и проведения физического эксперимента, выбора подходящего прибора для конкретных исследований

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.10 Общая физика. Микрофизика, 1.О.09 Общая физика. Оптика, 1.О.08 Общая физика. Электричество и магнетизм, ФД.02 Физические методы исследования, 1.О.06 Общая физика. Механика, 1.О.11 Общая физика. Макрофизика, 1.О.07 Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
------------	------------

1.О.10 Общая физика. Микрофизика

Знает: теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач микрофизики., фундаментальные понятия, законы и теории макрофизики; основные физические эксперименты, повлиявшие на развитие макрофизики. Умеет: производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач микрофизики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы., формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики. Имеет практический опыт: владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований., самостоятельно приобретать новые знания по макрофизике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов по макрофизике с их теоретическими данными.

1.О.11 Общая физика. Макрофизика

Знает: фундаментальные понятия, законы и теории микрофизики; основные физические эксперименты, повлиявшие на развитие микрофизики., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач макрофизики. Умеет: формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач макрофизики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельно приобретать новые знания по микрофизике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов по макрофизике с их теоретическими данными., владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и

	критической оценки результатов экспериментальных исследований.
1.О.06 Общая физика. Механика	<p>Знает: фундаментальные понятия, законы и теории механики; основные физические эксперименты, повлиявшие на развитие механики., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач механики. Умеет: формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач механики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельно приобретать новые знания по механике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов по механике с их теоретическими данными., владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований.</p>
1.О.09 Общая физика. Оптика	<p>Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели оптики; численные порядки величин, характерные для оптики ., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач оптики. Умеет: понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями оптики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач оптики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельной работы в физической лаборатории; культурой постановки и моделирования физических задач оптики., самостоятельной работы с аппаратурой в оптической лаборатории; владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных</p>

	экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований.
1.О.07 Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика	<p>Знает: фундаментальные понятия, законы и теории по Термодинамике и молекулярной физике., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач термодинамики и молекулярной физики. Умеет: формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач термодинамики и молекулярной физики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельно приобретать новые знания по термодинамике и молекулярной физике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов по макрофизике с их теоретическими данными., владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований.</p>
1.О.08 Общая физика. Электричество и магнетизм	<p>Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов общей физики; численные порядки величин, характерные для различных разделов общей физики., фундаментальные понятия, законы и теории электромагнетизма; основные физические эксперименты, повлиявшие на развитие общей физики. Умеет: производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач; понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями общей физики., формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики. Имеет практический опыт: самостоятельной работы с аппаратурой в физической лаборатории; навыками грамотной</p>

	обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими данными., самостоятельно приобретать новые знания по общей физике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов с их теоретическими данными.
ФД.02 Физические методы исследования	Знает: фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики, физические принципы методов измерения термодинамических, электромагнитных, оптических и структурных характеристик веществ. Умеет: выбрать рациональный способ измерения физических величин при заданных условиях эксперимента; выбирать методы исследования, необходимые для получения нужных результатов. Имеет практический опыт: обработки результатов экспериментальных исследований и сопоставления их с теоретическими данными; выбора оборудования, необходимого для получения необходимых характеристик с требуемой точностью.

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 80,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	80	80	
Лекции (Л)	32	32	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	48	48	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	53,5	53,5	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к экзамену	30	30	
Подготовка к коллоквиумам	23,5	23.5	
Консультации и промежуточная аттестация	10,5	10,5	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Явления на границе раздела оптических сред	12	4	8	0
2	Основные характеристики световодов	18	6	12	0
3	Методы оптической микроскопии	8	4	4	0

