

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОСТРУКТУРАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4; 3 семестр - 4; всего - 8
Часов (всего) по учебному плану:	288 часа
Лекции	2 семестр - 32 часа; 3 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
Практические занятия	2 семестр - 32 часа; 3 семестр - 16 часов; всего - 48 часа
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа; 3 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
Самостоятельная работа	2 семестр - 77,5 часа; 3 семестр - 93,5 часа; всего - 171,0 час
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Коллоквиум	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaeae2f

А.С. Дмитриев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaeae2f

А.С. Дмитриев

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

Ю.Ю. Пузина

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: систематизация полученных при изучении базовых дисциплин специальности знаний о тепловых процессах в наносистемах и наноструктурированных материалах, приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач

Задачи дисциплины

- изучение тепловых процессах в наносистемах и наноструктурированных материалах, особенностях размерных эффектов и теплопереноса в одномерных, двумерных и трехмерных наноструктурах;
- изучение теплопереноса в наножидкостях и нанокompозитах, в наноструктурированных термоэлектрических материалах;
- изучение особенностей радиационного переноса в наносистемах с учетом размерных и квантовых эффектов, ознакомление с современным состоянием исследований в соответствующих областях, приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-2ПК-1 Владеет навыками расчета теплогидравлических процессов в элементах энергетического оборудования, навыки постобработки результатов расчетов и компьютерного моделирования этих процессов	знать: - способы расчета процессов переноса тепла в наноматериалах и наносистемах с целью применения их на практике для разработки новых функциональных материалов. уметь: - проводить тепловые расчеты в наноматериалах и нанотехнологиях.
ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития наноразмерных систем и устройств	ИД-2ПК-3 Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности наноразмерных систем и устройств	знать: - механизмы переноса тепла в наножидкостях и нанокompозитах, в наноструктурированных термоэлектрических материалах; - выбор параметров тепловых процессах в наносистемах и наноструктурированных материалах, особенностях размерных эффектов и теплопереноса в одномерных, двумерных и трехмерных наноструктурах; - методы расчета процессов переноса тепла в системах прямого преобразования энергии с применением нанотехнологий и наноматериалов. уметь: - проводить расчеты энергоэффективности типовых

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		нанотехнологических устройств; - подбирать наножидкости и нанокompозиты для типовых нанотехнологических устройств; - проводить тепловые расчеты в наножидкостях и нанокompозитах, в наноструктурированных термоэлектрических материалах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Прикладная физика
- знать Термодинамика
- знать Теория тепло- и массообмена
- знать Физика конденсированного состояния
- знать Квантовая и оптическая электроника

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение в теплофизику микро- и наносистем	12	2	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение в теплофизику микро- и наносистем"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 5-19 [2], 59-87 [4], 59-87</p>	
1.1	Введение в теплофизику микро- и наносистем	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
2	Методы охлаждения электронных устройств	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Методы охлаждения электронных устройств"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 19-28</p>
2.1	Методы охлаждения электронных устройств	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
3	Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла	16		6	-	6	-	-	-	-	-	4	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 19-28 [2], 59-87 [4], 59-87</p>
3.1	Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла	16		6	-	6	-	-	-	-	-	4	-		

4	Микроскопические основы теплопереноса	22		6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Микроскопические основы теплопереноса" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 39-56 [2], 115-173 [4], 115-173
4.1	Микроскопические основы теплопереноса	22		6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	
5	Кинетика переноса тепла в наноструктурах	22		6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Кинетика переноса тепла в наноструктурах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 39-56 [2], 115-173 [4], 115-173
5.1	Кинетика переноса тепла в наноструктурах	22		6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	
6	Теплоперенос в нанотрубках и графене	24		6	-	6	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплоперенос в нанотрубках и графене" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 39-56 [2], 261-292 [3], 252-309 [4], 261-292
6.1	Теплоперенос в нанотрубках	12		3	-	3	-	-	-	-	-	6	-	
6.2	Теплоперенос в графене	12		3	-	3	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0		32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	32	2				0.5	77.5		
7	Теплоперенос в нанокompозитах	12	3	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплоперенос в нанокompозитах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 86-109 [2], 453-485
7.1	Теплоперенос в нанокompозитах	12		4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	

