

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**УТВЕРЖДЕНО**  
приказом ФИЦ КазНЦ РАН  
от 28.06.2019 № 29-А

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом  
КФТИ - обособленного структурного  
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН  
26 июня 2019 г., протокол № 20

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **«Атомы и молекулы на поверхности»**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации  
Направление подготовки

#### **03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ**

Направленность подготовки:

Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества  
(01.04.17)

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

### **Содержание:**

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Трудоемкость дисциплины.
5. Содержание дисциплины.
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

## 1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения

Виды учебной деятельности: аудиторские занятия 1 зачетная единица труда (36 часов), самостоятельная работа 6 зачетных единиц труда (216 часов), всего 7 зачетных единиц труда (252 часа).

Форма проведения аудиторских занятий – лекции и лабораторные работы.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

*универсальных*

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

*общепрофессиональных*

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2);

*профессиональных*

- способность проводить самостоятельные исследования в области химической физики, владеть современными методами физического эксперимента, а также способность анализировать экспериментальные данные с целью исследования термодинамики и кинетики химических реакций, фазовых равновесий в одно- и многокомпонентных системах, процессов адсорбции, гомогенного и гетерогенного катализа (ПК-1);
- способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области химической физики (ПК-3).

В результате освоения дисциплины аспирант должен

**Знать:**

- строение поверхности твердых тел, понимать особенности в расположении атомов на поверхности по сравнению с расположением в объеме твердого тела;
- основные физические и химические процессы на поверхности твердых тел;
- основные современные экспериментальные методы изучения поверхности твердых тел;

### **Уметь:**

- выбирать и применять соответствующие методики сканирующей зондовой микроскопии к конкретным объектам;
- анализировать полученные экспериментальные данные, оценивать правильность полученных результатов;

### **Владеть:**

- практическими навыками работы на сканирующем туннельном и атомно-силовом микроскопе;
- навыками обработки полученных изображений поверхности программными методами.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

**Целью** дисциплины «Атомы и молекулы на поверхности» является изучение основ современной физики и химии поверхности, а также кристаллографии. Предполагается как теоретическое освоение микроскопических методов исследования поверхности, так и практическая применимость конкретных методов для объектов различной природы. Программой курса предусмотрены лабораторные работы, выполняемые на современном экспериментальном оборудовании.

Дисциплина относится к **дисциплинам по выбору**, входит в состав Блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к вариативной части ОПОП аспирантуры по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, направленности (профилю) Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества (01.04.17). Дисциплина изучается на втором курсе.

Материал, изучаемый в ходе освоения дисциплины, в значительной мере дополняет и расширяет ряд разделов обязательной дисциплины «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

## **4. Трудоемкость дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, в том числе 1 ЗЕ аудиторных занятий и 6 ЗЕ самостоятельной работы.

№	Дисциплина	Курс	Виды учебной работы (в часах)		
			Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Атомы и молекулы на поверхности	2	20	16	216

## **5. Содержание дисциплины**

### **5.1 Лекционные занятия**

**(аудиторная нагрузка 20 часов, самостоятельная работа 120 часов)**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Введение. Основные положения современной физики и химии поверхности	а) исторический очерк развития физики и химии поверхности, б) основные монографии и учебники, в) основные понятия, используемые в физике и химии поверхности, г) обзор экспериментальных методов, их сравнительные характеристики.
2.	Кристаллография поверхности и дифракция электронов	а) симметрия поверхности и описание ее структуры, б) перестройка поверхности при процессах реконструкции, релаксации, адсорбции, в) определение структуры поверхности с помощью дифракции медленных электронов и дифракции быстрых электронов.
3.	Традиционные микроскопические методы исследования поверхности, сравнительный анализ их достоинств и недостатков	а) растровая (РЭМ) и просвечивающая (ПЭМ) электронная микроскопия. б) полевая электронно-эмиссионная микроскопия, в) полевая ионная микроскопия.
4.	Использование методов сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и спектроскопии (СТС) для изучения поверхности на атомарном и молекулярном уровне.	а) основные принципы работы СТМ, получение атомарного разрешения, б) использование метода вольт-амперных характеристик при изучении электронной структуры поверхности, в) особенности СТМ-измерений на воздухе и в вакууме, роль адсорбатов.
5.	Сканирующая зондовая микроскопия - новый метод исследования физических и химических свойств поверхности в нанометровом	а) основные принципы работы атомно-силового микроскопа (АСМ), б) дальнедействующие и короткодействующие силы при взаимодействии микронзонда АСМ с поверхностью, использование различных методов регистрации для визуализации топографических, трибологических, магнитных, электрических

