

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
Кружаев В.В.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Теплофизика и теоретическая теплотехника	<b>Код ОП</b> 03.06.01
<b>Направление подготовки</b> Физика и астрономия	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 03.06.01
<b>Уровень подготовки</b> Подготовка кадров высшей квалификации	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> № 867 от 30.07.2014 г., изменения № 464 от 30.04.2015 г.

**СОГЛАСОВАНО**  
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ  
КАДРОВ ВЫСШЕЙ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург 2017

**Программа дисциплины составлена авторами:**

<b>№</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	В.Г. Черняк	д.ф.-м.н., профессор	Профессор	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем	

**Рекомендовано учебно-методическим советом  
Института естественных наук и математики**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № 1 от 26.09.2017 г.

Е.С.Буянова

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

О.А.Неволина

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

Шифр направления	Название направления/направленности	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
03.06.01	Физика и астрономия/ теплофизика и теоретическая теплотехника	30.07.2014 № (ред. от 30.04.2015 № 464)	867

### 1.1. Цели дисциплины

Целью дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» является приобретение основных профессиональных компетенций в ходе углубленного изучения базовых разделов физики газов и жидкостей: равновесных свойств газов и жидкостей, кинетических явлений в газах и жидкостях, поверхностных явлений, методов исследования.

### 1.2. Место дисциплины в структуре учебной деятельности и основной образовательной программы

Дисциплина «Теплофизика и теоретическая теплотехника» относится к разделу Б.1 вариативной части ООП направления аспирантуры и направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума.

В результате освоения данной дисциплины студент должен овладеть следующими компетенциями:

#### **универсальные компетенции:**

- способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);

#### **общепрофессиональные компетенции:**

- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

#### **- профессиональные компетенции:**

##### **научно-исследовательская деятельность:**

- способностью осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию информации по теме исследования, выбор методов и средств решения задач исследования (ПК-1);

- готовностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах в области теплофизики и теоретической теплотехники (ПК-3).

## 2. СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

Наименования дисциплины	Семестр	Объем времени, отведенный на освоение дисциплины						
		Аудиторные занятия час.				Самост. работа час.	Аттестация по дисциплине (зачет, экзамен)	Всего час/з.е
		Всего	лекции	практические занятия	лабораторные работы			
Теплофизика и теоретическая теплотехника	6	4	4			104	Экзамен, 6 семестр	108/3
Всего на освоение		4	4			104		108/3

## 3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1 Объем и содержание дисциплины

№ п/п	Тема, раздел	Трудоемкость	
		Час.	Зач. ед.
1	<b>Введение.</b> История и методология физики газов и жидкостей. Основные модели газов и жидкостей: разреженные и плотные газы, простые и не простые жидкости. Научная и практическая значимость исследований строения, равновесных и неравновесных свойств газов и жидкостей. Современное состояние науки в области физики газообразного и жидкого состояний вещества.	2	
2	<b>Межмолекулярные силы.</b> Близкодействующие силы отталкивания и дальнедействующие силы притяжения. Полярные и неполярные молекулы. Поляризуемость молекул. Ориентационные силы. Индукционные силы. Дисперсионные силы Лондона. Модельные потенциалы: твердые сферические молекулы, точечный центр отталкивания, потенциалы Леннард – Джонса, Сюзерленда, Морзе, Букингема. Определение потенциальных параметров из опытных данных.	6	
3	<b>Равновесные свойства газа.</b> Формальный вывод уравнения состояния в статистической механике для газов малой и умеренной плотности. Вывод уравнения состояния с помощью статистической суммы и теоремы Вириала. Вириальные коэффициенты. Вириальные коэффициенты для различных моделей межмолекулярного потенциала. Термодинамические функции. Плотные газы. Закон соответственных состояний. Уравнения состояния для	8	