													[3], 102-120; 122-130 [4], 453-485	
8	Теплоперенос в наножидкостях	15	6	-	3	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплоперенос в наножидкостях" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 179-186 [2], 495-527 [3], 131-139 [4], 495-527
8.1	Теплоперенос в наножидкостях	15	6	-	3	-	-	-	-	-	-	6	-	
9	Микро- и наногидродинамика	15	6	-	3	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Микро- и наногидродинамика" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 377-426 [4], 377-426
9.1	Микро- и наногидродинамика	15	6	-	3	-	-	-	-	-	-	6	-	
10	Особенности наноструктурированных поверхностей	26	8	-	4	-	-	-	-	-	-	14	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности наноструктурированных поверхностей" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 91-117 [2], 528-596 [4], 528-596
10.1	Особенности наноструктурированных поверхностей	6	2	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-	
10.2	Теоретические модели смачивания	6	2	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-	
10.3	Управление смачиванием, растеканием. Супергидрофобность.	7	2	-	1	-	-	-	-	-	-	4	-	
10.4	Процессы на наноструктурированных поверхностях	7	2	-	1	-	-	-	-	-	-	4	-	
11	Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах	22	4	-	2	-	-	-	-	-	-	16	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплоперенос в термоэлектрических"
11.1	Теплоперенос в	22	4	-	2	-	-	-	-	-	-	16	-	

	термоэлектрических наноматериалах												наноматериалах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 653-737 [3], 252-309 [4], 653-737
12	Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения	18	4	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 236-274 [2], 600-652 [4], 600-652
12.1	Радиационный теплоперенос в наноструктурах	18	4	-	2	-	-	-	-	-	12	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	16	2	-	-	0.5	60	93.5		
	ИТОГО	288.0	-	64	-	48	4	-	-	1.0	171.0		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение в теплофизику микро- и наносистем

1.1. Введение в теплофизику микро- и наносистем

Тепловые процессы и их эволюция. Нагрев и утилизация тепла в микроэлектронике.. Температурные градиенты внутри микро- и наноустройств. Эволюция скорости передачи данных..

2. Методы охлаждения электронных устройств

2.1. Методы охлаждения электронных устройств

Механизмы переноса тепла и охлаждение микроэлектронных устройств.

3. Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла

3.1. Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла

Характерное распределение температуры в перспективном транзисторном узле.. Кремниевая наноэлектроника – проблемы охлаждения.. Углеродная наноэлектроника – проблемы охлаждения.. Характерные объекты нанотеплофизики: простые, сложные, контактные. Примеры характерных объектов наноструктур для изучения переноса тепла..

4. Микроскопические основы термопереноса

4.1. Микроскопические основы термопереноса

Происхождение носителей тепла.. Кристаллическая решетка и фононы. Колебания кристаллической решетки: один и два атома в ячейке. Акустические и оптические моды в кристалле. Фононы в конденсированном теле и их основные свойства. Статистика и плотность состояний фононов.. Теплоемкость кристаллической решетки. Фононная теплопроводность диэлектриков.

5. Кинетика переноса тепла в наноструктурах

5.1. Кинетика переноса тепла в наноструктурах

Проблемы описания переноса тела с учетом размерных эффектов. Схема различных режимов переноса с учетом размерных эффектов.. Теплоперенос в нанопроволоках. Кинетика описания переноса тепла в нанопроволоках. Метод вычисления теплопроводности нанопроволок. Теплопроводность нанопроволок Si: эксперименты и модели.

6. Теплоперенос в нанотрубках и графене

6.1. Теплоперенос в нанотрубках

Теплоперенос в нанотрубках.. Экспериментальные данные и модели переноса. Баллистический перенос тепла в ОСУНТ.. Квантование теплопроводности нанотрубок. Квазибаллистический теплоперенос в ОСУНТ.. Особенности теплопроводности металлических нанотрубок. Диффузионный перенос в ОСУНТ.. Крушение закона Фурье в нанотрубках. Термическая проводимость наноматов углеродных нанотрубок..

6.2. Теплоперенос в графене

Перенос тепла в графене..

7. Теплоперенос в нанокompозитах

7.1. Теплоперенос в нанокompозитах

Типы нанокompозитов и особенности переноса тепла в них. Микрокомпозиты и эффективная среда: модели и ограничения. Модели эффективного переноса тепла в нанокompозитах.. Роль термического сопротивления на границах.. Тепловые свойства нанокompозитов на основе углеродных нанотрубок и полиэтилена высокой плотности.. Метод неравновесной молекулярной динамики при расчете теплопереноса в нанокompозитах..

8. Теплоперенос в наножидкостях

8.1. Теплоперенос в наножидкостях

Общие свойства наножидкостей.. Теплопроводность и конвективный перенос тепла в наножидкостях. Процессы кипения наножидкостей.. Модели эффективной среды для наножидкостей.. Экспериментальные данные по теплопереносу в наножидкостях..

9. Микро- и наногидродинамика

9.1. Микро- и наногидродинамика

Особенности гидродинамики в микро- и наномасштабах.. Общие уравнения гидродинамики: вклад размерных эффектов. Граничное условие проскальзывания.. Течения в плоских и каналах и каналах кругового сечения: течения Куэтта и Пуазейля с эффектами проскальзывания.. Течения через мембраны с нанопорами.. Течения внутри нанотрубок и полых нанопроволок.. Двухфазные микро- и нанотечения. Системы и устройства с микро- и нанотечениями..

