

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А. Л. Толстик

(подпись)

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-2440 /уч.

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛИЗАЦИЮ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 01 Физика (по направлениям)
направление специальности
1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность)**

Минск 2016

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013 от 30.08.2013 и учебных планов №G31-161/уч. и №G31и-176/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.А. Карбалевиц - доцент кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, к.ф.м.н., доцент;

А.К. Федотов — профессор кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 7 от 17 мая 2016);

Советом физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 9 июня 2016 г.).

В. С.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины " Введение в специализацию " разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (1-31 04 01-04 управленческая деятельность).

Цель учебной дисциплины — формирование у студентов профессиональных базовых знаний в областях физики твердого тела и теплофизики для успешного освоения программы подготовки по специализации «Рациональная энергетика». *Основные задачи учебной дисциплины* — выработка умения самостоятельно приобретать и расширять знания в области физики твердого тела и теплофизики для последующей работы в сфере менеджмента новых материалов и технологий.

Программа курса состоит из двух тематических разделов: «Основы физики твердого тела» и «Основы теплофизики».

Эффективное использование новых материалов и технологий в их производстве, поиск оптимальных путей и сфер их применения требует высокого уровня подготовки специалистов. Поэтому изучение основ физики твердого тела и теплофизики необходимо для успешной профессиональной деятельности специалиста, имеющего квалификацию «Физик. Менеджер» и работающего в сфере менеджмента высоких технологий.

Раздел «Основы физики твердого тела» включает рассмотрение атомно-кристаллического строения твердых тел, динамики кристаллической решетки, энергетического спектра и динамики электронов в кристаллах в рамках зонной теории твердых тел, основ физики полупроводников, теплофизических и электрических свойств кристаллических твердых тел. Основная задача раздела — дать представление студентам об атомно-кристаллическом строении и электронной структуре твердых тел, а также о взаимосвязи структурных, электрических, теплофизических и других характеристик твердых кристаллических материалов.

Раздел «Основы теплофизики» включает рассмотрение современных представлений о процессах тепло- и массообмена, способах их диагностики и возможностях применения. Задача данного раздела состоит в том, чтобы ознакомить студентов с основами процессов переноса; способствовать формированию представлений о взаимосвязи явлений переноса тепла и вещества, методах исследования параметров тепло- и массообмена; научить студента видеть области применения данных методов, понимать возможности использования различных датчиков при решении конкретных теплофизических задач.

Дисциплина относится к циклу дисциплин специализации. *Материал дисциплины основан* на знаниях и представлениях, заложенных во время изучения дисциплин «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений». Он является базовым для последующего изучения дисциплин «Основы тепло- и массообмена» и «Рациональная энергетика», лабораторий специализации «Основы тепло-

физических измерений» и «Диагностика материалов энергетики», а также последующих курсов по выбору для двухлетней магистратуры.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные представления о строении кристаллов;
- основные модели физики твердого тела;
- основные представления о динамике кристаллической решетки и электронов в кристаллах;
- особенности основных физических свойств кристаллических твердых тел;
- линейные законы переноса тепла, массы, импульса и описывающие их дифференциальные уравнения;
- теоретические основы и практическую реализацию методов измерения температуры, коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, теплоемкости;

уметь:

- прогнозировать и объяснять основные свойства материалов, исходя из данных об их химическом составе и атомно-кристаллическом строении;
- объяснять принцип действия экспериментальных установок и датчиков, используемые в практике теплофизических исследований;
- объяснять теплофизические свойства материалов;
- решать стационарные и нестационарные задачи теплопроводности;

владеть:

- базовыми теоретическими моделями, описывающими физические свойства кристаллических твердых тел;
- основными методами исследования теплофизических процессов.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Требования к академическим компетенциям специалиста

Специалист должен:

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
2. Владеть системным и сравнительным анализом.
3. Владеть исследовательскими навыками.
4. Уметь работать самостоятельно.
5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Требования к социально-личностным компетенциям специалиста

Специалист должен:

1. Быть способным к социальному взаимодействию.

2. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
3. Владеть навыками здоровьесбережения.
4. Быть способным к критике и самокритике.
5. Уметь работать в команде.