	масштабе.	характеристик поверхности с нанометровым разрешением, в) изучение in-situ с помощью АСМ химических процессов на поверхности, г) нанолитография с помощью АСМ, д) нанометрология с помощью АСМ, эффекты свертки, реконструкция поверхности по АСМ-изображениям. е) магнитно-силовая микроскопия – МСМ.
6.	Исследование поверхности методами электронной спектроскопии.	а) ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия, б) рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, в) Оже-спектроскопия.
7.	Электронная структура поверхности и адсорбция.	а) поверхностные состояния Тамма и Шокли, б) изгиб зон и пиннинг уровня Ферми вблизи поверхности, в) влияние адсорбции на электронные свойства поверхности.
8.	Работа выхода и методы ее измерения	а) работа выхода и электрохимический потенциал, б) зависимость работы выхода от кристаллической структуры и взаимодействия поверхности с адсорбатами, в) основные экспериментальные методы измерения работы выхода.
9.	Адсорбция и катализ.	а) физическая и химическая адсорбция б) роль диссоциативной хемосорбции и молекулярной физической адсорбции в гетерогенном катализе.

## **5.2. Лабораторные занятия**

*(аудиторная нагрузка 16 часов, самостоятельная работа 96 часов)*

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Примеры выполняемых экспериментальных работ</b>
1	Адсорбция и сканирующая зондовая микроскопия	Формирование на стандартных подложках тонких пленок полимеров и исследование морфологии их поверхности методом атомно-силовой микроскопии

2	Сканирующая зондовая микроскопия	Исследование распределения магнитных моментов на поверхности стандартного образца (жесткого диска) с помощью магнитно-силовой микроскопии.
---	----------------------------------	--

## **6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, фонд оценочных средств**

Текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля посещаемости, устного опроса по теме, анализа результатов решения практических задач и выполненных лабораторных работ.

Промежуточный контроль подразумевает проведение коллоквиума по учебному материалу нескольких тем.

Формой итогового контроля по дисциплине является зачет.

## **I. Контрольные темы и вопросы для проведения текущего и итогового контроля по дисциплине «Атомы и молекулы на поверхности»:**

**Тема 1** Введение. Основные положения современной физики и химии поверхности.

**Тема 2** Кристаллография поверхности и дифракция электронов.

**Тема 3** Традиционные микроскопические методы исследования поверхности, сравнительный анализ их достоинств и недостатков.

Основные понятия, используемые в физике и химии поверхности, симметрия поверхности и описание ее структуры, перестройка поверхности при процессах реконструкции, релаксации, адсорбции, растровая (РЭМ) и просвечивающая (ПЭМ) электронная микроскопия, полевая электронно-эмиссионная микроскопия, полевая ионная микроскопия.

**Тема 4** Использование методов сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и спектроскопии (СТС) для изучения поверхности на атомарном и молекулярном уровне.

**Тема 5** Сканирующая зондовая микроскопия - новый метод исследования физических и химических свойств поверхности в нанометровом масштабе.

Основные принципы работы СТМ, получение атомарного разрешения, использование метода вольт-амперных характеристик при изучении электронной структуры поверхности, особенности СТМ-измерений на воздухе и в вакууме, роль адсорбатов. основные принципы работы и методики атомно-силового микроскопа (АСМ), дальнедействующие и короткодействующие силы при взаимодействии микрозонда АСМ с поверхностью, нанолитография с помощью АСМ,

**Тема 6** Исследование поверхности методами электронной спектроскопии.

**Тема 7** Электронная структура поверхности и адсорбция.

**Тема 8** Работа выхода и методы ее измерения.

## Тема 9 Адсорбция и катализ.

Основы фотоэлектронной спектроскопии, Оже-спектроскопии, поверхностные состояния Тамма и Шокли, изгиб зон и пиннинг уровня Ферми вблизи поверхности, влияние адсорбции на электронные свойства поверхности, работа выхода и электрохимический потенциал, основные экспериментальные методы измерения работы выхода, физическая и химическая адсорбция, роль диссоциативной хемосорбции и молекулярной физической адсорбции в гетерогенном катализе.