10. Особенности наноструктурированных поверхностей

10.1. Особенности наноструктурированных поверхностей

Особенности природных мезо- и наноструктурных поверхностей.. Искусственные супергидрофобные поверхности..

10.2. Теоретические модели смачивания

Модель Юнга.. Модели для шероховатых поверхностей: модели Венцеля и Касси-Бакстера.. Современные модели смачивания супершероховатых поверхностей.. Обобщенная теория контактных углов на сверхшероховатых поверхностях.. Вычисление контактных углов на конкретных поверхностях.. Процессы на нанощероховатых и супергидрофобных поверхностях..

10.3. Управление смачиванием, растеканием. Супергидрофобность.

Технологии для получения поверхности с заданными углами смачивания и растекания.. Управление смачиванием, растеканием и супергидрофобностью.. Супергидрофобные поверхности с нанотрубками.. Нанопереходы на основе нанопроволок.. Супергидрофобные поверхности с другими наноструктурами.. Электросмачивание. Тепловое управление режимами смачиваемости. Управление электромагнитным излучением.

10.4. Процессы на наноструктурированных поверхностях

Физика кипения на наноструктурированных поверхностях.. Кипение в структуре нанопроволок.. Наноструктурированные микропористые поверхности.. Наноструктурированные функциональные поверхности..

11. Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах

11.1. Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах

Общие свойства термоэлектричества.. Наноматериалы в термоэлектрическом преобразовании энергии и термоэлектрическом охлаждении.. Эффективность термоэлектрического преобразования.. Расчет параметров переноса тепла в термоэлектрических наноматериалах..

12. Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения

12.1. Радиационный теплоперенос в наноструктурах

Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения.. Роль поверхностных поляритонов в формировании ближнего радиационного поля.. Тепловая радиация в дальнем и ближнем поле.. Особенности радиационного переноса тепла в наноструктурах.. Вычисление тепловых радиационных потоков в конкретных наносистемах: между двумя плоскостями, между наночастицей и поверхностью, между двумя наночастицами..

3.3. Темы практических занятий

1. Анализ методов вычисления переноса тепла.;
2. Углеродная наноэлектроника – проблемы охлаждения.;
3. Вычисление теплопроводности на основе решений уравнения Больцмана.;
4. Вычисление теплопроводности графена.;
5. Вычисление теплопроводности нанопроволок.;
6. Вычисление теплопроводности нанотрубок.;
7. Течение жидкостей в нанотрубках и полых нанопроволоках.;
8. Вычисление течений Пуазейля с проскальзыванием.;
9. Оценки параметров кипения наножидкостей.;
10. Вычисление контактных углов в моделях Юнга и Венцеля.;
11. Вычисление контактных углов в модели Касси-Бакстера.;
12. Расчет режимов электросмачивания наноструктурных поверхностей.;
13. Расчет переноса тепла в нанокompозитах и наножидкостях.;
14. Нагрев и утилизация тепла в микроэлектронике. Оценки процессов..

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в теплофизику микро- и наносистем"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы охлаждения электронных устройств"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Микроскопические основы теплопереноса"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Кинетика переноса тепла в наноструктурах"

6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплоперенос в нанотрубках и графене"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплоперенос в нанокompозитах"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплоперенос в наножидкостях"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Микро- и наногидродинамика"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Особенности наноструктурированных поверхностей"
11. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах"
12. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)												Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Знать:														
способы расчета процессов переноса тепла в наноматериалах и наносистемах с целью применения их на практике для разработки новых функциональных материалов	ИД-2ПК-1	+	+											Контрольная работа/Расчет охлаждения устройств микро- и нанoeлектроники
методы расчета процессов переноса тепла в системах прямого преобразования энергии с применением нанотехнологий и наноматериалов	ИД-2ПК-3			+	+									Контрольная работа/Уравнение Больцмана для фононов. Механизмы рассеяния фононов
выбор параметров тепловых процессах в наносистемах и наноструктурированных материалах, особенностях размерных эффектов и теплопереноса в одномерных, двумерных и трехмерных наноструктурах	ИД-2ПК-3							+	+					Контрольная работа/Размерные эффекты и теплопереноса в одномерных, двумерных и трехмерных наноструктурах
механизмы переноса тепла в наножидкостях и нанокompозитах, в наноструктурированных термоэлектрических материалах	ИД-2ПК-3										+	+		Контрольная работа/Механизмы переноса тепла в наножидкостях
Уметь:														
проводить тепловые расчеты в наноматериалах и нанотехнологиях	ИД-2ПК-1					+								Контрольная работа/Кинетические методы в переносе тепла в наноструктурах
проводить тепловые расчеты в наножидкостях и нанокompозитах, в	ИД-2ПК-3												+	Коллоквиум/Разработка новых технологий на основе наножидкостей