Требования к профессиональным компетенциям специалиста

Специалист должен быть способен:

1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.
7. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины — 96, из них количество аудиторных часов — 62.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и контрольных мероприятий управляемой самостоятельной работы. На проведение лекционных занятий отводится 54 часа, управляемая самостоятельная работа — 8 часов.

Занятия проводятся на 3-м курсе в 5-м семестре.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Основы физики твердого тела

- 1.1. *Атомно-кристаллическое строение твердых тел.* Классификация твердых тел. Типы межатомных связей. Кристаллическая и пространственная решетки. Симметрия и анизотропия кристаллов. Принцип плотнейшей упаковки атомов. Основные типы кристаллических структур и методы их описания. Методы определения структуры кристаллов. Классификация дефектов. Точечные дефекты. Дислокации. Механические свойства кристаллов. Диаграмма деформации. Пластичность и хрупкость кристаллов.
- 1.2. *Динамика кристаллической решетки.* Основные положения квантовой механики и квантовой статистики твердых тел. Обратная решетка. Уравнения Лауэ. Зоны Бриллюэна. Упругие волны смещений атомов. Законы дисперсии одномерных атомных цепочек. Акустические и оптические волны. Колебания атомов в трехмерной решетке. Законы сохранения энергии и импульса. Фононы. Плотность состояний. Фононный спектр.
- 1.3. *Зонная теория кристаллических твердых тел.* Классическая теория свободных электронов Друде-Лорентца. Кинетическое уравнение Больцмана. Дифференциальный закон Ома. Закон Видемана-Франса. Эффект Холла. Квантовая теория свободных электронов Зоммерфельда. Уровень Ферми. Плотность электронных состояний. Термоэлектронная эмиссия. Металлическая проводимость в модели Зоммерфельда. Недостатки модели Зоммерфельда. Приближение сильной связи. Одноэлектронное адиабатическое приближение. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пенни. Структура энергетических зон. Заполнение электронами энергетических зон в кристаллах. Движение электрона в периодическом поле ионов кристалла и под действием внешнего электрического поля. Модель эффективной массы электрона.
- 1.4. *Основы физики полупроводников.* Примеси и дефекты в полупроводниковых кристаллах. Энергетические диаграммы для описания поведения электронов и дырок в полупроводниковых кристаллах. Водородоподобные примеси. Электропроводность собственных и примесных полупроводников. Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках. Поведение уровня Ферми в полупроводниках.
- 1.5. *Тепловые свойства твердых тел.* Средняя энергия тепловых колебаний решетки. Квантовый осциллятор. Дебаевская теплоемкость в кристаллах. Ангармонизм колебаний атомов в кристаллах. Тепловое расширение кристаллов. Решеточная теплопроводность твердых тел. Теплоемкость и теплопроводность электронов в кристаллах.
- 1.6. *Электрические свойства твердых тел.* Металлы, полупроводники, диэлектрики. Электропроводность металлов (модель Блоха-Грюнайзена). Механизмы рассеяния электронов в металлах и полупро-

водниках. Концентрация носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.

