

**Федеральное агентство по образованию
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»**

**А. И. Лямкин, Ю. Л. Михлин, М. В. Горев
И. Н. Флёров, В. Д. Фокина**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Организационно - методические указания по освоению дисциплины

**Красноярск
2007**

ВВЕДЕНИЕ

Высокоточные измерения и последующая обработка полученных результатов приобретают все большее значение во многих сферах человеческой деятельности: промышленном производстве, физических экспериментах, космических исследованиях, экологических мониторингах окружающей среды, медицине и многих других. Наука и промышленность не могут существовать без измерений.

Диапазон измеряемых величин и их количество постоянно растет. С ростом диапазона измеряемых величин возрастает и сложность измерений. Они, по сути дела, перестают быть однократным действием и превращаются в сложную процедуру подготовки и проведения измерительного эксперимента, обработки и интерпретации полученной информации.

Другой причиной важности измерений является их значимость. Основу любой формы управления, анализа, прогнозирования, планирования, контроля и регулирования – достоверная исходная информация, которая может быть получена лишь путем измерения требуемых физических величин, параметров и показателей. И естественно, только высокая и гарантированная точность результатов измерений обеспечивает правильность принимаемых решений.

Рассмотреть все многообразие приборов и методов измерений невозможно. Поэтому мы ограничились лишь несколькими разделами экспериментальных исследований – это методы исследования поверхности и методы исследования теплофизических свойств веществ, а так же методами последующей обработки полученных результатов. Со всеми этими методами студенты столкнутся в ходе прохождения практики и выполнении дипломных работ в научно - исследовательских лабораториях.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА

1.1. Цели преподавания курса

Дисциплина "Экспериментальные методы исследований" представляет собой одну из важных общепрофессиональных дисциплин при подготовке бакалавров по направлению 140400.62 «Техническая физика».

Изучение дисциплины базируется на материалах предшествующих естественно - научных дисциплин и помогает при освоении таких дисциплин магистерской подготовки по направлению 140400.68. «Техническая физика» как «Современные проблемы науки и производства», «История и методология науки и производства», «Физико-химические свойства ультрадисперсных материалов», «Наноматериалы и нанотехнологии».

Целью преподавания дисциплины является:

- ознакомление студентов с основными методами и приборами для измерений физических параметров;
- ознакомление с методами анализа и обработки экспериментальных данных;
- формирование у студентов навыков работы на установках;
- приобретение опыта в проведении эксперимента.

1.2. Задачи курса

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности в качестве бакалавра по направлению 140400.62 «Техническая физика».

Освоение дисциплины способствует формированию следующих общепрофессиональных компетенций (ОПК):

- умение планировать и организовывать эксперимент;
- инструментальных компетенций (ИК):
- умение выбирать методы и средства измерений в соответствии со стандартами (техническими регламентами) и анализировать полученные результаты,
 - умение пользоваться приборами и оборудованием;

специальных профессиональных компетенций (СПК):

- умение осуществлять выбор материалов для изделий различного назначения с учетом эксплуатационных требований.

Специалист должен:

Знать: физические принципы, положенные в основу методов исследования и работы измерительных приборов, основные методы измерений теплофизических параметров веществ, изучения поверхности твердых тел, характеристики и принцип действия измерительных установок, методы анализа и обработки экспериментальных данных.

Уметь: пользоваться обширным справочным материалом по методам, приборам и датчикам для измерений теплофизических параметров, микроскопического и спектроскопического анализа состава и свойств поверхности наноматериалов, для использования их в конкретных экспериментальных условиях, планировать измерительный эксперимент так, чтобы точность измерений соответствовала поставленной цели, учитывать возможность систематических ошибок и принимать меры к их устранению, анализировать результаты измерений и делать правильные выводы.

2. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ТЕМАМ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс «Экспериментальные методы исследований» предназначен для студентов третьего курса и ведется в 5 и 6 семестрах. Часы учебного курса распределены согласно учебной программе дисциплины следующим образом (Таблица 1)

Теоретическая часть курса (лекции) в 5 семестре разбита на две части. В первой рассматривается общая теория измерений и основные приборы и методы для измерений основных физических величин (разделы 1-4). Во второй части (раздел 5) представлены методы исследования поверхности.

В 6 семестре рассматриваются методы исследования теплофизических свойств (разделы 6-9) и анализа и обработки экспериментальных данных (разделы 10-11).

Параллельно с лекциями проводятся и лабораторные занятия, на которых закрепляется теоретический материал и студенты приобретают практические навыки и умения.

Таблица 1.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр	
		5	6
Общая трудоемкость дисциплины	252	126	126
Аудиторные занятия:	136	68	68
лекции	68	34	34
лабораторные работы (ЛР)	68	34	34
Самостоятельная работа:	116	58	58
изучение теоретического курса (ТО)	58	29	29
подготовка к выполнению и защите лабораторных работ	58	29	29
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет, экзамен	зачет	экзамен

2.1. Теоретическая часть

Теоретическая часть представлена в курсе лекций, разбитом по модулям (семестрам), разделам и лекциям с указанием часов на самостоятельную работу для закрепления материала.

2.1.1. Модуль 1

«Экспериментальные методы исследования поверхности»

Раздел 1. Физические приборы – 10 часов [лекции – 6 часа, самостоятельная работа - 4 часа].

