Приложение 4

Утверждено Приказом ФИЦ КазНЦ РАН

от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_\_

Разработано и рекомендовано к утверждению

Ученым советом КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

«22» января 2025 г., протокол №2

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Атомы и молекулы на поверхности»**

Составная часть

**основной профессиональной образовательной программ**

**высшего образования -**

**программы подготовки научных и научно-педагогических кадров**

**в аспирантуре**

Научная специальность

**1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества**

**(физико-математические науки)**

**Содержание**

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.

2. Перечень планируемых результатов обучения.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

4. Содержание дисциплины.

5. Учебно-тематический план занятий.

6. Формы текущего контроля, критерии оценки.

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, трудоемкость дисциплины**

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия – 27 часов, самостоятельная работа – 92 часа, зачет - 1 час, всего – 120 часов.

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары и консультации.

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.

Формой итогового контроля является зачет.

**2. Перечень планируемых результатов обучения**

В результате освоения дисциплины выпускник 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**

Дисциплина «Атомы и молекулы на поверхности» является элективной и/или факультативной дисциплиной и включена в Блок «Образовательная компонента» основных профессиональных образовательных программ высшего образования – программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Обучение планируется на втором и/или третьем курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов «Химическая физика», «Физика конденсированного состояния» и спецкурсов в рамках магистерской программы образования или специалитета. Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

**4. Содержание дисциплины**

**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.Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

**5. Учебно-тематический план занятий**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Наименование темы** | **Аудит. занятия** | **Самост.**  **работа** | **Всего**  **часов** |
|  | **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. | **3** | **10** | **13** |
|  | **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** | **10** | **13** |
|  | **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. | **3** | **10** | **13** |
|  | **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. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Сканирующая зондовая микроскопия - новый метод исследования физических и химических свойств поверхности в нанометровом масштабе:**  а) основные принципы работы атомно-силового микроскопа (АСМ),  б) дальнодействующие и короткодействующие силы при взаимодействии микрозонда АСМ с поверхностью, использование различных методов регистрации для визуализации топографических, трибологических, магнитных, электрических характеристик поверхности с нанометровым разрешеним,  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. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Исследование поверхности методами электронной спектроскопии:**  а) ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия,  б) рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия,  в) Оже-спектроскопия. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Электронная структура поверхности и адсорбци:**  а) поверхностные состояния Тамма и Шокли,  б) изгиб зон и пиннинг уровня Ферми вблизи поверхности,  в) влияние адсорбции на электронные свойства поверхности. | **3** | **10** | **13** |
|  | **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. | **3** | **10** | **13** |
|  | **Адсорбция и катализ:**  а) физическая и химическая адсорбция  б) роль диссоциативной хемосорбции и молекулярной физической адсорбции в гетерогенном катализе. | **3** | **12** | **15** |
|  | ЗАЧЕТ | **1** | **-** | **1** |
| ВСЕГО | | **28** | **92** | **120** |

**6. Формы текущего контроля, критерии оценки**

**6.1. Итоговый контроль:** формой итогового контроля по дисциплине является Зачет.

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.

**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), дальнодействующие 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.

**6.2. Критерии оценки итогового контроля:**

|  |  |
| --- | --- |
| Оценка | Требования к знаниям и критерии выставления  оценок: |
| **зачтено** | Аспирант при ответе демонстрирует знание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями и терминами, знает особенности развития соответствующей области науки, имеет представление о специфике объектов исследований. Информирован о современных направлениях работ, ознакомлен с содержанием основных литературных источников, способен делать анализ проблем и намечать пути их решения. |
| **не зачтено** | Аспирант демонстрирует плохое знание большей части основного материала в соответствующей области науки. Не информирован или слабо разбирается в проблемах, и не в состоянии наметить пути их решения. |

**При выборе аспирантом дисциплины «Атомы и молекулы на поверхности» в качестве элективной, зачет по дисциплине является допуском к промежуточной аттестации – кандидатскому экзамену по специальной дисциплине.**

**7. Учебно-методическое обеспечение**

**7.1. 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.

**7.2. 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

2. Физическая химия: учеб. для студентов вузов, обучающихся по хим. спец. / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко; под ред. проф. А.Г. Стромберга. – Москва: Высш. шк., 2006, 526 с.

**7.3. Электронные ресурсы**

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

• Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU 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

• 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. Йоффе 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/

• Федеральный портал «Российское образование» 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**

Аудиторные занятия, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче зачета и кандидатского экзамена проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки, лабораторные комнаты), оборудованных мебелью (столы, стулья), компьютерами с доступом к сети Интернет, демонстрационным оборудованием.

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, познакомится 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.