2. Основы теплофизики

- 2.1. **Явления переноса в твердых телах, жидкостях и газах.** Явления переноса массы в идеальном газе. Процессы молекулярной диффузии. 1 закон Фика. Явления переноса количества движения. Процессы внутреннего трения в газах. Закон Ньютона для вязкого трения. Процессы переноса внутренней энергии. Процессы теплопроводности в газах. Закон Фурье. Физический смысл коэффициентов переноса. *Зависимость коэффициентов переноса от различных термодинамических параметров.* Зависимость коэффициента диффузии газов от температуры. Зависимость коэффициента вязкости газов от температуры и давления. Зависимость коэффициента теплопроводности газов от температуры и давления. *Особенности явлений переноса в жидких средах и твердых телах.* Уравнение диффузии для жидких сред. Зависимость коэффициента диффузии жидкостей от температуры. Внутреннее трение в жидкостях. Зависимость коэффициента динамической вязкости жидких сред от температуры. Механизм распространения теплоты в жидких средах. Зависимость коэффициента теплопроводности жидкостей от температуры. Зависимость коэффициентов теплопроводности металлов, неметаллов и пористых тел от температуры. *Процессы переноса теплоты.* Перенос тепла теплопроводностью. Температурное поле, тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Конвективный перенос тепла. Плотность теплового потока, характеризующего конвективный теплообмен. Теплоотдача и теплопередача. Закон Ньютона-Рихмана. Физический смысл коэффициента теплообмена. Радиационный теплообмен. Основные законы теплового излучения абсолютно черного тела.
- 2.2. **Методы измерения температуры. Физические принципы работы первичных преобразователей температуры.** Различные типы термометров, используемых в измерительной технике: dilatометрический, биметаллический, газовый конденсационный, термоиндикаторный. Металлические термометры сопротивления. Материалы, применяемые для изготовления термометров сопротивления. Температурные коэффициенты сопротивления. Границы применения металлических термометров сопротивления. Полупроводниковые термометры сопротивления. Температурные коэффициенты сопротивления. Области применения различного типа термометров сопротивления. Измерение температуры с помощью термометров сопротивления. *Термоэлектрические явления. Измерение температуры с помощью термопар.* Причины, обуславливающие возникновение контактной разности потенциалов. Эффект Зеебека. Термоэлемент и термобатарея. Эффект Пельтье. Полупроводниковые и металлические термоэлементы. Характеристики различных термопар и области их применения.

ния. Измерение температуры с помощью термопар. Погрешности контактных методов измерения температуры. *Оптические методы измерения температуры.* Оптические (яркостные) пирометры: устройство и принцип действия. Радиационные пирометры: устройство и принцип действия. Цветовые пирометры. Фотоэлектрические цветовые пирометры. Погрешности измерения температуры пирометрами. *Акустические методы измерения температуры.* Зависимость скорости газовых сред от температуры. Метод акустической интерференции. Нестационарный акустический эффект Доплера. Частотный метод определения температуры. Волоконно-оптические датчики температуры. Термоиндикаторный метод измерения температуры. Тепловизионные методы измерения температуры.

2.3. *Элементы теории теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности.* Нестационарное дифференциальное уравнение теплопроводности при наличии теплового источника. Стационарное уравнение теплопроводности (уравнение Лапласа). Физический смысл коэффициентов теплопроводности и температуропроводности. Краевые условия. Граничные условия, реализуемые в теплофизических исследованиях: граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода. *Теплопроводность в стационарном режиме.* Передача теплоты через плоскую стенку при граничных условиях 1-3 рода. Тепловая проводимость и термическое сопротивление однослойной и многослойной стенки. Передача теплоты через цилиндрическую стенку при граничных условиях 1-3 рода. Передача теплоты через сферическую стенку при граничных условиях 1 и 3. рода. Пути интенсификации процесса теплопередачи. *Теплопроводность в нестационарном режиме.* Нестационарная одномерная задача теплопроводности для тел плоской геометрии с граничными условиями 3 рода. Нестационарная задача теплопроводности для тел плоской геометрии с граничными условиями 1 и 2 рода.