Основные темы: Принципы реализации и контроля качества материалов, изделий и их компонентов. классификация исследуемых объектов и явлений. Функциональная связь характеристик исследуемых явлений и внутренних параметров объектов. Классификация приборов по назначению, отраслям назначения и систематизация приборов по принципу действия. Конструктивное оформление приборов. Классификация экспериментальных методов исследования: аппаратура для экспериментальных исследований; сведения об основных типах стандартных измерительных приборов и устройств.

Измерительные приборы. Диагностика и контроль качества материалов; изделий и их компонентов. Установки, информационные системы. Информационно-измерительные комплексы. Типы приборов и их классификация приборов по методам измерения.

Датчики и преобразователи. Дифференцирующие приборы. Интегрирующая цепочка. Пределы измеряемых величин. Выбор цены деления. Логарифмическая шкала. Погрешности. Способы вывода информации. Параметры измерительных приборов.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Раздел 2. Методы измерения механических величин - 22 часа [лекции – 10 часов, лабораторные - 2 часа, самостоятельная работа - 10 часов].

Основные темы: Методы измерения линейных величин. Микрометр. Оптиметр. Измерительный микроскоп. Измерительный проектор. Компаратор. Катетометр. Нивелир. Дальномер. Локатор. Эхолот.

Методы измерения угловых величин. Гониометр. Коллиматор. Буссоль. Кипрегель. Теодолит. Секстан. Методы угловой ориентации приборов. Магнитный компас. Гирокомпас.

Методы определения поверхности, расхода и временных промежутков. Методы определения площади поверхности и объема. Методы определения расхода жидкостей и газов. Методы определения временных промежутков. Кварцевые и квантовые часы. Таймеры. Реле. Частотомеры. Методы исследования малых перемещений. Датчики малых перемещений (тензодатчики, пьезодатчики, механотрон). Дистанционное измерение физических величин.

Экспериментальные методы измерения угловых скоростей. Тахометры (индукционные, оптические, стробоскопические) Экспериментальные методы измерения линейных скоростей. Радарные и лазерные спидометры. Баллистические маятники. Измерение ускорений. Акселерометры.

Методы измерения колебаний, сил и моментов инерции. Измерение и запись механических колебаний. Методы создания колебаний. Акустические приборы. Приемники колебаний и их параметры. Методы звукозаписи и зву-

ковоспроизведения. Методы измерения сил и приборы на их основе. Методы измерения массы, плотности и момента инерции.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Раздел 3. Методы измерений в молекулярной физике - 10 часов [лекции – 4 часа, лабораторные - 2 часа, самостоятельная работа - 4 часа].

Основные темы: Методы создания и определения давления. Методы создания повышенного и пониженного давления. Компрессоры и насосы. Методы создания вакуума. Методы измерения давления. Манометры и их типы. Методы определения давления в потоках и расхода жидкости. Трубки Пито, Прандтля и Вентури. Методы измерения вакуума. Измерение парциального давления. Масс-спектрометр.

Методы определения влажности и вязкости. Методы и приборы измерения влажности. Гигрометры. Методы определения вязкости. Ротационные и капиллярные вискозиметры.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Раздел 4. Источники тока - 4 часа [лекции - 2 часа, самостоятельная работа - 2 часа].

Основные темы: Методы создания постоянного и переменного тока - Источники тока. Генераторы постоянного и переменного тока. Химические источники тока. Электрические батареи и аккумуляторы. Термо-, фото- и радиоизотопные источники тока. МГД-генераторы.

Методические указания:

Прибор - это устройство для наблюдений, измерений, обработки и представления информации, передачи ее на расстояние; для воздействия на объект исследования; для регулирования и управления процессами. Прибор всегда посредник между человеком и природой, человеком и техникой, между природными или техническими объектами и другими техническими устройствами.

Важнее знания конкретной модели приборов и технической стороны дела является понимание сути физических процессов и методов экспериментального исследования. Инженер-физик должен также разбираться в принципах действия приборов.

Чтобы ориентироваться в разнообразном мире приборов, необходимо их классифицировать.

Литература:

1. А. Г. Сергеев, В. В. Крохин Метрология. Учебное пособие для вузов. М.: Логос, 2002. - 408 с.
2. Дж. Сквайрс Практическая физика. М. Мир, 1971.

З. А. И. Лямкин, Ю. Л. Михлин, «Экспериментальные методы исследований».

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Раздел 5. Методы изучения поверхности – 80 часов [лекции – 12 часов, лабораторные - 30 часов, самостоятельная работа - 38 часов].

Основные темы: Исследование поверхности наноразмерных материалов. Поверхности твердых материалов и наноразмерные материалы - особенности строения и свойств, проблемы изучения. Взаимодействие зондирующего излучения с веществом. Сверхвысокий вакуум: необходимость применения, основы техники СВВ. Классификация и сравнительная характеристика методов исследования поверхности.

Сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия, основные принципы и узлы (пьезосканеры, зонды, система обратной связи). Основные методы зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.

Атомно-силовая микроскопия. Атомно-силовая (сканирующая силовая) микроскопия. Кантилеверы, их взаимодействие с поверхностью. Силовая спектроскопия. Работа атомно-силового микроскопа в контактной, неконтактной, полуконтактной модах, микроскопии латеральных сил, фазового контраста, растекания.

Методы неконтактной зондовой микроскопии и зондовой литографии. Методы электросиловой, емкостной, Кельвина, магнитно-силовой микроскопии. Ближнепольный оптический микроскоп. Сканирующая зондовая литография.

