

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол №3 от «12» января 2022 г.  
Зав. кафедрой



\_\_\_/Т.И. Шарипов

Согласовано:  
Председатель УМК физико-технического  
института



\_\_\_/М.Х. Балапанов

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

дисциплина Атомно-силовая микроскопия

*(наименование дисциплины)*

вариативная

*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*

**программа бакалавриата**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

*(наименование ООП ВПО направления подготовки или специальности с указанием кода)*


Профиль(и) подготовки

Цифровые технологии обработки информации

Квалификация

бакалавр

*(указывается квалификация)*

<p>Разработчик (составитель) <u>Доцент, к.ф.-м.н.</u> (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	 <p>___ / Шарипов Т.И. (подпись, Фамилия И.О.)</p>
--	--

Для приема: 2022 г.

Уфа 2022 г.

Составитель / составители: Шарипов Т.И., к.ф.-м.н., доцент кафедры физической электроники и нанофизики БашГУ.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры протокол от «12» января 2022 г. № 3



Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ / Т.И. Шарипов /

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
  - 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
  - 4.3. *Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)*
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
  - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
  - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**  
(с ориентацией на карты компетенций)

При изучении дисциплины у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

**ОПК-1** способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности

**ПК-1** способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

**ПК-2** способностью использовать основные методы радиофизических измерений

Для формирования указанных компетенций и освоения образовательной программы обучающийся должен показать следующие результаты обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать физические принципы работы всех составляющих АСМ, в том числе сканеров, зондов, двигателей подвода, систем амортизации и виброзащиты, лазерной системы слежения за зондом и систем управления	ОПК-1	
	2. Знать физические принципы работы и конструктивные схемы АСМ и их отдельных узлов	ПК-2	
	3. Знать экспериментальные приёмы получения атомного разрешения в АСМ и математические основы методов обработки и анализа АСМ - кадров	ПК-1	
Умения	1. Уметь собирать сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы из их компонент	ОПК-1	
	2. Уметь настраивать рабочие параметры и получать кадры рельефа и соответствующие ему карты физических характеристик образцов	ПК-1, ПК-2	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть практическими навыками сборки и настройки АСМ	ОПК-1	
	2. Владеть практическими навыками использования АСМ для проведения физических экспериментов	ПК-1, ПК-2	

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Цели курса:

- Ознакомление студентов с методами зондовой микроскопии (сканирующей туннельной, атомно-силовой, сканирующей ближнепольной);
- Формирование практических навыков работы на современных сканирующих зондовых микроскопах.

Задачи курса:

- Изучение физических основ зондовой микроскопии ;
- Изучение основных измерительных методик;
- Ознакомление с современными зондовыми микроскопами;
- Приобретение основных приемов работы на современных зондовых микроскопах.

Дисциплина «Атомно-силовая микроскопия» относится к *вариативной* части рабочего учебного плана. Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 семестре.

Для её успешного освоения требуется владение ряда компетенций бакалавра по направлению 03.03.03 “Радиофизика”. Знания, умения и навыки, полученные при изучении курса, являются опорными для прохождения научно-исследовательской практики и написания выпускной квалификационной работы.

Для освоения данной дисциплины студенту, кроме знания разделов общей и теоретической физики необходимы знания физики полупроводников, умение решать простейшие дифференциальные уравнения, начальные сведения по теории вероятностей и статистике, по эмиссионной электронике, по кристаллографии

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

#### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

##### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

**ОПК-1** способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«зачтено»
Первый этап (начальный уровень)	1. Знать устройство атомно-силового микроскопа (АСМ). 2. Основные измерительные методики АСМ и получаемую информацию	0-59 баллов	60-100 баллов
Второй этап (базовый уровень)	1. Уметь анализировать АСМ-изображения поверхностей, в т.ч. устранять некоторые артефакты.	0-59 баллов	60-100 баллов
	2. Уметь проводить калибровку атомно-силового микроскопа	0-59 баллов	60-100 баллов
Третий этап (повышенный уровень)	1. Владеть навыками работы с зондовыми микроскопами.	0-59 баллов	60-100 баллов
	2. Владеть навыками калибровки с помощью тест-объектов, настройки на пользовательском уровне.		

