

**Программа**  
**краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников**  
**высшей школы**  
**на базе учебного курса**

**“Теплофизика элементов космической техники и процессов формирования наноструктур”**

Цель: изучение физических основ процессов теплопроводности и теплопередачи в макро- и микроструктурах.

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 24 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от производства

Режим занятий: 8 часов в день

*Целью данного курса* является ознакомление с физическими основами теплофизических процессов, происходящих в твердых телах и газах, включая тонкие слои и наноструктуры, а также ознакомление с основными положениями энергообмена между ионизированными потоками и поверхностями.

**Требования к уровню освоения учебного процесса**

Преподаватели и научные работники должны:

- Знать:
  - сущность квантовомеханических представлений о тепловых процессах теплофизических свойствах макро- и микрообъектов.
  - область использования методов расчета тепловым состоянием различных форм тела.
  - особенности использования изложенных методов расчета температурных полей применительно к тонкослойным слоям.
  - особенности энергообмена между ионно-плазменными потоками и поверхностями.
  - уметь оценивать коэффициенты аккомодации энергии при ионном облучении поверхностей.
  - методы экспериментального исследования энергообмена между ионизированными потоками и поверхностями.
- Иметь навыки:

- сбора информации и анализа научно-технической и другой информации в области теплотехнического состояния тонкопленочных тел, методов измерения
  - включать приобретенные знания в расчеты и реальные исследования теплотехнических состояний различных тел.
  - в экспериментальных определениях энергообмена между ионами и поверхностями.
- Иметь представление:
    - о теоретических моделях теплообмена и теплопередачи в макро- и микрообъектах.
    - о методах исследования наноструктурных образований в поверхностных слоях.
    - о способах определения теплофизических свойств материалов.

Учебный курс «Теплофизика элементов космической техники и процессов формирования наноструктуры» состоит из дистанционной и очной части.

В дистанционной (теоретической) части изложены физические основы теплофизики, в том числе, тонкопленочных слоев, методы расчета температурных полей в различных элементах конструкций космической техники и в наноструктурах, методы оценки энергообмена между неонизированными потоками и поверхностями.

Теоретическая часть учебного курса состоит из пяти лекций:

### **Лекция 1: Частицы и квазичастицы в конденсированных средах.**

Частицы и кванты. Квантовые точки, квантовые проволоки, квантовые ямы. Решетки, сверх решетки. Энергетические спектры. Электроны в периодическом поле. Нормальные колебания. Колебания кристаллической решетки. Электроны и фононы. Зоны Бриллюэна. Нормальные процессы и процессы переброса. Процессы термализации. Нелинейные модели. Значение нелинейности для процесса термализации. Взаимодействия между частицами и между квазичастицами.

### **Лекция 2: Теплофизические свойства нанообъектов.**

Результаты молекулярно- кинетической теории для теплофизических свойств. Длина свободного пробега, частота соударений. Квантовая теория теплоемкости и теплопроводности. Теории Дебая и Эйнштейна. Нелинейные теории для периодических и неперидических структур. Влияние размерных факторов на теплофизические свойства

наноструктур. Компьютерные модели термализации, теплообмена, теплопередачи в наноструктурах. Обзор некоторых теоретических и экспериментальных результатов.

**Тема: Теплотехнические задачи в элементах космической технике.**

**Лекция 3: Дифференциальное уравнение теплопроводности.**

Дифференциальное уравнение теплопроводности для случая обмена теплом не только через боковую поверхность но и имеет объемные источники тепла интенсивностью  $q_v$ . Условия однозначности. Четыре вида граничных условий. Распределение температуры в тонких слоях различного вида: плоских, цилиндрических, сферических. Распределение температуры в стержнях и телах сложной формы.

**Лекция 4:** Регулярные режимы нестационарной теплопроводности. Особенности изменения температуры в телах по времени при регулярном режиме I-го рода, при регулярном режиме II-го рода. Влияние сопротивления теплоотдачи на температурное поле при регулярном режиме I рода. Определение теплофизических свойств методом регулярного режима первого рода. Наноматериалы в оптимизации теплозащитных свойств ТМЗ. Использование ультродисперсных порошков в газодинамических гетерогенных технологиях. Нанотехнологии формирования теплозащитных покрытий (ТМЗ).