Фотоэлектронная спектроскопия. Фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС и УФЭС). Принципы, оборудование (источники излучения, энергоанализаторы), практика применения.

Оже-электронная спектроскопия и микроскопия. Оже-электронная спектроскопия и микроскопия. Послойный анализ с помощью ОЭС, РФЭС. Масс-спектрометрия вторичных ионов. Рентгеновская спектроскопия поглощения (EXAFS, XANES).

Методические указания: Состояние поверхности в значительной мере определяет свойства материалов, как физические, так и химические. От состава и строения поверхности и приповерхностных слоев твердого тела зависят оптические, электронные, магнитные, механические и другие характеристики твердых тел. Важнейшие современные технологии (микро- и наноэлектроника, обработка конструкционных материалов, катализ, коррозия и многие другие) определяются явлениями на поверхности. Все большее внимание вызывают свойства низкоразмерных структур, разного рода наноматериалов, в которых именно поверхность играет главную роль.

Уникальные свойства наноразмерных материалов в значительной мере объясняются их электронным строением, промежуточным между строением молекулы с молекулярными орбиталями и зонной структурой твердого тела. В частности, ширина запрещенной зоны полупроводниковых наночастиц зависит от их размера, с уменьшением частиц металлов может наблюдаться переход металл-диэлектрик и появление дискретных электронных уровней. Далее, для наночастиц характерна высокая доля атомов, близких к поверхности, уменьшающаяся с ростом величины частиц. Это определяет генетическую близость соответствующих свойств наночастиц и поверхности объемных материалов, таких как высокая подвижность атомов, пониженная температура плавления, как правило, более высокая реакционная способность и т.п. Это сходство определяет необходимость и возможность применения методов исследования поверхности твердых тел для наноматериалов.

Число методов исследования поверхности очень велико, многие имеют несколько модификаций, существенно различающиеся по своим возможностям. Мы кратко охарактеризуем некоторые спектроскопические и микроскопические методы, пожалуй, наиболее широко применяемые и активно развиваемые в настоящее время.

Литература:

1. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. ИФМ РАН. Н.Новгород, 2004 г.
2. Э. В. Бурсиан. Физические приборы. М.Просвещение, 1984.
3. Д. Бриггс, М. П. Сих. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. М., Мир. 1987.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Модуль 2

«Экспериментальные методы исследования тепловых характеристик»

Физические величины, используемые для описания термодинамических свойств тел или систем тел, а также процессов перераспределения тепловой энергии относятся к области исследований в термодинамике. Все многообразие физических величин, используемых в термодинамике, можно разделить на несколько классов.

К первому из них относится фундаментальная физическая величина - температура, единица которой является основной в Международной системе СИ.

Вторую группу образуют калориметрические величины, к которым относятся теплоты химических, физических и биологических процессов. В том числе, теплоты сгорания, сорбции, десорбции, фазовых переходов, обмена веществ, а также теплоемкость.

Третий класс образует физические величины, характеризующие свойства переноса тепла в вещественных средах. Он включает в себя теплопроводность, температуропроводность, а также некоторые производные величины, включающие в себя теплопроводность, в частности, коэффициент тепловой активности и показатель теплоусвоения.

К четвертой группе относятся физические величины, характеризующие теплоперенос излучением.

Пятая группа включает в себя физические величины, выражающие зависимость свойств тел от температуры. В частности, такой физической величиной является температурный коэффициент линейного расширения.

Наиболее важную роль в науке и промышленности играют следующие физические величины: **температура, количество теплоты, удельная теплоемкость, теплопроводность, температурный коэффициент линейного расширения.** Разнообразные методы измерений этих величин и рассматриваются в данном модуле курса.

Раздел 6. Температура. Температурные шкалы. Датчики и приборы - 26 часов [лекции – 8 часов, лабораторные - 8 часов, самостоятельная работа - 10 часов].

Основные темы: Температура. Определение температуры. Газовая и термодинамическая шкалы температуры. Международная шкала температур ITS-90. Реперные точки. Газовая термометрия. Конденсационный термометр. Термометрия, основанная на эффектах теплового расширения жидкостей и твердых тел. Платиновые и медные термометры. Полупроводниковые термометры сопротивления. Угольные термометры. Термопары. Основные типы и области применения термопар. Оптическая термометрия. Пирометры.

Методические указания: Температура - фундаментальная физическая величина, единица которой является основной в Международной системе СИ. Измерение температуры необходимо в большинстве экспериментальных методов, поэтому правильный выбор датчика, обеспечивающий необходимую точность и диапазон измерения особенно важен. Необходимо дать студентам представление о всем разнообразии датчиков температуры, их особенностях, областях применения.

Литература:

1. В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин. Исследования термодинамических свойств веществ. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963.
2. Температурные измерения. Под редакцией Герашенко О.А., Киев: Наукова думка. 1989.
3. И. Н. Флеров, М. В. Горев, В. Д. Фокина «Специальный практикум по теплофизическим свойствам веществ»

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Раздел 7. Калориметрия – 22 часа [лекции – 6 часа, лабораторные - 8 часов, самостоятельная работа – 8 часов].