2.4. *Экспериментальные методы определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности различных сред. Экспериментальные методы определения теплоемкости. Определение теплофизических характеристик в среде постоянной температуры.* Нестационарные методы определения теплофизических характеристик в начальной стадии теплообмена. Определение коэффициента теплопроводности сравнительным методом в стационарном режиме. *Определение теплофизических характеристик в среде постоянной температуры при наличии источника тепла.* Нестационарные методы определения теплофизических характеристик в начальной стадии теплообмена. Определение коэффициента температуропроводности в регулярном режиме. Определение коэффициента теплопроводности в стационарном режиме. *Импульсные методы определения теплофизических характеристик.* Метод импульсного линейного источника тепла. Метод импульсного плоского источника тепла.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7		8	9
1	ОСНОВЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА	6							
1.1	Атомно-кристаллическое строение твердых тел	2							
1.1.1	Классификация твердых тел. Типы межатомных связей. Кристаллическая и просторанственная решетки. Симметрия и анизотропия кристаллов.	2						[1-6, 16]	
1.1.2	Принцип плотнейшей упаковки атомов. Основные типы кристаллических структур и методы их описания. Методы определения структуры кристаллов.	2						[1-6, 16]	Тест
1.1.3	Классификация дефектов. Точечные дефекты. Дислокации. Механические свойства кристаллов. Диаграмма деформации. Пластичность и хрупкость кристаллов.	2						[1-6, 16]	Тест
1.2	Динамика кристаллической решетки	4					2		
1.2.1	Основные положения квантовой механики и квантовой статистики твердых тел. Обратная решетка. Уравнения Лауэ. Зоны Бриллюэна. Упругие волны смещений атомов. Законы дисперсии одномерных атомных цепочек. Акустические и оптические волны.	2						[1-6, 16]	Тест
1.2.2	Колебания атомов в трехмерной решетке. Законы сохранения энергии и импульса. Фононы. Плотность состояний. Фононный спектр	2						[1-6, 16]	Тест
1.2.3	Текущий контроль знаний студентов по разделам «Атомно-кристаллическое строение твердых тел» и «Динамика кристаллической решетки»						2		Контрольная работа
1.3	Зонная теория кристаллических твердых тел	8							
1.3.1	Классическая теория свободных электронов Друде-Лорентца. Кинетическое уравнение Больцмана. Дифференциальный закон Ома. Закон Видемана-Франса. Эффект Холла.	2						[1-6, 16]	Тест

1.3.2	Квантовая теория свободных электронов Зоммерфельда. Уровень Ферми. Плотность электронных состояний. Термoeлектронная эмиссия. Металлическая проводимость в модели Зоммерфельда. Недостатки модели Зоммерфельда.	2						[1-6, 16]	Тест
1.3.3	Приближение сильной связи. Одноэлектронное адиабатическое приближение. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пенни. Структура энергетических зон. Заполнение электронами энергетических зон в кристаллах.	2						[1-6, 16]	Тест
1.3.4	Движение электрона в периодическом поле ионов кристалла и под действием внешнего электрического поля. Модель эффективной массы электрона.	2						[1-6, 16]	Тест
1.4	Основы физики полупроводников	4					2		
1.4.1	Примеси и дефекты в полупроводниковых кристаллах. Энергетические диаграммы для описания поведения электронов и дырок в полупроводниковых кристаллах. Водородоподобные примеси. Электропроводность собственных и примесных полупроводников.	2						[1-6, 16]	Тест
1.4.2	Статистика электронов и дырок в собственных и примесных полупроводниках. Поведение уровня Ферми в полупроводниках.	2						[1-6, 16]	Тест
1.4.3	Текущий контроль знаний студентов по разделам «Зонная теория кристаллических твердых тел» и «Основы физики полупроводников»						2		Контрольная работа
1.5	Тепловые свойства твердых тел	2							
1.5.1	Средняя энергия тепловых колебаний решетки. Квантовый осциллятор. Дебаевская теплоемкость в кристаллах. Ангстремизм колебаний атомов в кристаллах. Тепловое расширение кристаллов. Решеточная теплопроводность твердых тел. Теплоемкость и теплопроводность электронов в кристаллах.	2						[1-6, 16]	Тест
1.6	Электрические свойства твердых тел	2							
1.6.1	Металлы, полупроводники, диэлектрики. Электропроводность металлов (модель Блоха-Грюнайзена). Механизмы рассеяния электронов в металлах и полупроводниках. Концентрация носителей заряда в полупроводниках. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.	2						[1-6, 16]	Тест
2	ОСНОВЫ ТЕПЛОФИЗИКИ								
2.1	Явления переноса в твердых телах, жидкостях и газах	4							
2.1.1	<i>Процессы переноса в идеальном газе.</i> Основные термины и определения. Явления переноса массы в идеальном газе. Процессы молекулярной диффузии. I закон Фика. Явления переноса количества движения. Процессы внутреннего трения в газах. Закон Ньютона для вязкого трения. Процессы переноса внутренней энергии. Процессы теплопроводности в газах. Закон Фурье. Физический смысл коэффициентов переноса. <i>Зависимость коэффициентов переноса от различных термодинамических параметров.</i>	2						[7], [16]	