**ПК-1** способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«зачтено»
Первый этап (начальный уровень)	знать принципиальные схемы ЦАП и АЦП, применяемые в АСМ.	0-59 баллов	60-100 баллов
Второй этап (базовый уровень)	1. Уметь понимать физические принципы работы отдельных составляющих сканирующих зондовых микроскопов.	0-59 баллов	60-100 баллов
	2. Уметь использовать правильную терминологию, определения,		

	обозначения в АСМ		
	3. Уметь определять и оценивать шероховатость поверхности на полученном АСМ-изображении		
Третий этап (повышенный уровень)	1. Владеть навыками настройки системы регистрации отклонений балки кантилевера.	0-59 баллов	60-100 баллов
	2. Владеть навыками выбора режима сканирования: направление, скорость, шаг, область сканирования.		

#### **ПК-2** способностью использовать основные методы радиофизических измерений

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«зачтено»
Первый этап (начальный уровень)	Знать физические принципы работы отдельных составляющих сканирующих зондовых микроскопов	0-59 баллов	60-100 баллов
Второй этап (базовый уровень)	1. Уметь применять цифровые фильтры к полученным АСМ-изображениям.	0-59 баллов	60-100 баллов
	2. Уметь различать цифровые фильтры по принципу действия.		
	3. Уметь формулировать обоснованные технические требования к системе виброзащиты		
Третий этап (повышенный уровень)	1. Владеть навыками проведения измерений топографии поверхности графита.	0-59 баллов	60-100 баллов
	2. Владеть навыками по настройке режимов работы микроскопа		

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины.

Шкалы оценивания:

*для зачета:*

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),  
не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

#### **4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	1. Знать физические принципы работы отдельных составляющих сканирующих зондовых микроскопов 2. Знать устройство атомно-силового микроскопа (АСМ). 3. Основные измерительные методики АСМ и получаемую информацию	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle. Защита отчетов по лабораторным работам
2-й этап Умения	1. Уметь применять цифровые фильтры к полученным АСМ-изображениям.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle. Защита отчетов по лабораторным работам
	2. Уметь различать цифровые фильтры по принципу действия.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle. Защита отчетов по лабораторным работам
	3. Уметь формулировать обоснованные технические требования к системе виброзащиты	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle.
3-й этап Владеть навыками	2. Владеть навыками проведения измерений топографии поверхности графита.	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle. Защита отчетов по лабораторным работам
	2. Владеть навыками по настройке режимов работы микроскопа	ОПК-1, ПК-1, ПК-2	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle. Защита отчетов по лабораторным работам

#### 4.3 Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

Зачет является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Примерные вопросы для подготовки к тестам и защите отчетов по лабораторным работам:

1. Классификация всех видов микроскопов. Семейство СЗМ.
2. Основные компоненты АСМ. Структура АСМ.