Основные темы: Теплоемкость. Определение теплоемкости. Температурная зависимость теплоемкости. Значение теплоемкости в науке и промышленности. Адиабатическая калориметрия. Реализация метода на примере установки АК НИИФТРИ. Сканирующая калориметрия. Калориметрия переменного теплового потока. Дифференциальная сканирующая калориметрия. Дифференциальный термический анализ. Основные типы промышленно выпускаемых калориметров.

Методические указания: Обратит внимание на важность точного определения теплоемкости и тепловых характеристик материалов как с точки зрения фундаментальной науки, так и в прикладном плане для проектирования технологических устройств и разработке химических технологий производства материалов. Выстроить иерархию приборов и методов по точности, информативности и оперативности получения информации.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Литература:

1. В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин. Исследования термодинамических свойств веществ. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963.
2. Низкотемпературная калориметрия. Под ред. С.А.Улыбина, М. Мир, 1971.
3. Л. А. Резницкий Калориметрия твердого тела. М. Изд-во МГУ.1981.
4. Б. Н. Бойко Прикладная микрокалориметрия. Отечественные приборы и методы М. Наука. 2006. 119 с.
5. И. Н. Флеров, М. В. Горев, В. Д. Фокина «Специальный практикум по теплофизическим свойствам веществ»

Раздел 8. Дилатометрия - 18 часов [лекции – 6 часов, лабораторные - 6 часов, самостоятельная работа - 6 часов].

Основные темы: Тепловое расширение твердых тел. Электрострикция. Магнетострикция. Методы исследования теплового расширения. Объемный (пикнометрический) метод. Оптические методы. Кварцевые дилатометры. Радиотехнические и акустические методы. Кварцевый двухштоковый оптико-механический дилатометр Института Физики. Радиотехнические методы. Акустические методы.

Методические указания: Осветить основные методы измерения теплового расширения и использование этих методов в различных областях науки и в промышленности (производстве современных материалов и микроэлектронике, ...). Основной упор на современные приборы и методы.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Литература:

1. В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин. Исследования термодинамических

свойств веществ. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963.

2. С. И. Новикова Тепловое расширение твердых тел. М. Наука, 1974.

3. И. Н. Флеров, М. В. Горев, В. Д. Фокина «Специальный практикум по теплофизическим свойствам веществ»

Раздел 9. Методы исследования теплопроводности – 4 часа [лекции - 2 часа, самостоятельная работа - 2 часа].

Основные темы: Теплопроводность, основные определения. Методы измерения теплопроводности твердых тел, основанные на решении уравнения теплопроводности для основных геометрий.

Методические указания: Осветить основные методы измерения теплопроводности, как стационарные, так и динамические. Основной упор на современные приборы и измерение теплопроводности теплоизоляционных материалов.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Литература:

1. В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин. Исследования термодинамических свойств веществ. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963.

Раздел 10. Основы анализа экспериментальных данных - 52 часа [лекции - 10 часов, лабораторные работы - 12 часов, самостоятельная работа - 30 часов].

Основные темы: Классификация ошибок измерений. Почему так важно оценить ошибку измерений? Классификация ошибок. Грубые ошибки. Систематические ошибки. Причины возникновения систематических ошибок. Случайные ошибки. Анализ результатов измерений случайной величины. Распределение результатов измерений случайной величины. Распределение Гаусса. Среднеквадратичная ошибка отдельного измерения и среднего значения. Ошибки косвенных измерений. Косвенные измерения. Функции случайных величин. Анализ результатов совместных измерений. Измерение функциональных зависимостей. Интерполяция и аппроксимация экспериментальных данных. Метод наименьших квадратов.

Методические указания: Попытаться преподнести материал не как ряд упражнений по математике, а как один из инструментов экспериментатора. Основная задача - показать роль анализа данных как в процессе выбора методики и планировании эксперимента так и при интерпретации результатов эксперимента последующего развития теоретических представлений об исследуемом явлении. Показать значение вычислительной техники и программного обеспечения. Дать альтернативные методы и программное обеспечение для анализ данных.

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Литература:

1. Дж. Сквайрс Практическая физика. М. Мир, 1971.
2. П. В. Новицкий, И. А. Зограф Оценка погрешностей результатов измерений. Л. Энергоатомиздат, 1985.
3. М. В. Горев «Обработка экспериментальных данных»
4. В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л. Энергоатомиздат, 1990.

Раздел 11. Логика эксперимента – 4 часа [лекции - 2 часа, самостоятельная работа - 2 часа].

Основные темы: Эксперимент. Роль эксперимента в физике. Логика эксперимента. Эксперимент и здравый смысл. Систематические погрешности.

Методические указания: Важность и необходимость эксперимента. Основные приемы проведения эксперимента. Обратить внимание на тщательность разработки и анализа экспериментальных установок. Часто выявление и устранение систематической ошибки может выглядеть, как действие негативное, хотя и желаемое. Однако, вскрытая в ходе анализа систематическая ошибка может быть обусловлена явлением ранее неизвестным. И тогда она переходит из ранга "ошибки" в ранг "эффекта".

Текущий контроль: Тестовые задания к разделу

Литература:

1. Материал лекции 34.
2. Дж. Сквайрс Практическая физика. М. Мир, 1971.

2.2. Лабораторные занятия

Тематика лабораторных работ направлена на закрепление и углубление теоретических знаний и соответствует тематике лекционного курса. Лабораторные занятия по дисциплине проводятся с целью изучения студентами устройства и принципа работы атомно-силовой микроскопии и фотоэлектронной спектроскопии для изучения поверхности материалов, а также с целью освоения теплофизических измерений. По дисциплине запланированы лабораторные занятия в объеме 68 часов.