наноструктурированных термоэлектрических материалах																и нанокompозитов	
подбирать наножидкости и нанокompозиты для типовых нанотехнологических устройств	ИД-2ПК-3														+		Контрольная работа/Наноструктурированные термоэлектрические материалы
проводить расчеты энергоэффективности типовых нанотехнологических устройств	ИД-2ПК-3														+		Коллоквиум/Тепловая стабильность работы наноматериалов, нанотехнологий и наноустройств

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Кинетические методы в переносе тепла в наноструктурах (Контрольная работа)
2. Расчет охлаждения устройств микро- и нанoeлектроники (Контрольная работа)
3. Уравнение Больцмана для фононов. Механизмы рассеяния фононов (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Тепловая стабильность работы наноматериалов, нанотехнологий и нанoустройств (Коллоквиум)

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Механизмы переноса тепла в наножидкостях (Контрольная работа)
2. Наноструктурированные термоэлектрические материалы (Контрольная работа)
3. Размерные эффекты и теплопереноса в одномерных, двумерных и трехмерных наноструктурах (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Разработка новых технологий на основе наножидкостей и нанокомпозитов (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Дмитриев, А. С. Тепловые процессы в наноструктурах : учебное пособие для вузов по курсам "Тепловые процессы в наноструктурах", "Проблемы и перспективы нанoэнергетики", "Физико-химия наночастиц и наноматериалов", по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. С. Дмитриев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2012 . – 303 с. - ISBN 978-5-383-00708-2 .
<http://elibrn.mpei.ru/elibrn/view.php?id=4263>;

2. Дмитриев, А. С. Введение в нанотеплофизику / А. С. Дмитриев . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015 . – 790 с. – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-9963-0843-9 .;
3. Дмитриев, А. С. Введение в наноэнергетику : учебное пособие по курсам "Проблемы и перспективы наноэнергетики", "Физикохимия наночастиц и наноматериалов", "Тепловые процессы в наноструктурах", по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика", профилю "Нанотехнологии и наноматериалы для энергетики" / А. С. Дмитриев, И. А. Михайлова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 320 с. - ISBN 978-5-383-00654-2 .;
4. Дмитриев А. С.- "Введение в нанотеплофизику", (эл. изд.), Издательство: "Лаборатория знаний", Москва, 2015 - (793 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=66201.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер

Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-423/1, Аудитория каф. "НТ"	стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Тепловые процессы в наноструктурах

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Расчет охлаждения устройств микро- и наноэлектроники (Контрольная работа)
 КМ-2 Уравнение Больцмана для фононов. Механизмы рассеяния фононов (Контрольная работа)
 КМ-3 Кинетические методы в переносе тепла в наноструктурах (Контрольная работа)
 КМ-4 Тепловая стабильность работы наноматериалов, нанотехнологий и наноустройств (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	15
1	Введение в теплофизику микро- и наносистем					
1.1	Введение в теплофизику микро- и наносистем		+			
2	Методы охлаждения электронных устройств					
2.1	Методы охлаждения электронных устройств		+			
3	Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла					
3.1	Пространственные и временные масштабы при внутреннем переносе энергии и тепла			+		
4	Микроскопические основы термопереноса					
4.1	Микроскопические основы термопереноса			+		
5	Кинетика переноса тепла в наноструктурах					
5.1	Кинетика переноса тепла в наноструктурах				+	
6	Теплоперенос в нанотрубках и графене					
6.1	Теплоперенос в нанотрубках					+
6.2	Теплоперенос в графене					+
Вес КМ, %:			10	25	30	35

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 Размерные эффекты и теплопереноса в одномерных, двумерных и трехмерных наноструктурах (Контрольная работа)
- КМ-6 Механизмы переноса тепла в наножидкостях (Контрольная работа)
- КМ-7 Наноструктурированные термоэлектрические материалы (Контрольная работа)
- КМ-8 Разработка новых технологий на основе наножидкостей и нанокompозитов (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	4	8	11	15
1	Теплоперенос в нанокompозитах					
1.1	Теплоперенос в нанокompозитах		+			
2	Теплоперенос в наножидкостях					
2.1	Теплоперенос в наножидкостях		+			
3	Микро- и наногидродинамика					
3.1	Микро- и наногидродинамика			+		
4	Особенности наноструктурированных поверхностей					
4.1	Особенности наноструктурированных поверхностей			+		
4.2	Теоретические модели смачивания			+		
4.3	Управление смачиванием, растеканием. Супергидрофобность.			+		
4.4	Процессы на наноструктурированных поверхностях			+		
5	Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах					
5.1	Теплоперенос в термоэлектрических наноматериалах				+	
6	Флуктуации электромагнитного поля как источник теплового излучения					
6.1	Радиационный теплоперенос в наноструктурах					+
Вес КМ, %:			15	25	35	25