

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

Физический факультет
Кафедра общей и молекулярной физики

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КАФЕДРЫ
Физические методы исследования
атомных и наномасштабных объектов
для физиков
Программа дисциплины

Зав. кафедрой, профессор

С.Ф.Борисов

« _____ » _____ 2008 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

Физический факультет

Кафедра общей и молекулярной физики

Физические методы исследования атомных и наномасштабных объектов

Программа специальной дисциплины
(Стандарт ПД.СД/ДС)

Екатеринбург
2008

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

_____ А.Н.Бабушкин

«_____» _____ 2008 года

Программа дисциплины «Физические методы исследования атомных и наномасштабных объектов» составлена в соответствии с требованиями федерального компонента к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки:

специалиста, по направлению 510400 «Физика», бакалавр физики, магистр физики по циклу СД/ДС дисциплин государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Семестр 6 - бакалавры, 9 – специалисты/магистры

Общая трудоемкость дисциплины 100 часа, в том числе:

Лекций 36

Семинарских занятий 18

Самостоятельная работа 46

Отчетность: экзамен (теоретический курс) - 6 - бакалавры, 9 – специалисты/магистры

Разработчик программы профессор, д.ф.-м.н. Борисов С.Ф.

Контрольные мероприятия:

Экзамен (теоретический курс)

Автор (составитель, разработчик)

Борисов С.Ф., зав. кафедрой общей и молекулярной физики, профессор, д.ф.-м.н., УрГУ

Рекомендовано к печати протоколом заседания

Экспертно-конкурсной комиссии ИОНЦ «Нанотехнологии и перспективные материалы» от 16 сентября 2008, протокол № 42

(С) Уральский государственный университет

(С) Борисов С.Ф., 2008

I. Введение

1. *Цель дисциплины* - сформировать у студентов качественные и количественные представления о явлениях на атомном и наномасштабном уровне, происходящих на поверхности раздела фаз газ - твердое тело.
2. *Задача дисциплины* - на основе анализа экспериментальных данных, используя современные методы теоретической физики, рассмотреть основные законы и уравнения, используемые при описании процессов, происходящих на межфазной границе газ-твердое тело. Изучение неравновесных явлений, происходящих на поверхности твердого тела; систематизация данных, характеризующих некоторые основные свойства межфазной границы; знакомство с экспериментальными методами изучения поверхности твердых тел; выработка умений осуществлять выбор адекватных экспериментальных и расчетно-теоретических методов при решении практических задач..
3. *Место дисциплины в системе высшего профессионального образования.* Дисциплина является одной из завершающих подготовку на уровне специализации «Физика низких температур». В связи с этим при ее изучении используются знания и навыки, полученные студентами при изучении курсов общей и теоретической физики и предшествующих курсов специальных дисциплин по специализации «Физика низких температур».
4. *Требования к уровню освоения содержания курса (приобретаемые компетенции, знания, умения, навыки).* Научить студентов работе со специальной литературой и применению теоретических знаний к интерпретации результатов экспериментальных исследований применительно к физике поверхности.
5. *Методическая новизна курса.* При изучении курса студентам представляется возможность применения Web-ориентированных ресурсов, размещенных на учебно-методическом сервере факультета. На семинарских занятиях студенты представляют доклады по статьям, опубликованным в научных журналах. Студенты на экзамене должны продемонстрировать умения в анализе экспериментальных данных, относящихся к явлениям на поверхности твердых тел. Поиск в Интернете информации по тематике курса.

II. Содержание курса

1. Разделы курса, темы, их краткое содержание

2. Введение.
 - a. Роль структуры и элементного химического состава микро- и нанообъектов в различных физико-химических процессах.
 - b. Краткий обзор существующих экспериментальных методов исследования атомных и наномасштабных структур.
 - c. Аналитические и численные методы исследования объектов и процессов микромира.
3. Методы определения масс атомов и изотопов.
 - a. Закономерности поведения заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Оценка величины отклонения частицы в зависимости от характеристик поля (поперечное магнитное, поперечное электростатическое). Электроны в электрическом и магнитном поле одновременно, вид траектории.
 - b. Фокусировка и монохромация пучков заряженных частиц. Простейший фильтр скоростей. Использование однородного поперечного магнитного поля. Фильтры на основе действия радиального электростатического поля. Цилиндрический конденсатор как фильтр скоростей.