2.2.1. Темы лабораторных занятий в 5 семестре (Модуль 1)

Тематика лабораторных работ в 5 семестре – Методы исследования поверхности. Подробное описание каждой из работ, экспериментальной установки, на которой она выполняется, задания и последовательность выполнения, форма отчета и контрольные вопросы приведены в описаниях лабораторных работ и методических указаниях:

Лямкин А.И, Михлин Ю.Л. «Экспериментальные методы исследований поверхности».

- 1 Определение плотности пористого тела (2 часа)
- 2 Определение удельной поверхности порошков (2 часа)
- 3 Ознакомление с зондовым микроскопом NanoEducator и получение изображения в полуконтактной моде атомно-силовой микроскопии (4 часа)
- 4 Изучение поверхности твердого тела методом сканирующей туннельной микроскопии (4 часа)
- 5 Изучение взаимодействия зонд-поверхность в режиме неконтактной АСМ на СЗМ NanoEducator (4 часа)
- 6 Устройство и характеристики сканера, подготовка зонда и устранение артефактов в СЗМ (4 часа)
- 7 Сканирующая зондовая литография (4 часа)
- 8 Обработка и количественный анализ изображений в СЗМ (2 часа)
- 9 Ознакомление с техникой СВВ и анализа поверхности на рентгеноэлектронном спектрометре SPECS (4 часа)
- 10 Обработка и количественный анализ спектров в РФЭС и ОЭС (4 часа)

Методические указания: Представлены в методических указаниях к лабораторным работам Лямкин А.И, Михлин Ю.Л. «Экспериментальные методы исследований поверхности».

2.2.2. Темы лабораторных занятий в 6 семестре (Модуль 2)

Тематика лабораторных работ в 6 семестре – Методы исследования теплофизических свойств и анализа экспериментальных данных. Подробное описание каждой из работ, экспериментальной установки, на которой она выполняется, задания и последовательность выполнения, форма отчета и контрольные вопросы приведены в описаниях лабораторных работ и методических указаниях:

1. Флеров И.Н., Горев М.В., Фокина В.Д. «Специальный практикум по теплофизическим свойствам веществ»
2. Горев М.В. «Обработка экспериментальных данных»
- 11 Измерение температуры термopами (4 часа)
- 12 Использование термометра сопротивления для измерения температуры (4 часа)
- 13 Измерение теплоемкости и тепловых эффектов фазовых переходов методом сканирующей калориметрии (4 часа)
- 14 Измерение теплоемкости методом адиабатической калориметрии (4 ча-

- са)
- 15 Исследование теплового расширения твердых тел (4 часа)
 - 16 Определение удельного объема пикнометрическим методом (2 часа)
 - 17 Основы работы в Mathcad. Использование Mathcad для обработки экспериментальных данных (4 часа)
 - 18 Обработка данных прямых измерений (2 часа)
 - 19 Обработка данных косвенных измерений (2 часа)
 - 20 Обработка данных совместных измерений. Интерполяция. Аппроксимация (4 часа)

Методические указания: Представлены в методических указаниях к лабораторным работам Флеров И.Н., Горев М.В., Фокина В.Д. «Специальный практикум по теплофизическим свойствам веществ» и Горев М.В. «Обработка экспериментальных данных»

3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа идет параллельно с учебным процессом с привлечением дополнительного теоретического и практического материала и включает в себя:

- теоретическую подготовку студентов к лабораторным занятиям (необходимый материал студент получает из лекционного курса и рекомендованной литературы, приведенной ниже);
- выполнение заданий для самостоятельной подготовки, включенных в содержание лабораторных работ;
- изучение теоретического материала, не рассматриваемого в лекционном курсе, на лабораторных занятиях.

Самостоятельная работа студентов регламентируется графиком учебного процесса и самостоятельной работы. По дисциплине "Экспериментальные методы исследований" учебным планом предусмотрено 116 часов на самостоятельную работу, из них 58 часов - на изучение разделов теоретического цикла и 58 часов - на подготовку к выполнению и защите лабораторных работ.

Часы на самостоятельное изучение теоретического курса, подготовку к выполнению и защите лабораторных работ распределяются по разделам и темам следующим образом: тема 2 – 2 часа; тема 3 – 2 часа; тема 4 – 2 часа; тема 5 – 2 часа; тема 6 – 2 часа; тема 7 – 2 часа; тема 8 – 2 часа; тема 9 – 2 часа; тема 10 – 2 часа; тема 11 – 2 часа; тема 12 – 4 часа; тема 13 – 8 часов; тема 14 – 6 часов; тема 15 – 6 часов; тема 16 – 10 часов; тема 17 – 4 часа; тема 18 – 2 часа; тема 19 – 2 часа; тема 20 – 2 часа; тема 21 – 4 часа; тема 22 – 2 часа; тема 23 – 4 часа; тема 24 – 2 часа; тема 25 – 2 часа; тема 26 – 2 часа; тема 27 –

2 часа; тема 28 – 2 часа; тема 29 – 6 часов; тема 30 – 6 часов; тема 31 – 6 часов; тема 32 – 6 часов; тема 33 – 6 часов; тема 34 – 2 часа.

Количество часов на самостоятельную работу определяется объемом и сложностью изучаемого материала и экспериментального оборудования для выполнения лабораторных работ.

4. ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ И КОНТРОЛЯ

Проводится текущая и итоговая аттестация качества усвоения знаний. Форма итогового контроля – зачет (в конце пятого семестра) и экзамен (в конце шестого).

4.1. Текущий контроль

Текущая аттестация качества усвоения знаний имеет целью: установление обратной связи в процессе управления процессом учения студента для его коррекции, позволяет самому студенту оценить уровень усвоения материала, определить пробелы и проблемы; позволяет через комментирование результатов формировать профессиональное умение по оценке учебной деятельности; дает преподавателю возможность накопления информации для объективной оценки знаний студента при итоговой аттестации.

Проводится контроль качества усвоения как в процессе выполнения и сдачи лабораторных работ, так и в процессе самостоятельной работы студентов.

Контроль осуществляется по итогам защит лабораторных работ в соответствии с установленным графиком. Оценка определяется по результатам ответов на вопросы допуска и по тому, насколько точно выполнены все пункты задания.

Система контроля знаний, полученных в процессе самостоятельной работы, состоит из двух частей. Первая часть (дополнительная) предусматривает текущие несложные задания в виде упражнений, выполнение которых обязательно, но, тем не менее, полезно для усвоения теоретического материала. Эти задания чаще всего построены в виде предложения к самостоятельной работе и при этом могут не иметь правильных эталонных ответов.

Основная часть представлена тестами. Тесты разделов обеспечивают реализацию управления процессом самообразования и самообучения на принципах внутренней обратной связи. Для самоконтроля усвоенной информации раздела используются тренирующие тесты теоретического плана.

Вся система контроля обеспечивает текущую проверку способности студента к восприятию информации частей разделов и тесты на оценку.

Тест содержит группу вопросов по темам и проводится после завершения рассмотрения материала каждого из разделов теоретического курса и

связанных с ним лабораторных работ. Тесты представлены в банке тестовых заданий и разбиты по разделам курса. При выполнении тестовых заданий:

50% верных ответов – “удовлетворительно”;

70% верных ответов – “хорошо”;

90% верных ответов – “отлично”.

4.2. Итоговый контроль

4.2.1. Сдача зачета в конце 5 семестра

Если к концу семестра студент не имеет задолженностей по лабораторным работам и имеет удовлетворительную оценку по выполнению тестов, то он допускается к сдаче зачета. Время и место сдачи определяется соответствующим расписанием.

Форма сдачи зачета состоит в том, что студенту предлагается ответить на один или несколько контрольных вопросов, представленных ниже.

В оценку знаний входит оценка по теории путем тестирования по контрольным вопросам (до 40 %), по результатам защиты лабораторных работ (до 50 %) и дополнительные поощрительные баллы (до 10 %) за примерную посещаемость, активность и пр.

Контрольные вопросы:

1. Физические приборы: классификация по назначению.
2. Физические приборы: классификация по отраслям назначения.
3. Систематизация приборов по принципу действия.
4. Классификация приборов по конструктивному оформлению. Измерительные приборы, установки, информационные системы.
5. Измерительные приборы и их типы.
6. Классификация приборов по методам измерения.
7. Датчики и преобразователи.
8. Дифференцирующие приборы.
9. Интегрирующая цепочка.
10. Пределы измеряемых величин. Выбор цены деления. Логарифмическая шкала.
11. Абсолютная и относительные погрешности.
12. Способы вывода информации с измерительных приборов.
13. Параметры измерительных приборов: чувствительность, порог чувствительности, класс точности, постоянная времени, надежность.
14. Методы измерения линейных величин. Микрометр. Оптиметр. Измерительный микроскоп.

15. Методы измерения линейных величин. Измерительный проектор. Компаратор. Катетометр. Нивелир.
16. Методы измерения линейных величин. Дальномер. Локатор. Эхолот.
17. Методы измерения угловых величин. Гониометр. Коллиматор. Буссоль. Кипрегель. Теодолит. Секстан.
18. Методы угловой ориентации приборов. Магнитный компас. Гирокомпас.
19. Методы определения площади поверхности и объема.
20. Методы определения расхода жидкостей и газов.
21. Методы определения временных промежутков. Кварцевые и квантовые часы.
22. Методы определения временных промежутков. Таймеры. Реле. Частотомеры.
23. Методы исследования малых перемещений. Датчики малых перемещений (тензодатчики, пьезодатчики, механотрон).
24. Дистанционное измерение физических величин: потенциометрическая передача, сельсин.
25. Экспериментальные методы измерения угловых скоростей. Тахометры (индукционные, оптические, стробоскопические)
26. Экспериментальные методы измерения линейных скоростей. Радарные и лазерные спидометры. Баллистические маятники.
27. Измерение ускорений. Акселерометры.
28. Измерение и запись механических колебаний.
29. Методы создания колебаний. Акустические приборы.
30. Приемники колебаний и их параметры.
31. Методы звукозаписи и звуковоспроизведения.
32. Методы измерения сил и приборы на их основе.
33. Методы измерения массы, плотности и момента инерции.
34. Методы создания повышенного и пониженного давления.
35. Компрессоры и насосы.
36. Методы создания вакуума.
37. Методы измерения давления. Манометры и их типы.
38. Методы определения давления в потоках. Трубки Пито, Прандтля и Вентури.
39. Методы измерения глубокого вакуума.
40. Измерение парциального давления. Масс-спектрометр.
41. Методы и приборы измерения влажности. Гигрометры.
42. Методы определения вязкости. Ротационные и капиллярные вискозиметры.
43. Источники тока. Генераторы постоянного и переменного тока.
44. Химические источники тока.