	твердых сфер и потенциала Леннарда – Джонса.		
4	<b>Равновесие жидкость-пар.</b> Термодинамические функции. Равновесие жидкость-пар и критические явления. Промежуточная область между жидкостью и паром. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы.	8	
5	<b>Гидродинамика.</b> Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения Эйлера и Навье – Стокса. Обтекание тела потоком идеальной жидкости с циркуляцией. Эффект Магнуса. Диссипация кинетической энергии вязкой несжимаемой жидкости. Устойчивость стационарного движения вязкой жидкости. Пограничный слой: гидродинамика и теплообмен.	8	
6	<b>Теплообмен.</b> Классификация явлений теплообмена. Теплопроводность. Вынужденная и естественная конвекция. Лучистый теплообмен. Тепловое излучение. Законы излучения Ламберта, Стефана – Больцмана, Рэлея – Джинса, Планка. Закон смещения Вина. Тепловые трубы.	8	
7	<b>Физическая кинетика газов.</b> Уравнение Больцмана. H-теорема. Метод Чепмена – Энскога. Коэффициенты переноса: вязкости, теплопроводности, взаимной диффузии и термодиффузии. Экспериментальные методы исследования коэффициентов переноса. Моментный метод Грэда. Тринадцатимоментное приближение. Связь с методом Чепмена – Энскога. Модельные кинетические уравнения с частотой столкновений, независимой от скорости молекул.	12	
8	<b>Взаимодействие газ – поверхность.</b> Динамический характер адсорбции. Формула Френкеля. Время жизни атома на адсорбирующей поверхности. Теплота и энтропия адсорбции. Изотермы Ленгмюра и БЭТ. Граничные условия для функции распределения разреженного газа. Свойства ядра рассеяния. Коэффициенты аккомодации. Модели ядра рассеяния. H-теорема для ограниченного объема газа. Экспериментальные методы исследования взаимодействия газ – поверхность.	8	
9	<b>Динамика разреженного газа.</b> Число Кнудсена. Классификация режимов явлений переноса в разреженных газах. Кнудсеновский слой. Скольжение и температурный скачок. Свободномолекулярный режим.	8	
10	<b>Термодинамика необратимых процессов.</b> Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии. Принцип минимального производства энтропии. Обобщенные потоки. Симметрия коэффициентов Онзагера. Перекрестные эффекты. Кинетическая теория газов и термодинамика необратимых процессов.	8	
11	<b>Кинетические явления в газах.</b> Термомолекулярная разность давлений. Механокалорический эффект. Диффузионный бароэффект. Термофорез. Фотофорез. Диффузиофорез.	8	
12	<b>Лазерная газокинетика.</b> Взаимодействие газа с резонансным лазерным излучением. Доплеровский сдвиг. Распределения по скоростям возбужденных и невозбужденных молекул. Кинетические уравнения для функций распределения возбужденных и невозбужденных молекул. Светоиндуцированный дрейф газа. Свето-	8	

	индуцированный теплоперенос. Светоиндуцированная анизотропия давления. Селективное охлаждение (нагрев) газа.		
13	<b>Равновесные свойства жидкости.</b> Тепловое движение молекул в жидкости. Теория и модели жидкого состояния. Простые жидкости, расплавленные металлы. Парные корреляционные функции. Радиальная функция распределения. Уравнение Боголюбова для радиальной функции распределения. Приближение Перкуса-Йефика. Экспериментальные методы исследования структуры жидкости. Рентгеновские, электронные и нейтронные методы изучения структуры жидкости.	8	
14	<b>Метастабильная жидкость.</b> Уравнение состояния. Частота зародышеобразования. Теория Деринга Фольмера и Зельдовича-Кагана. Экспериментальные методы изучения метастабильной жидкости. Инициирование зародышей паровой фазы в жидкости.	8	
	<b>ИТОГО</b>	108	3

### 3.2. Распределение объема учебного времени дисциплины по темам и видам работ

№ пп	Тема, раздел дисциплины	Объем учебного времени, отведенный на освоение дисциплины з/е/час					
		Аудиторные занятия				Самосто- ят. рабо- та	Всего по раз- делам и темам
		все- го	в т.ч. лек- ции	В т.ч. семи- нар/ практ. занятия	В т.ч. лаб. раб		
1	Введение	2	2				2
2	Межмолекулярные силы					6	6
3	Равновесные свойства газа					8	8
4	Равновесие жидкость-пар					8	8
5	Гидродинамика					8	8
6	Теплообмен					8	8
7	Физическая кинетика газов	2	2			10	12
8	Взаимодействие газ- поверхность					8	8
9	Динамика разреженного газа					8	8
10	Термодинамика необрати- мых процессов					8	8
11	Кинетические явления в газах					8	8
12	Лазерная газокинетика					8	8
13	Равновесные свойства жидкости					8	8
14	Метастабильная жидкость					8	8
<b>Итого по дисциплине</b>		<b>4</b>	<b>4</b>			<b>104</b>	<b>108</b>