### II. Критерии оценки и шкала оценивания результатов освоения дисциплины «Атомы и молекулы на поверхности»:

№ п/п	Результат освоения дисциплины	Балл	Показатели оценивания
<b>Знание</b>			
1.	методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в области поверхности твердых тел	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
2.	роли и места поверхностных явлений в современной физике твердого тела, стадий ее эволюции и взаимосвязи с другими разделами физики;	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
3.	особенностей научной терминологии, понятийного аппарата поверхностных явлений, используемых при представлении результатов научной деятельности в устной и письменной форме	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
4.	основ теории поверхностных явлений, в том числе искусственно созданных	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
5.	фундаментальных закономерностей, связанных с реконструкцией и	1	недостаточный уровень знания



	реструктуризацией поверхности	2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
6.	существующих методов и методических подходов в научных исследованиях в области поверхностных явлений и возможных способов их развития	1	недостаточный уровень знания
		2	достаточный уровень знания
		3	высокий уровень знания
<b>Умение</b>			
1.	выбирать и применять соответствующие методики сканирующей зондовой микроскопии к конкретным объектам	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
2.	анализировать полученные экспериментальные данные, оценивать правильность полученных результатов	1	не умеет
		2	частично освоенное умение
		3	сформированное умение
<b>Владение</b>			
1.	практическими навыками работы на сканирующем туннельном и атомно-силовом микроскопе	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
2.	обработки полученных изображений поверхности программными методами	1	не владеет
		2	частично освоенные навыки
		3	сформированные навыки
<b>Итого баллов</b>		20–30	<b>«зачтено»</b>
		менее 20	<b>«не зачтено»</b>

## 7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

### Основная литература

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.
2. Г. Владимиров: Физика поверхности твердых тел. Учебное пособие. – М: Лань, 2016, 352 с.
3. М. Мамонова, В. Прудников, И. Прудникова. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы. – Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2011, 401 с.

### **Дополнительная литература**

1. Основы физической химии [Электронный ресурс] : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1 : Теория / Еремин В.В. и др. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 320 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=8695](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=8695)
2. Физическая химия: учеб. для студентов вузов, обучающихся по хим. спец. / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко; под ред. проф. А.Г. Стромберга. – Москва: Вышш. шк., 2006, 526 с.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «интернет»**

#### **I. НЕКОММЕРЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (ЭБС) СВОБОДНОГО ДОСТУПА**

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
- Электронная библиотека «Научное наследие России» <http://www.e-heritage.ru/index.html>
- Научная электронная библиотека КиберЛенинка <http://www.cyberleninka.ru/>
- Полнотекстовая электронная библиотека РФФИ <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>
- Электронная библиотека ИФТТ РАН <http://www.issp.ac.ru/libcatm/elib.html>
- Электронная библиотека международного научно-образовательного сайта EqWorld – <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>
- Библиотека международного издательства INTECHOPEN – <http://www.intechopen.com/>

#### **II. РЕФЕРАТИВНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ И НАУЧНЫЕ ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ**

- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) [http://elibrary.ru/project\\_risc.asp](http://elibrary.ru/project_risc.asp)
- Международная реферативная база по физике, астрономии, теории частиц ADS(NASA) <http://adsabs.harvard.edu/>
- Directory of Open Access Journals (DOAJ) <http://www.doaj.org>
- Directory of Open Access Books (DOAB) <http://doabooks.org/>
- ArXiv: Open access to 1,146,534 e-prints in Physics, Mathematics, Computer Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance and Statistics (Электронный архив публикаций библиотеки Корнелльского университета) <http://xxx.lanl.gov/archive>