45. Электрические батареи и аккумуляторы.
46. Термо-, фото- и радиоизотопные источники тока. МГД-генераторы.
47. Поверхности твердых материалов и наноразмерные материалы – атомное и электронное строение.
48. Реальные поверхности: строение и задачи изучения.
49. Методы исследования поверхности: классификация по падающим и анализируемым частицам (излучению).
50. Методы исследования поверхности: классификация по получаемой информации.
51. Сверхвысокий вакуум: необходимость применения, основы техники СВВ.
52. Сканирующая зондовая микроскопия: история, основные принципы.
53. Основные узлы СЗМ: пьезосканеры, зонды, система обратной связи.
54. Классификация и общая характеристика методов зондовой микроскопии.
55. Сканирующая туннельная микроскопия.
56. Туннельная спектроскопия.
57. Атомно-силовая (сканирующая силовая) микроскопия – общие принципы.
58. Кантилеверы, взаимодействие зонда с поверхностью.
59. Силовая спектроскопия.
60. Контактная АСМ, микроскопия латеральных сил.
61. Полуконтактная АСМ, фазовый контраст.
62. Неконтактная АСМ.
63. Электросиловая микроскопия.
64. Сканирующая емкостная микроскопия.
65. Сканирующая микроскопия Кельвина.
66. Магнитно-силовая микроскопия.
67. Ближнепольная оптическая микроскопии.
68. Сканирующая зондовая литография.
69. Фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС и УФЭС): физические принципы.
70. Фотоэлектронная спектроскопия: основное (источники излучения, энергоанализаторы) и дополнительное оборудование.
71. Фотоэлектронная спектроскопия: получаемая информация, практика применения.
72. УФ-фотоэлектронная спектроскопия.
73. Оже-электронная спектроскопия и микроскопия.
74. Масс-спектрометрия вторичных ионов.
75. Послойный анализ с помощью ОЭС, РФЭС, МСВИ.

76. Рентгеновская спектроскопия поглощения (EXAFS, XANES).

4.2.2. Сдача экзамена в конце 6 семестра

Если к концу семестра студент не имеет задолженностей по лабораторным работам и успешно прошел систему тестовых заданий, то он допускается к сдаче экзамена. Время и место сдачи определяется соответствующим расписанием.

Форма сдачи экзамена состоит в том, что студенту предлагается раскрыть содержание нескольких контрольных вопросов из второй части курса, список которых представлен ниже. В зависимости от качества ответа ему выставляется соответствующая экзаменационная оценка.

Итоговая оценка складывается на 50% из суммы оценок за выполнение лабораторных работ, на 40% по результатам экзаменационной оценки и дополнительных поощрительных баллов (до 10%) за примерную посещаемость, активность и пр.

Экзаменационные вопросы:

1. Определение температуры. Температурные шкалы. Реперные точки.
2. Реализация международной практической шкалы температур.
3. Измерение температуры. Газовый термометр.
4. Измерение температуры. Конденсационный термометр.
5. Измерение температуры. Термометр сопротивления.
6. Платиновый термометр сопротивления. Устройство, градуировка, измерение температуры
7. Измерение температуры. Полупроводниковые и угольные термометры.
8. Измерение температуры. Термопары.
9. Градуировка термометров.
10. Термостатирование.
11. Изменение давления над кипящим хладагентом.
12. Теплоемкость твердых тел.
13. Методы измерения теплоемкости.
14. Адиабатическая калориметрия.
15. Дифференциально-сканирующая калориметрия.
16. Дифференциальный термический анализ
17. Термогравиметрический анализ
18. Тепловое расширение твердых тел
19. Методы измерения теплового расширения.
20. Оптико-механический дилатометр.
21. Дилатометр с магнитным индукционным датчиком перемещений

22. Методы измерения теплопроводности.
23. Классификация ошибок измерений.
24. Распределение результатов измерений. Плотность распределения. Распределение Гаусса.
25. Обработка результатов прямых измерений
26. Обработка результатов косвенных измерений.
27. Обработка результатов совместных измерений
28. Интерполяция экспериментальных данных
29. Глобальная интерполяция
30. Локальная интерполяция
31. Сглаживание экспериментальных данных
32. Метод наименьших квадратов.
33. Аппроксимация набора экспериментальных данных линейной зависимостью.
34. Аппроксимация набора экспериментальных данных математическими функциями.
35. Систематические ошибки. Причины возникновения
36. Методы обнаружения и устранения систематических ошибок.

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

5.1. Основная литература

5.1.1. Основная литература (Модуль 1)

1. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. ИФМ РАН. Н.Новгород, 2004 г.
2. Э. В. Бурсиан. Физические приборы. М.Просвещение, 1984.
3. Д. Бриггс, М. П. Сих. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. М., Мир. 1987.
4. Дж. Сквайрс Практическая физика. М. Мир, 1971.

5.1.2. Основная литература (Модуль 2)

1. В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л. Энергоатомиздат, 1990. Д. Вудраф, Т. Делчар. Современные методы исследования поверхности. М., Мир, 1989.
2. Г. К. Уайт Экспериментальная техника в физике низких температур. М. 1961
3. Низкотемпературная калориметрия. Под ред. С.А.Улыбина, М. Мир, 1971.