- c. Понятие каналовых лучей. Метод парабол Томсона. Масс-спектрографы и масс-спектрометры. Масс-спектрографы Астона, Бэйнбриджа. Масс-спектрометры Демстера, Блэки.
 - d. Представление о вторичной ионной масс-спектрографии как методе химического анализа вещества.
4. Методы разделения изотопов.
- a. Разделение электромагнитными методами, электромагнитные сепараторы. Роль пространственного заряда, пути повышения разрешающей способности электромагнитного метода.
 - b. Метод газовой диффузии. Коэффициент разделения отдельной ступени. Каскадирование. Полный коэффициент разделения.
 - c. Термодиффузионное разделение изотопов. Физические принципы построения диффузионной колонки. Коэффициент разделения.
 - d. Метод центрифугирования. Коэффициент разделения. Технологические проблемы реализации метода.
 - e. Другие методы разделения изотопов (обменные и плазмохимические реакции, электролиз, лазерное разделение).
5. Физические основы электронной спектроскопии.
- a. Классификация атомных и молекулярных орбиталей, заполнение электронных оболочек.
 - b. Процессы, происходящие при возбуждении атомов и молекул. Общие представления о типах электронной спектроскопии (УФС, РФС, фотоэлектронная эмиссия, Оже-процесс, автоионизация, электронный удар, ионизация Пеннинга, рентгеновская флуоресценция, ионная нейтрализация).
 - c. Принципы построения электронного спектрометра. Характерные блоки. Источники первичного излучения (электронные пушки, ультрафиолетовое излучение, рентген). Типы анализаторов. Анализатор с тормозящим полем. Реализация принципа двойного электронного дифференцирования кривой задержки. Дисперсионные анализаторы (секторный сферический, «цилиндрическое зеркало»). Характерные спектры, получаемые с помощью анализаторов различного типа. Детектирование частиц в электронной спектроскопии.
6. Радиоспектроскопические методы исследования атомных объектов.
- a. Явление магнитного резонанса. Электронный и ядерный парамагнетизм. Движение вектора намагниченности в постоянном и переменном магнитных полях. Релаксация. Уравнение Блоха.
 - b. Электронный парамагнитный резонанс. Физические принципы. Объекты наблюдения. Ширина линии. Времена релаксации. Тонкая, сверхтонкая и супер сверхтонкая структуры. Экспериментальная реализация (ЭПР прямого усиления).
 - c. Ядерный магнитный резонанс. Физические принципы. Условие резонансного перехода. Спин-спиновое и спин-решеточное взаимодействие. Времена релаксации. Определение времени спин-спиновой релаксации методом «спинового эха». ЯМР-спектр сложных молекул. Химический сдвиг в ЯМР. Схема спектрометра.
7. Вращательные и колебательные спектры молекул.
- a. Соотношение электронных, колебательных и вращательных спектров по ширине линий.

- b. Вращательная и колебательная спектроскопия как метод диагностики атомных объектов.
8. Атомные столкновения, адсорбция и аккомодация молекул на поверхности твердых тел.
- a. Силы связи, действующие при столкновении атомов и молекул с поверхностью.
 - b. Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел.
 - c. Влияние адсорбции на работу выхода электрона.
 - d. Рассеяние молекул поверхностью. Коэффициенты аккомодации энергии и импульса.
9. Моделирование взаимодействия молекул газов с поверхностью.
- a. Обобщенная модель взаимодействия
 - b. Потенциалы взаимодействия газ-поверхность
 - c. Континуальная и решеточная модели
 - d. Модели жестких и мягких кубов
 - e. Квантовые модели рассеяния газа поверхностью
 - f. Методы численного моделирования: Монте-Карло, молекулярной динамики.
10. Экспериментальные методы исследования микроструктуры и химического состава поверхности.
- a. Метод сканирующей зондовой микроскопии. Физические принципы, лежащие в основе туннельной и атомной силовой микроскопии. Экспериментальная реализация метода и примеры построения трехмерного изображения поверхности.
 - b. Электронно-спектроскопические методы химического анализа поверхности. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Химические сдвиги. Электронная Оже-спектроскопия.
 - c. Метод электронного микрозонда. Схема построения растрового изображения.
 - d. Электронная спектроскопия для определения пространственной структуры на микроуровне. Автоионная и автоэлектронная микроскопия. Дифракция электронов (медленных и быстрых).
 - e. Другие электронно-спектроскопические методы (спектроскопия потерь энергии, спектроскопия нейтрализации ионов, спектроскопия потенциала появления мягких рентгеновских лучей).