3. Эффект туннелирования электронов.
4. Режим зонда Кельвина.
5. АСМ с проводящим зондом.
6. Пьезодвижители: конструкция, виды.
7. Измерение работы выхода.
8. Сканирующая туннельная спектроскопия.
9. Виды зондов всех микроскопий. Методы их изготовления.
10. Принцип действия атомно-силового микроскопа. Режимы работы АСМ.
11. Литография. Виды литографий. Применение.
12. Артефакты в СЗМ. Назовите причины их появления и методы устранения.
13. Для чего используется обработка изображений в АСМ? Назовите стандартные процедуры обработки изображения.
14. Какие факторы вносят искажения в реальный рельеф поверхности. Назовите условия возникновения общего наклона на поверхности; как его устранить?
15. Для чего необходимо проводить калибровку (тестирование)? Какие природные объекты можно использовать в качестве тестовых структур?
16. Определение шероховатости поверхности. Какие параметры используются в АСМ для оценки шероховатости исследуемой поверхности?
17. Жидкостная ячейка.
18. Вакуумная туннельная микроскопия.
19. Многопроходные методики.
20. Требуется ли для проведения СТМ-исследований определенная степень вакуума? Если да, то какая? Если нет, то почему?
21. Опишите работу цепи обратной связи в СТМ, в АСМ.
22. Сравните методы исследования топографии поверхности методом СТМ при постоянной высоте и постоянном токе.
23. Перечислите известные Вам силы взаимодействия зонд - образец и укажите их зависимость от расстояния. Нарисуйте типичную кривую подвода-отвода и расскажите, каким силам какой участок отвечает.
24. Расскажите об устройстве зонда АСМ и назовите типичные геометрические размеры его элементов. Как производятся зонды АСМ?
25. Расскажите про ползучесть (creep), гистерезис и нелинейность пьезокерамики; дрейф зонда относительно образца. К каким артефактам на АСМ-изображениях они приводят?
26. Как происходит детектирование изгибов зонда в АСМ? Представив световое пятно на фотодетекторе круглым, нарисуйте зависимость сигнала DFL от вертикального изгиба зонда.
27. Эффект уширения профиля и эффект занижения высот.
28. Виды калибровочных решеток. Как производится калибровка АСМ по трем направлениям?

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов, полученных в рамках текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра, и баллов, полученных на зачете.

За работу в семестре студент получает до 100 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия на студенческой научной конференции по физике или за публикацию статьи.

### ***Задания для проведения тестов (письменных опросов)***

#### Описание теста.

Содержит задания для текущего контроля усвоения материала. Тест (раздел 1) проводится в компьютерном классе №412 в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle.

Тест рассчитан на 40 минут, состоит из 26 вопросов. Каждый вопрос оценивается в 0,8 балла. На каждый вопрос теста может быть от 2 до 4 вариантов ответа; нужно выбрать только один вариант ответа.

#### *Пример вопроса теста.*

10. Кантилевер в качестве зонда применяется в:

- a. АСМ
- b. СТМ
- c. СБОМ

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **Основная литература:**

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Техносфера, 2010. – 336 с. (14 экз.)
2. Ю.П. Волков, В.Б. Байбурин. Универсальный информационно-измерительный комплекс сканирующей зондовой микроскопии: монография. – Саратов: Издательский Дом «Райт-Экспо», 2014. – 220 с.
2. Дедкова Е.Г. Приборы и методы зондовой микроскопии. М.: Можайский полиграфический комбинат, 2011.
3. Р.З. Бахтизин, Р.Р. Галлямов. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии: Учебное пособие. – Уфа: РИО БашГУ, 2004. – 84 с.
4. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. - г. Нижний Новгород, Институт физики микроструктур РАН, 2004 г. - 110 с.
5. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 431 с. ЭБС «Лань», изд. 3-е (электронное)
6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – Изд. 2-е, испр. – М.:Физматлит, 2009. – 416 с. (5 экз.)

#### **дополнительная литература:**

7. Бухараев А.А., Овчинников Д. В., Бухараева А.А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей силовой микроскопии (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов . 1997 Т. 63, № 5;
8. Галлямов М.О., Яминский И. В. Сканирующая зондовая микроскопия: основные принципы, анализ искажающих эффектов;
9. Эдельман В.С. Сканирующая туннельная микроскопия ( обзор) // ПТЭ . 1989, № 5;
10. Nonnenmacher M., O'Boyle M.P., Wickramasinghe H.K. Kelvin probe microscopy // Appl. Phys. Lett. — 1991. — V. 58 2921;
11. Weilie Zhou and Zhong Lin Wang. Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications. — NY: Springer, 2006.