4. С. И. Новикова Тепловое расширение твердых тел. М. Наука, 1974.
5. В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин. Исследования термодинамических свойств веществ. М.-Л. Госэнергоиздат, 1963.
6. Температурные измерения. Под редакцией Геращенко О.А., Киев: Наукова думка. 1989.
7. Л. А. Резницкий Калориметрия твердого тела. М. Изд-во МГУ.1981.
8. Б. Н. Бойко Прикладная микрокалориметрия. Отечественные приборы и методы М. Наука. 2006. 119 с.

5.2. Дополнительная литература

5.2.1. Дополнительная литература (Модуль 1)

1. А. Г. Сергеев, В. В. Крохин Метрология. Учебное пособие для вузов. М.: Логос, 2002. - 408 с.
2. Л. Фелдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М., Мир. 1989.
3. D. J. O'Connor, B. A. Sexton, R. S. C. Smart (Eds.) Surface Analysis Methods in Materials Science Series. Springer, 2nd ed., 2003.
4. К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин, А. В. Зотов, М. Катаяма. Введение в физику поверхности. М., Наука, 2006.
5. А. И. Лямкин, Ю. Л. Михлин, «Экспериментальные методы исследований» (электронный вариант).
6. Сканирующий зондовый микроскоп Nanoeducator. Руководство пользователя. ЗАО «Нанотехнология-МДТ»
7. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М.: Наука, 1973.
8. Э. Руска. Развитие электронного микроскопа и электронной микроскопии – Нобелевские лекции по физике – 1996. УФН, т. 154 (1988), вып.2, с. 243.
9. Г. Бинниг, Г. Рорер. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности – Нобелевские лекции по физике – 1996. УФН, т. 154 (1988), вып.2, с. 261.
10. В. С. Эдельман. Сканирующая туннельная микроскопия (обзор). Приборы и техника эксперимента, 1989, №5, с.25.
11. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. ИФМ РАН – г. Н. Новгород, 2004 г. - 110 с.
12. Руководство пользователя прибора NanoEducator. СЗМ

5.2.2. Дополнительная литература (Модуль 2)

1. Дж. Сквайрс Практическая физика. М. Мир, 1971.

2. П. В. Новицкий, И. А. Зограф Оценка погрешностей результатов измерений. Л. Энергоатомиздат, 1985.
3. Mathcad 7, 8, 2000, 2001, 11, 12, 13, 14. User's Guide MathSoft
4. Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров Анализ данных на компьютере. М. Финансы и статистика, 1995.
5. А. Г. Сергеев, В. В. Крохин Метрология. Учебное пособие для вузов. М.: Логос, 2002. - 408 с.
6. В. П. Дьяконов Mathematica 4.1/4.2/5.0 в математических и научно-технических расчетах. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. -696 с. (Серия "Библиотека профессионала").
7. В. П. Дьяконов Энциклопедия Mathcad 2001i/ 11. М.:СОЛОН-Пресс,2004.-832 с. (Серия "Библиотека профессионала").
8. А. И. Плис, Н. А. Сливина МАТНСАД математический практикум для инженеров и экономистов. М.: Финансы и статистика, 2003. -656 с.
9. И. Н. Флеров, М. В. Горев, В. Д. Фокина «Специальный практикум по теплофизическим свойствам веществ» (электронный вариант).
10. М. В. Горев «Обработка экспериментальных данных» (электронный вариант. pdf –формат)
11. Свободно распространяемые программы для научных и инженерных расчетов: Maxima, Scilab, Gnuplot. Сост. М. В. Горев (электронный вариант. pdf –формат)
12. Как писать статьи, отчеты по лабораторным, практическим и курсовым работам. Сост. М. В. Горев (электронный вариант. pdf –формат)
13. Графическое представление результатов измерений и расчетов. Подготовка графиков в Mathcad, Mathematica и Gnuplot. Сост. М. В. Горев (электронный вариант. pdf –формат)
14. А. М. Половко, И. В. Ганичев. Mathcad для студента. С.-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 336 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
1. Цели и задачи курса	2
1.1. Цели преподавания курса	2
1.2. Задачи курса	3
2. Объем и структура дисциплины. Распределение по темам и методические указания	4
2.1. Теоретическая часть	4
2.1.1. Модуль 1 «Экспериментальные методы исследования поверхности»	4
2.1.2. Модуль 2 «Экспериментальные методы исследования тепловых характеристик»	8
2.2. Лабораторные занятия	12
2.2.1. Темы лабораторных занятий в 5 семестре (Модуль 1)	12
2.2.2. Темы лабораторных занятий в 6 семестре (Модуль 2)	13
3. Самостоятельная работа студентов	14
4. Форма отчетности и контроля	15
4.1. Текущий контроль	15
4.2. Итоговый контроль	16
4.2.1. Сдача зачета в конце 5 семестра	16
4.2.2. Сдача экзамена в конце 6 семестра	19
5. Рекомендуемая литература	20
5.1. Основная литература	20
5.1.1. Основная литература (Модуль 1)	20
5.1.2. Основная литература (Модуль 2)	20
5.2. Дополнительная литература	21
5.2.1. Дополнительная литература (Модуль 1)	21
5.2.2. Дополнительная литература (Модуль 2)	21