4	Электронная микроскопия	10	4	6	0
5	Эллипсометрия	10	4	6	0
6	Зондовая сканирующая микроскопия	12	6	6	0
7	Спектроскопия комбинационного рассеяния	10	4	6	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Явления на границе раздела оптических сред.	4
2	2	Основные характеристики световодов.	6
3	3	Методики оптической микроскопии.	2
4	3	Принцип работы оптического микроскопа. Разрешение. Проблемы увеличения разрешения.	2
5	4	Принцип работы электронного микроскопа. Проблемы электронной микроскопии. “Тонкий” фазовый объект в электронной микроскопии. Анализ aberrаций в электронном микроскопе. Анализ передаточной функции электронного микроскопа.	4
6	5	Теория эллипсометрического метода. Методы математической обработки результатов эллипсометрических измерений.	2
7	5	Определение оптических характеристик материалов методом эллипсометрии. Перспективы развития и проблемы эллипсометрических методов.	2
8	6	Принцип работы зондового сканирующего микроскопа. Особенности работы. Обработка полученной информации и восстановление полученных изображений. Измерительные методики.	2
9	6	Измерение рельефа поверхности с использованием контактного квазистатического метода. Измерение рельефа поверхности с использованием полуконтактного колебательного метода. Предельное разрешение АСМ. Калибровка АСМ.	2
10	6	Методики зондовой сканирующей микроскопии. Силовое взаимодействие зонда с поверхностью. Потенциал взаимодействия зонда с образцом. Режимы работы АСМ. Перспективы развития методов АСМ. Не решенные проблемы АСМ.	2
11	7	Сущность явления комбинационного рассеяния (точки зрения классической теории, с точки зрения квантовой теории). Эмпирические законы комбинационного рассеяния света. История открытия	2
12	7	Методики рамановской спектроскопии. Спектрометры комбинационного рассеяния. Перспективы развития спектральных методов	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Законы преломления и отражения. Формулы Френеля. Угол Брюстера.	4
2	1	Явления полного внутреннего отражения. Ромб Френеля. Вывод волнового уравнения.	4
3	2	Направляемые, рефрагирующие и тунеллирующие лучи. Лучевые параметры. Характеристики световодов. Уширение импульсов. Технология изготовления оптических волокон.	4
4	2	Многомодовый световод. Одномодовый световод. Планарный волновод.	4

		Волоконный световод. Ступенчатый профиль показателя преломления.	
5	2	Градиентный профиль показателя преломления. Построение лучевых траекторий. Меридиональные и косые лучи в волоконном световоде. Коллоквиум №1	4
6	3	Работа с оптическим микроскопом. Исследование объектов на оптическом микроскопе.	4
7	4	Работа с электронным микроскопом. Исследование поверхности нанокompозита на электронном микроскопе.	6
8	5	Работа с эллипсометром. Изучение свойств тонких пленок. Коллоквиум №2	6
9	6	Работа с зондовым сканирующим микроскопом. Изучение поверхности на зондовом сканирующем микроскопе	6
10	7	Изучение спектроскопии комбинационного рассеяния. Получение и анализ спектров комбинационного рассеяния алмазоподобных пленок. Коллоквиум №3	6

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	1) Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия Учеб. для вузов по спец. "Физика металлов" и "Металловедение, оборуд. и технология терм. обраб. металлов". - М.: Металлургия, 1982. - 631 с. ил. 2) Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст] Т. 1 Механика для физ. специальностей вузов Д. В. Сивухин. - 2-е изд., испр. - М.: Наука, 1979. - 519 с. ил. 3) Методические указания для самостоятельной работы по курсу "Современный физический эксперимент" в электронном виде в локальной сети кафедры.	7	30
Подготовка к коллоквиумам	1) Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия Учеб. для вузов по спец. "Физика металлов" и "Металловедение, оборуд. и технология терм. обраб. металлов". - М.: Металлургия, 1982. - 631 с. ил. 2) Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст] Т. 1 Механика для физ. специальностей вузов Д. В. Сивухин. - 2-е изд., испр. - М.: Наука, 1979. - 519 с. ил. 3) Методические указания для самостоятельной работы по курсу "Современный физический эксперимент" в электронном виде в локальной сети	7	23,5



## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	7	Текущий контроль	Коллоквиум 1	1	2	Письменный коллоквиум содержит один теоретический вопрос. На ответ отводится 30 минут. Вопрос внутри оценивается в 2 балла. Если ответ неполный, ставится 1 балл. Если ответ неверный или отсутствует - 0 баллов.	экзамен
2	7	Текущий контроль	Коллоквиум 2	1	2	Письменный коллоквиум содержит один теоретический вопрос. На ответ отводится 30 минут. Вопрос внутри оценивается в 2 балла. Если ответ неполный, ставится 1 балл. Если ответ неверный или отсутствует - 0 баллов.	экзамен
3	7	Текущий контроль	Коллоквиум 3	1	2	Письменный коллоквиум содержит один теоретический вопрос. На ответ отводится 30 минут. Вопрос внутри оценивается в 2 балла. Если ответ неполный, ставится 1 балл. Если ответ неверный или отсутствует - 0 баллов.	экзамен
4	7	Промежуточная аттестация	Экзамен	-	4	Письменный экзамен содержит два теоретических вопроса. Теоретический вопрос внутри каждого раздела оценивается в 2 балла. Если ответ неполный, ставится 1 балл. Если ответ неверный или отсутствует - 0 баллов.	экзамен

### 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	<p>Допускается определять рейтинг по дисциплине только по результатам текущего контроля. В начале экзамена выдаются билеты с вопросами. На экзамен даётся 1,5 часа, после этого студенты сдают листочки с тем, что сделали и дальнейшие разговоры проводятся с каждым студентом отдельно. Пользоваться ничем нельзя, кроме карандаша, линейки, ластика, ручки и калькулятора. Использование телефона строго запрещено. По окончании экзамена проводится апелляция.</p>	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