11. Темы лабораторных и семинарских занятий.

ТЕМЫ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ.

1. Экспериментальные методы измерения КАЭ.
2. Углеродные нанотрубки.
3. Техника молекулярных пучков.
4. Методы электронной спектроскопии. Обзор современных результатов.
5. Электронная Оже-спектроскопия.
6. Электронная спектроскопия характеристических потерь энергии электронов на просвет и отражение. Физические основы метода.
7. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Физические основы метода.
8. Основы сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии.

12. Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Роль физического эксперимента в изучении объектов и процессов на атомном и наномасштабном уровне.
2. Закономерности поведения заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Оценка величины отклонения частицы в зависимости от характеристик поля (поперечное магнитное, поперечное электростатическое).
3. Методы фокусировки и монохромации пучков заряженных частиц. Простейший фильтр скоростей. Использование однородного поперечного магнитного поля. Фильтры на основе действия радиального электростатического поля.
4. Методы определения масс атомов и изотопов. Метод парабол Томсона. Масс-спектрографы и масс-спектрометры.
5. Вторичная ионная масс-спектропия как метод химического анализа поверхности.
6. Разделение изотопов электромагнитным методом. Проблема пространственного заряда и пути повышения разрешающей способности э/м метода.
7. Процессы, происходящие при возбуждении атомов и молекул. Общие представления о типах электронной спектроскопии (УФС, РФС, фотоэлектронная эмиссия, Оже-процесс, автоионизация, электронный удар, ионизация Пеннинга, рентгеновская флуоресценция, ионная нейтрализация).
8. Принципы построения электронного спектрометра. Характерные блоки. Источники первичного излучения (электронные пушки, ультрафиолетовое излучение, рентген).
9. Типы анализаторов в электронной спектроскопии. Анализатор с тормозящим полем. Реализация принципа двойного электронного дифференцирования кривой задержки. Дисперсионные анализаторы (секторный сферический, «цилиндрическое зеркало»). Характерные спектры, получаемые с помощью анализаторов различного типа.
10. Детектирование частиц в электронной спектроскопии.
11. Электронно-спектроскопические методы химического анализа поверхности. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Химические сдвиги.
12. Электронная Оже-спектроскопия. Физические принципы. Экспериментальная реализация.
13. Метод электронного микрозонда. Схема построения растрового изображения.
14. Электронная спектроскопия для определения пространственной структуры. Автоионная и автоэлектронная микроскопия. Дифракция электронов (медленных и быстрых).
15. Спектроскопия потерь энергии. Спектроскопия нейтрализации ионов. Спектроскопия потенциала появления мягких рентгеновских лучей.
16. Радиоспектроскопические методы исследования атомных объектов. Явление магнитного резонанса. Электронный и ядерный парамагнетизм. Движение вектора намагниченности в постоянном и переменном магнитных полях. Релаксация. Уравнение Блоха.
17. Электронный парамагнитный резонанс. Физические принципы. Объекты наблюдения. Ширина линии. Времена релаксации. Тонкая, сверхтонкая и супер сверхтонкая структуры. Экспериментальная реализация (ЭПР прямого усиления). Применение.
18. Ядерный магнитный резонанс. Физические принципы. Условие резонансного перехода. Спин-спиновое и спин-решеточное взаимодействие. Времена релаксации. Определение времени спин-спиновой релаксации методом «спинового эха». ЯМР-спектр сложных молекул. Химический сдвиг в ЯМР. Схема спектрометра. Применение.