### **5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. nano-obr.ru – междисциплинарное обучение в сфере нанотехнологий;
2. <http://www.ntmdt.ru> – сайт крупнейшего в России производителя сканирующих зондовых микроскопов;
3. <http://www.nanoscopy.org>
4. Scopus.com
5. bashlib.ru – сайт ЭБС БашГУ

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

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Аудитория 313		Доска, мел, мультимедийный проектор, акустическая система, экран; учебная и научная литература по курсу; видеозаписи, связанные с программой курса, компьютерные демонстрации, технические возможности для их просмотра и прослушивания, программы: Windows, MS Power Point
Лаборатория №313	Лекции Лабораторные работы	Для проведения лабораторного практикума предназначена лаборатория, укомплектованная лабораторными стендами, измерительными приборами (осциллографы, мультиметры, и т.д.), генераторами электрических колебаний, источниками питания, паяльными станциями. Наличие компьютерных программ общего назначения. Лабораторный стенд для изучения основ векторной литографии.
Лаборатория №312 - НОЦ «Нанопластики и нанотехнологий»	Лабораторные работы	Сканирующие зондовые микроскопы Solver P47 и Ntegra-Prima. Персональные компьютеры с программным обеспечением для обработки СЗМ-изображений

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Атомно-силовая микроскопия» на 7 семестр  
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Рабочую программу осуществляют:

Лекции: доцент, к.ф.-м.н., Шарипов Талгат Ишмухамедович,  
(должность, уч. степень, ф.и.о.)

лабораторные занятия: доцент, к.ф.-м.н., Шарипов Талгат Ишмухамедович  
(должность, уч. степень, ф.и.о.)

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	36,2
лекций	18
практических/ семинарских	-
лабораторных	18
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	35,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	-

Форма контроля:

зачет 7 семестр

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма текущего контроля успеваемости
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение История развития зондовой микроскопии. Физические основы АСМ	3		3	6	Л. 1 Л. 2 Л. 3 Л. 4 Л. 5	По списку вопросов подготовка к тесту	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle
2	Структурная схема АСМ и СТМ. Аппаратура для СТМ. Измерительные методики СТМ	3		3	6	Л. 1 Л. 6 Л. 9	Подготовка к допускам к лабораторным работам	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle
3	Аппаратура для АСМ. Измерительные методики АСМ	3		3	6	Л. 7 Л. 6 Л. 8	расчет параметров сканирования в ходе выполнения отчетов по лабораторным работам.	Тест в Системе централизованного тестирования БашГУ Moodle

4	Метрологическое обеспечение АСМ. Калибровка микроскопов. Тестовые решетки. Природные объекты для калибровки.	3		3	6	Л. 2 Л. 4 Д.Л. 1	Подготовка к защите отчетов	Отчеты по лабораторным работам
5	Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Принцип работы, основные узлы и блоки.	3		3	6	Л. 1 Л. 3	Подготовка к защите отчетов	Отчеты по лабораторным работам
6	Использование методов АСМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела. Исследование биологических объектов	3		3	5,8	Л. 1 Л. 8	Подготовка к защите отчетов	Отчеты по лабораторным работам
<b>Всего часов:</b>		<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>35,8</b>			

*Примечание 1.* Часы на самостоятельную работу включают время на подготовку к экзамену (контроль).

## Рейтинг-план дисциплины

«Атомно-силовая микроскопия» \_\_\_\_\_

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление "Радиофизика" \_\_\_\_\_

курс 4 \_\_\_\_\_, семестр 7 \_\_\_\_\_

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>25</b>
1. Проверка конспектов	5	1	0	5
2. Выполнение лаб. работ	5	4	0	20
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>25</b>
Защита отчетов по лабораторным работам	12,5	2	0	25
<b>Модуль 2.</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>25</b>
1. Проверка конспектов	4	1	0	4
2. Тест	0,8	26	0	21
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>25</b>
Защита отчетов по лабораторным работам	12,5	2	0	25
<b>Итоговый контроль</b>				
1. Зачет				
<b>Поощрительные баллы</b>				
1. Участие в научных конференциях с докладом или публикация			<b>0</b>	10
<b>Посещаемость</b> (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
1. Посещение лекционных занятий			-6	0
2. Посещение практических занятий			-10	0
<b>Итого</b>			<b>-16</b>	<b>110</b>