	Зависимость коэффициента диффузии газов от температуры. Зависимость коэффициента вязкости газов от температуры и давления. Зависимость коэффициента теплопроводности газов от температуры и давления. <i>Особенности явлений переноса в жидких средах и твердых телах</i> Уравнение диффузии для жидких сред. Зависимость коэффициента диффузии жидкостей от температуры. Внутреннее трение в жидкостях. Зависимость коэффициента динамической вязкости жидких сред от температуры. Механизм распространения теплоты в жидких средах. Зависимость коэффициента теплопроводности жидкостей от температуры. Теплопроводность твердых тел. Механизм переноса тепла в металлах и неметаллических кристаллах. Зависимость коэффициентов теплопроводности металлов, неметаллов и пористых тел от температуры.										
2.1.2.	<i>Процессы переноса теплоты.</i> Перенос тепла теплопроводностью. Температурное поле, тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Конвективный перенос тепла. Плотность теплового потока, характеризующего конвективный теплообмен. Теплоотдача и теплопередача. Закон Ньютона-Рихмана. Физический смысл коэффициента теплообмена. Радиационный теплообмен. Основные законы теплового излучения абсолютно черного тела.	2									[7], [16], [23]
2.2	Методы измерения температуры	6							1		
2.2.1.	<i>Физические принципы работы первичных преобразователей температуры</i> Различные типы термометров, используемых в измерительной технике: dilatометрический, биметаллический, газовый конденсационный, термоминдикаторный. Металлические термометры сопротивления. Материалы, применяемые для изготовления термометров сопротивления. Температурные коэффициенты сопротивления. Границы применения металлических термометров сопротивления. Полупроводниковые термометры сопротивления. Температурные коэффициенты сопротивления. Области применения различного типа термометров сопротивления. Измерение температуры с помощью термометров сопротивления.	2									[7], [8], [10-13]
2.2.2	<i>Термоэлектрические явления. Измерение температуры с помощью термопар.</i> Причины, обуславливающие возникновение контактной разности по-	2									[7], [8], [10-13]

[illegible]

2.3.6	Текущий контроль знаний студентов по разделу «Элементы теории теплопроводности»							1		Контрольная работа
2.4	Экспериментальные методы определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности различных сред. Экспериментальные методы определения теплоемкости.	8						2		
2.4.1	Определение теплофизических характеристик в среде постоянной температуры. Нестационарные методы определения теплофизических характеристик в начальной стадии теплообмена. Определение коэффициента теплопроводности сравнительным методом в стационарном режиме.	2						[8], [14], [16]		
2.4.2	Определение теплофизических характеристик в среде постоянной температуры при наличии источника тепла. Нестационарные методы определения теплофизических характеристик в начальной стадии теплообмена. Определение коэффициента температуропроводности в регулярном режиме. Определение коэффициента теплопроводности в стационарном режиме.	2								
2.4.3	Импульсные методы определения теплофизических характеристик. Метод импульсного линейного источника тепла. Метод импульсного плоского источника тепла.	2						[8], [14], [16]		
2.4.4	Экспериментальные методы определения теплофизических характеристик. Методы определения коэффициентов тепло- и температуропроводности, теплоемкости материалов.	2						2		Защита рефератов

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной и дополнительной литературы