- Science Research Portal – научно-поисковая система, осуществляющая полнотекстовый поиск в журналах многих крупных научных издательств, таких как Elsevier, Highwire, IEEE, Nature, Taylor & Francis и др., в открытых научных базах данных: Directory of Open Access Journals, Library of Congress Online Catalog, Science.gov и Scientific News <http://www.scienceresearch.com>

### III. ЖУРНАЛЫ И КНИГИ

- Nature Communications <http://www.nature.com/ncomms/index.html>
- Physical Review X <http://journals.aps.org/prx/>
- Scientific Reports <http://www.nature.com/srep/>
- New Journal of Physics <http://iopscience.iop.org/journal/1367-2630>
- Журналы физико-технического института им А.Ф. Иоффе РАН: «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики», «Физика твердого тела», «Физика и техника полупроводников» <http://journals.ioffe.ru/>
- Труды института общей физики им. А.М. Прохорова РАН <http://www.gpi.ru/trudgpi.php>
- Physics Books – Free Computer Books <http://www.freebookcentre.net/Physics/Physics-Books-Online.html>
- List of Free Physics Books | Physics Database <http://physicsdatabase.com/free-physics-book>

### IV. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ РЕСУРСЫ «ИНТЕРНЕТ»

- Российское магнитное общество <http://www.amtc.ru/mago/>
- European community of Magnetism <http://magnetism.eu>
- International Society of Magnetic Resonance <https://www.weizmann.ac.il/ISMAR/education>
- ETH Zurich group about EPR <http://www.epr.ethz.ch>
- Molecular magnetism <http://www.molmag.de>
- Magnetic Resonance Imaging <http://www.magnetic-resonance.org>
- Техническая библиотека <http://techlibrary.ru/>
- Библиотека Гумер. Гуманитарные науки. [http://www.gumer.info/bibliotek\\_Buks/Pedagog/](http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Pedagog/)
- Федеральный портал «Российское образование» [www.edu.ru](http://www.edu.ru)
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>
- Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании <http://www.ict.edu.ru/>
- Информационная справочно-правовая система «Консультант плюс» <http://www.consultant.ru/> (некоммерческая версия)
- Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ <http://www.gramota.ru/>

## **8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины**

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, лабораторные работы), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН и молодежных научных школах, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе для дополнительного изучения.

Аудиторные занятия, целью которых является освоение теоретических основ дисциплины, проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного оборудования. Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

В ходе лабораторных занятий аспирантам предоставляется возможность изучить специфику экспериментальных исследований поверхности с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии, познакомиться с принципами работы и возможностями современной экспериментальной аппаратуры и оборудования, используемых при проведении научных исследований в области исследований поверхности, получить практические навыки интерпретации экспериментальных результатов.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает углубленное освоение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к текущему, промежуточному и итоговому контролю успеваемости. В целях формирования способности к критическому анализу информации и поиску путей решения поставленных задач в дальнейшей профессиональной деятельности используется технология проблемного обучения, требующая значительных временных ресурсов, что предусмотрено структурой дисциплины, и предполагает самостоятельную проработку учебно-проблемных задач аспирантами, выполняемую с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск необходимой научно-технической информации в открытых источниках, консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на персональных рабочих местах аспирантов с доступом к ресурсам «Интернет», в научных подразделениях КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ресурсы «Интернет».

**Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

- библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, научная периодика;
- зал, оснащённый стационарным проектором, экраном и обычной доской – для проведения лекционных занятий;
- учебная аудитория, оснащенная переносными проектором и экраном для проведения практических занятий;
- индивидуальные рабочие места аспирантов, оснащенные персональным компьютерами с доступом к сети «Интернет», локальной сети и электронной информационно-образовательной среде ФИЦ КазНЦ РАН.

В учебном процессе аспиранты используют современное научное оборудование профильных подразделений КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН:

- Сканирующий зондовый микроскоп Solver P47;
- Сканирующий зондовый микроскоп Solver P47Pro;
- Электронный микроскоп Carl Zeiss;