19. Сканирующая зондовая микроскопия. Физические основы. Принципиальная схема.
20. Туннельная сканирующая микроскопия. Физические принципы. Экспериментальная реализация и возможности.
21. Атомно-силовая микроскопия. Режимы работы. Получаемая информация. Сравнение с туннельной микроскопией.
22. Вращательные и колебательные спектры молекул. Соотношение электронных, колебательных и вращательных спектров по ширине линий. Вращательная и колебательная спектроскопия как метод диагностики атомных объектов.
23. Дифракция в кристаллах. Типы излучений, применяемых для получения информации о дифракции. Условие дифракции Брэгга. Атомный и структурный факторы рассеяния. Дефекты кристаллической решетки.
24. Структура поверхности. Идеальная поверхность. Индексы Миллера. Классификация Вуда. Дефекты на поверхности твердого тела. Неоднородности поверхности: физическая, химическая и индуцированная.
25. Адсорбция. Понятие среднего времени жизни молекул в адсорбированном состоянии. Кинетические особенности физической адсорбции и хемосорбции.
26. Экспериментальные методы исследования адсорбционных процессов на поверхности твердого тела. Метод термостимулированной десорбции.
27. Обобщенная модель взаимодействия газа с поверхностью твердого тела. Схема процессов, происходящих при соударении молекул газа с поверхностью твердого тела.
28. Силы взаимодействия между атомами и поверхностью. Силы Ван-дер-Ваальса. Выражение для энергий взаимодействия в случае ориентационного эффекта, электростатической индукции, дисперсионного эффекта.
29. Обменные силы. Кривые потенциальной энергии для взаимодействия молекул с поверхностью.
30. Гетерополярные (кулоновские) силы. Выражения для энергии связи адатома с металлом. Диполь-дипольное кулоновское взаимодействие.

Экзамен проводится в форме собеседования по результатам работы в течение семестра или по билетам, составленным по разделам курса.

III. Распределение часов курса по темам и видам работ

№ п/п	Наименование разделов и тем	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (час)		Самостоятельная работа
			в том числе		
			Лекции	Практические (семинары/ Лаб. работы)	
1	Предмет науки о явлениях на поверхности. Основные этапы в истории развития физики поверхности.		2	0/0	2
2	Обобщенная модель взаимодействия газа с поверхностью твердого тела.		2	0/0	4
3	Силы взаимодействия между атомами и		1	0/0	2

	поверхностью.				
4	Определение границы раздела. Поверхностное натяжение и поверхностная свободная энергия.		3	0/0	6
5	Структура поверхности. Идеальная поверхность. Дефекты на поверхности твердого тела.		4	0/0	8
6	Адсорбция.		12	4/0	10
7	Рассеяние газа поверхностью твердого тела.		12	12/0	10
8	Способы приготовления и очистки поверхностей.		2	2/0	4
9	Каталитические процессы при взаимодействии газа с поверхностью твердого тела.		2	2/0	4
10	Электронная спектроскопия твердого тела.		2	8/0	4
	ИТОГО:		36	18/0	108

IV. Форма итогового контроля

Экзамен

V. Учебно-методическое обеспечение курса

1. Рекомендуемая литература (основная)

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. М.: Мир, 1980;
 Робертс М., Макки Ч. Химия поверхности раздела металл – газ. М.: Мир, 1981;
 Де Бур Я. Динамический характер адсорбции. М.: Издательство иностр. литературы, 1962;
 Коган М.Н. Динамика разреженного газа. – М.: Наука, 1967;
 Гудман Ф., Вахман Г. Динамика рассеяния газа поверхностью. М.: Мир, 1980;
 Межфазовая граница газ – твердое тело/ Под ред. Э. Флада. – М.: Мир, 1970.
 Адамсон А. Физическая химия поверхностей М.:Мир,1979.
 Зенгуил Э. Физика поверхности: Пер. с англ.-М.:Мир,1990.
 Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: Пер. с англ.-М.: Мир, 1989.
 Борисов С.Ф. Физика поверхности: Учеб. пособие. Свердловск: УрГУ,1987.
 Черепин В.Т., Васильев М.А. Методы и приборы для анализа поверхности металлов. Справочник. Киев: Наукова думка, 1982.

VI. Ресурсное обеспечение

Мультимедийный ресурс, две части: Сканирующая зондовая микроскопия (39 слайдов), Спектроскопические методы исследования поверхности (26 слайдов).