Основная

1. Федотов А.К., Физическое материаловедение. Ч.1. Физика твердого тела / А.К. Федотов. – Мн.: Вышэйшая школа, 2010. – 400 с.
2. Павлов, П.В., Физика твердого тела. / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - М.: Высшая школа, 1985. – 295 с.
3. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела. / Ч. Киттель. - М.: Физматгиз, 1963. – 451 с.
4. Блекмор, Дж. Физика твердого тела. / Дж. Блекмор. - М.: Мир, 1988. – 302 с.
5. Епифанов, Г.И.. Физика твердого тела. / Г.И.. Епифанов. - М.: Высшая школа, 1965. – 178 с.
6. Физика твердого тела. Под ред. И.К. Верещагина. / М.: Высшая школа, 2001.- 126 с.
7. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т. 1 / И.В. Савельев. — М.: Наука, 1980.— 308 с.
8. Походун, А.И. Экспериментальные методы исследования. Измерение теплофизических величин / А.И. Походун, А.В. Шарков. — СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2006. — 87 с.
9. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. — М.: Энергоиздат, 1981.— 417 с.
10. Бошняк, Л.Л. Измерения при теплотехнических исследованиях / Л.Л. Бошняк. — Л.:Машиностроение, 1974.— 192 с.
11. Ярышев, Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур / Н.А. Ярышев.— М.: Наука, 1976.— 348 с.
12. Новицкий, А.М. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Новицкий. — Л.: Энергия, 1983.— 426 с.
13. Евдокимов, И.Н. Методы и средства исследований, ч. 1. Температура / И.Н.Евдокимов. — М.: РГУНиГ, 2004.— 106 с.
14. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. М.: Энергия, 1973. – 336 с.
15. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Наука, 1968. – 596 с.
16. Электронная книга “Energy effective materials”, Lublin Technical University, Lublin, 2016.
17. Электронная книга “Gas and hydrodynamics”, Riga Technical University, Riga, 2014.

Дополнительная

16. Солнцев, Ю.П. Материаловедение../ Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф М Войткун – М.: Изд. МИСИС, 1999.- 345 с.

17. Научные основы материаловедения. Под ред. Б.Н. Арзамасова. / М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. – 361 с.
18. Уэрт, Ч. Физика твердого тела. / Ч. Уэрт, Р. Томсон - М.: Мир, 1969. – 286 с.
19. Ван Флек. Теоретическое и прикладное материаловедение. / Ван Флек. - М.: Атомиздат, 1975. – 284 с.
20. Орешкин, П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. / П.Т Орешкин. - М.: Высшая школа, 1977. – 308 с.
21. Китель, Ч. Элементарная физика твердого тела. / Ч. Китель. - М.: Физматгиз, 1965. – 208 с.
22. Красюк, Б.А. Световодные датчики / Б.А.Красюк.— М.: Машиностроение, 1990.— 399 с.
23. Берман, Р. Теплопроводность твердых тел / Р.Берман.— М.:Мир, 1979.— 296 с.

Примерные перечни заданий управляемой самостоятельной работы

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Контрольные работы;
2. Тестовые задания по разделам дисциплины; тесты
3. Защита реферативных работ;
4. Устные опросы.

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

Рекомендуемые разделы для составления контрольных работ

1. Атомно-кристаллическое строение твердых тел
2. Основные положения квантовой механики и квантовой статистики твердых тел.
3. Динамика кристаллической решетки
4. Зонная теория кристаллических твердых тел.
5. Основы физики полупроводников.
6. Элементы теории переноса.
7. Методы измерения температуры.

Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий

1. Классификация твердых тел по типам межатомных связей.
2. Кристаллическая и пространственная решетки.
3. Симметрия и анизотропия кристаллов.
4. Типы плотнейших упаковок атомов в кристаллах.
5. Основные типы кристаллических структур.
6. Методы описания пространственных решеток.
7. Классификация дефектов в кристаллических решетках.
8. Точечные дефекты и дислокации.