### 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ОПК-5	Знает: принципы работы современных приборов для физических исследований, оптического, электронного и зондового сканирующего микроскопа, спектрометра комбинационного рассеяния, эллисометра.	+	+	+	+
ОПК-5	Умеет: работать на современных измерительных приборах.	+	+	+	+
ОПК-5	Имеет практический опыт: планирования и проведения физического эксперимента, выбора подходящего прибора для конкретных исследований	+	+	+	+

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст] Т. 1 Механика для физ. специальностей вузов Д. В. Сивухин. - 2-е изд., испр. - М.: Наука, 1979. - 519 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

1. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ [Текст] учеб. пособие по направлению 22.03.01 "Материаловедение и технологии материалов" и др. направлениям И. Ю. Пашкеев и др.; под ред. Г. Г. Михайлова ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Физ. химия ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2015. - 46, [1] с. ил.

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Успехи физических наук науч. журн. Рос. акад. наук журнал. - М., 1918-
2. Письма в "Журнал технической физики" Рос. акад. наук, Отд-ние физич. наук, Физико-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе журнал. - СПб.: Наука, 1975-
3. Квантовая электроника: Квантовая электроника и ее применения Ежемес. журн. Рос. акад. наук, Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева, Ин-т общ. физики, Моск. инженер.-физ. ин-т, Междунар. учеб.-науч. лазер. центр МГУ, Ин-т лазерной физики СО РАН, НИИ лазерной физики, НПО "Астрофизика", НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха журнал. - М.: Радио и связь, 1974-
4. Оптика и спектроскопия ежемес. журн. Рос. акад. наук, Отд-ние физич. наук, Физ.-техн. ин-т им А.Ф.Иоффе РАН журнал. - СПб.: Наука, 1965-
5. Applied Optics [Текст] науч. журн. Optical Soc. of America журнал. - Easton, Pa: Optical Society of America, 1968-

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Методические пособия для самостоятельной работы студента по дисциплине "Современный физический эксперимент" в локальной сети кафедры

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Методические пособия для самостоятельной работы студента по дисциплине "Современный физический эксперимент" в локальной сети кафедры

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Елманов, Г.Н. Исследование топологии поверхности методом сканирующей атомно-силовой микроскопии: лабораторный практикум: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / Г.Н. Елманов, Б.А. Логинов, О.Н. Севрюков. — Электрон. дан. — М. : НИЯУ МИФИ, 2011. — 64 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/75758">http://e.lanbook.com/book/75758</a> — Загл. с экрана.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Корнилов, В.М. Основы сканирующей зондовой микроскопии: метод. указания. [Электронный ресурс] / В.М. Корнилов, А.Ф. Галиев. — Электрон. дан. — Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2011. — 24 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/43260">http://e.lanbook.com/book/43260</a> — Загл. с экрана.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Карпухин, С.Д. Атомно-силовая микроскопия. [Электронный ресурс] / С.Д. Карпухин, Ю.А. Быков. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. — 38 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/52243">http://e.lanbook.com/book/52243</a> — Загл. с экрана.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Магурин, В.Г. Когерентная оптика. [Электронный ресурс] / В.Г. Магурин, В.А. Тарлыков. — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2006. — 122 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/43616">http://e.lanbook.com/book/43616</a> — Загл. с экрана.
5	Дополнительная литература	IEEE Xplore Digital Library	IEEE Xplore Digital Library <a href="https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>
6	Дополнительная литература	ScienceDirect	Optical Fiber Technology. Ссылка на ресурс: <a href="http://www.sciencedirect.com/science/journal/10685200">http://www.sciencedirect.com/science/journal/10685200</a>
7	Дополнительная литература	ScienceDirect	Optics Communications. Ссылка на ресурс: <a href="http://www.sciencedirect.com/science/journal/00304018">http://www.sciencedirect.com/science/journal/00304018</a>
8	Дополнительная литература	ScienceDirect	Optics & Laser Technology. Ссылка на ресурс: <a href="http://www.sciencedirect.com/science/journal/00303992">http://www.sciencedirect.com/science/journal/00303992</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)
2. -LibreOffice(бессрочно)
3. -Maple 13(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНТИ РАН(бессрочно)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	607 (16)	проектор, компьютер, программное обеспечение PowerPoint
Практические занятия и семинары	605 (16)	Лабораторные работы на эллипсомере SE800 и комбинированном поляризационном-флуоресцентном микроскопе BX51 (Olympus)
Практические занятия и семинары	014 (2)	Спектрометр комбинационного рассеяния Spectra Raman NT-MDT
Практические занятия и семинары	445a (1)	Лабораторные работы на зондовом сканирующем (Solver PRO NT-MDT) и электронных (Phenom - FEI Company) микроскопах