**Тема: Энергообмен между потоками ионов и поверхностью тел.**

**Лекция 5: Особенности воздействия ускоренных ионов на поверхность.**

Основные понятия: коэффициенты аккомодации энергии между ионами и поверхностями; коэффициенты распыления материалов; коэффициенты отражения ионов; влияние атомов адсорбируемых поверхностью из окружающей среды на энергообмен. Энергия уносимая отраженными ионами, распыленными атомами твердого тела, электронами вторичной ионно-электронной эмиссии. Особенности энергообмена при малых энергиях ионов ( $E < 10^2$  эВ). Влияние условий облучения (угол падения ионов на поверхность, массы ионов, энергии) на энергообмен. Оценка значения коэффициентов аккомодации энергии. Методы измерения коэффициентов аккомодации энергии. Методы измерения коэффициентов распыления.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в изучении способов исследования теплофизических свойств тонкопленочных слоев (толщиной  $\geq 0,3$  мм). Их состава и поверхностной микро- и наногеографии.

Основные задания на лабораторный практикум:

- провести определение теплопроводности тонкослойных образцов методом динамического калориметра.
- исследование металлических наномембран методом растровой микроскопии.
- электронно-микроскопические исследование наноструктур на поверхностях модифицируемых в плазме тлеющего разряда.

#### **Методические рекомендации по реализации учебной программы.**

На дистанционную и очную части учебного процесса отводится по 12 часов соответственно.

Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса используются **контрольные вопросы.**

#### **Контрольные вопросы.**

1. Что такое нормальные колебания?
2. Чем частицы отличаются от квазичастиц?
3. Что такое фонон?
4. Что такое термализация и чем она обеспечивается?
5. Как определяются зоны Бриллюэна и для чего они вводятся?
6. Какие нанообъекты называются квантовыми ямами, квантовыми проволоками, квантовыми точками?
7. Какие понятия молекулярно-кинетической теории используются в квантовой теории теплопроводности?
8. Каков механизм электронной теплопроводности?
9. Каков механизм фононной теплопроводности?
10. Какова роль взаимодействия квазичастиц в теплопроводности?
11. В чем специфика теплофизических свойств нанообъектов?
12. Основные, проблемные задачи авиационной и ракетно-космической теплотехники.
13. Методы определения теплофизических свойств нанокристаллических образцов.
14. Роль механических свойств наноструктур в системах тепловой защиты КЛА.
15. Роль каталитических свойств наноматериалов в системах тепловой защиты (ТМЗ).
16. Оптические свойства нанокристаллических материалов.
17. Уравнение зависимости плотности адатомов на поверхности от времени облучения ионами.

18. Понятие о коэффициенте аккомодации энергии между потоками ионов и поверхностями.
19. Зависимость коэффициентов распыления атомов твердого тела от энергии ионов. Энергия уносимая распыленными ионами.

**Темы контрольных рефератов по курсу «Теплофизика элементов космической техники и процессов формирования наноструктур».**

1. Расчет температурных полей в пластине, цилиндре,, сферической стенке.
2. Методы определения теплофизических свойств нанокристаллических образцов.
3. Роль католитических свойств наноматериалов в системах тепловой защиты.
4. Определение теплофизических свойств методами регулярных режимов теплопроводности I и II родов.
5. Зависимость микро и нанорельефа поверхностей от облучения потоками ионов.
6. Понятия молекулярно-кинетической теории, используемые в квантовой теории теплопроводности.

**Учебно-тематический план.**

№ п/п	Название раздела учебного курса	Объем часов (всего)	Самостоятельная работа	Очный практикум или другое практическое задание	Форма контроля
1.	Теплофизические свойства нанообъектов. Влияние размерных факторов на ннанообъекты.	5	2,5		Реферат
2	Компьютерные модели термализации теплообмена в наноструктурах.	5	2,5	4	
3.	Теплопроводность в элементах конструкций космической техники.	5	2,5	4	
4.	Роль каталитических свойств наноматериалов в	5	2,5	4	

	системах тепловой защиты.				
5.	Энергообмен между потоками ионов и поверхностью твердых тел.	4	2		
	Итоговый контроль			Контрольные вопросы	Реферат