9. Методы определения структуры кристаллов.
10. Диаграмма деформации. Пластичность и хрупкость кристаллов.
11. Механические свойства кристаллов.
12. Обратная решетка.
13. Уравнения Лауэ. Зоны Бриллюэна.
14. Анализ закона дисперсии одномерной одноатомной цепочки.
15. Анализ закона дисперсии одномерной двухатомной цепочки для акустической ветви.
16. Анализ закона дисперсии одномерной двухатомной цепочки для оптической ветви.
17. Анализ закона дисперсии в трехмерной решетке.
18. Законы сохранения энергии и импульса упругих волн смещений в кристаллической решетке. Фононы.
19. Фононный спектр. Плотность состояний.
20. Основные постулаты классической теории свободных электронов Друде-Лорентца.
21. Дифференциальный закон Ома.
22. Теплоемкость классического электронного газа.
23. Теплопроводность классического электронного газа.
24. Закон Видемана-Франса.
25. Кинетическое уравнение Больцмана.
26. Эффект Холла.
27. Затруднения классической модели электронного газа.
28. Основные постулаты квантовой теории свободных электронов Зоммерфельда.
29. Закон дисперсии электронов в кристалле.
30. Уровень Ферми электронов в металлах.
31. Плотность электронных состояний в кристаллах.
32. Термоэлектронная эмиссия.
33. Металлическая проводимость в модели Зоммерфельда.
34. Достоинства и недостатки модели Зоммерфельда.
35. Приближение сильной связи для описания энергетического спектра электронов в кристалле.
36. Решение уравнения Шредингера в одноэлектронном адиабатическом приближении. Теорема Блоха.
37. Модель Кронига-Пенни.
38. Анализ модели Кронига-Пенни.
39. Структура энергетических зон в кристаллах (модель Кронига-Пенни).
40. Заполнение электронами энергетических зон в кристаллах.
41. Металлы, полупроводники, диэлектрики с точки зрения зонной теории кристаллов.
42. Движение электрона в периодическом поле ионов кристалла и под действием внешнего электрического поля.
43. Модель эффективной массы электрона в кристаллах.

44. Примеси и дефекты в полупроводниковых кристаллах.
45. Анализ энергетической диаграммы для описания поведения электронов и дырок в собственных полупроводниковых кристаллах.
46. Анализ энергетической диаграммы для описания поведения электронов в полупроводниковых кристаллах n-типа проводимости.
47. Анализ энергетической диаграммы для описания поведения электронов в полупроводниковых кристаллах p-типа проводимости.
48. Водородоподобные примеси.
49. Электропроводность собственных и примесных полупроводников.
50. Электронейтральность в полупроводниках.
51. Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике.
52. Концентрация электронов и дырок в примесных полупроводниках.
53. Влияние температуры на поведение уровня Ферми в полупроводниках.
54. Средняя энергия тепловых колебаний решетки.
55. Дебаевская теплоемкость в кристаллах.
56. Ангармонизм колебаний атомов.
57. Тепловое расширение кристаллов.
58. Решеточная теплопроводность твердых тел.
59. Теплоемкость свободных электронов в кристаллах.
60. Теплопроводность свободных электронов в кристаллах.
61. Электропроводность металлов (основные постулаты модели Блоха-Грюнайзена).
62. Модель Блоха-Грюнайзена для электрической проводимости металлов.
63. Механизмы рассеяния электронов в металлах.
64. Подвижность носителей заряда в полупроводниках.
65. Концентрация носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках.
66. Температурные зависимости электропроводности в полупроводниках.

Примерная тематика реферативных работ

1. Модели решеточной теплоемкости кристаллов.
2. Тепловое расширение кристаллов.
3. Решеточная теплопроводность кристаллов.
4. Теплоемкость и теплопроводность электронов в кристаллах.
5. Фононный спектр кристаллов.
6. Энергетический спектр электронов в кристаллических твердых телах.
7. Экспериментальные методы измерения электропроводности и эффекта Холла.
8. Экспериментальные методы определения коэффициентов теплопроводности.

9. Экспериментальные методы определения коэффициентов температуропроводности.
10. Экспериментальные методы определения теплоемкости сред.
11. Экспериментальные методы определения структуры твердых тел.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания по разделам дисциплины, защитные реферативные работы, устные опросы и контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой, мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование и контрольные работы проводятся в письменной форме. Каждый из письменных тестов и контрольные работы включают в себя 10-20 заданий в открытой форме. На выполнение тестов и контрольных работ отводится от 10 до 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания, а также калькуляторы. Оценка каждого из тестов и контрольных работ проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений с презентациями и последующей дискуссией с ответами на вопросы. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале исходя из четырех критериев – полнота и качество реферата, качество презентации, качество выступления и полнота ответов на вопросы.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое из письменных тестирований, контрольных работ и оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Основы тепло- и массообмена	Кафедра энергофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Протокол №7 от 17.05.2016 г.

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 20__ г.)

М.С. Тиванов

В.М. АНИЩИК