### 3.3. Самостоятельная работа аспирантов

Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень заданий для самостоятельной работы (рефераты, доклады, переводы, расчеты, планирование эксперимента и т.п.)	Трудоемкость	
		Час.	Зач. ед.
<b>Межмолекулярные силы.</b> Близкодействующие силы отталкивания и дальнедействующие силы притяжения. Полярные и неполярные молекулы. Поляризуемость молекул. Ориентационные силы. Индукционные силы. Дисперсионные силы Лондона. Модельные потенциалы: твердые сферические молекулы, точечный центр отталкивания, потенциалы Леннарда – Джонса, Сюзерленда, Морзе, Букингема. Определение потенциальных параметров из опытных данных.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	6	
<b>Равновесные свойства газа.</b> Формальный вывод уравнения состояния в статистической механике для газов малой и умеренной плотности. Вывод уравнения состояния с помощью статистической суммы и теоремы Вириала. Вириальные коэффициенты. Вириальные коэффициенты для различных моделей межмолекулярного потенциала. Термодинамические функции. Плотные газы. Закон соответственных состояний. Уравнения состояния для твердых сфер и потенциала Леннарда – Джонса.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Равновесие жидкость-пар.</b> Термодинамические функции. Равновесие жидкость-пар и критические явления. Промежуточная область между жидкостью и паром. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Гидродинамика.</b> Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения Эйлера и Навье – Стокса. Обтекание тела потоком идеальной жидкости с циркуляцией. Эффект Магнуса. Диссипация кинетической энергии вязкой несжимаемой жидкости. Устойчивость стационарного движения вязкой жидкости. Пограничный слой: гидродинамика и теплообмен.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	

<b>Теплообмен.</b> Классификация явлений теплообмена. Теплопроводность. Вынужденная и естественная конвекция. Лучистый теплообмен. Тепловое излучение. Законы излучения Ламберта, Стефана – Больцмана, Рэлея – Джинса, Планка. Закон смещения Вина. Тепловые трубы.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Физическая кинетика газов.</b> Уравнение Лиувилля. Цепочка уравнений ББГКИ. Иерархия временных масштабов. Метод Боголюбова. Уравнение Больцмана. Метод Чепмена – Энскога. Коэффициенты переноса: вязкости, теплопроводности, взаимной диффузии и термодиффузии. Экспериментальные методы исследования коэффициентов переноса. Моментный метод Грэда. Тринадцатимоментное приближение. Связь с методом Чепмена – Энскога. Модельные кинетические уравнения с частотой столкновений, независимой от скорости молекул.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	10	
<b>Взаимодействие газ – поверхность.</b> Динамический характер адсорбции. Формула Френкеля. Время жизни атома на адсорбирующей поверхности. Теплота и энтропия адсорбции. Изотермы Ленгмюра и БЭТ. Граничные условия для функции распределения разреженного газа. Свойства ядра рассеяния. Коэффициенты аккомодации. Модели ядра рассеяния. Н-теорема для ограниченного объема газа. Экспериментальные методы исследования взаимодействия газ – поверхность.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Динамика разреженного газа.</b> Число Кнудсена. Классификация режимов явлений переноса в разреженных газах. Кнудсеновский слой. Скольжение и температурный скачок. Свободномолекулярный режим.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Термодинамика необратимых процессов.</b> Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии. Принцип минимального производства энтропии. Обобщенные потоки. Симметрия коэффициентов Онзагера. Перекрестные эффекты. Кинетическая теория газов и термодинамика необ-	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	



ратимых процессов.			
<b>Кинетические явления в газах.</b> Термомолекулярная разность давлений. Механокалорический эффект. Диффузионный барозффект. Термофорез. Фотофорез. Диффузиофорез.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Лазерная газокинетика.</b> Взаимодействие газа с резонансным лазерным излучением. Доплеровский сдвиг. Распределения по скоростям возбужденных и невозбужденных молекул. Кинетические уравнения для функций распределения возбужденных и невозбужденных молекул. Светоиндуцированный дрейф газа. Светоиндуцированный теплоперенос. Светоиндуцированная анизотропия давления. Селективное охлаждение (нагрев) газа.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Равновесные свойства жидкости.</b> Тепловое движение молекул в жидкости. Теория и модели жидкого состояния. Простые жидкости, расплавленные металлы. Парные корреляционные функции. Радиальная функция распределения. Уравнение Боголюбова для радиальной функции распределения. Приближение Перкуса-Йевики. Экспериментальные методы исследования структуры жидкости. Рентгеновские, электронные и нейтронные методы изучения структуры жидкости.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>Метастабильная жидкость.</b> Уравнение состояния. Частота зародышеобразования. Теория Деринга Фольмера и Зельдовича-Кагана. Экспериментальные методы изучения метастабильной жидкости. Инициирование зародышей паровой фазы в жидкости.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
<b>ИТОГО</b>		<b>104</b>	

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНИВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Объективная оценка уровня соответствия результатов обучения требованиям к освоению ОП обеспечивается системой разработанных критериев (показателей) оценки освоения знаний, сформированности умений и опыта выполнения профессиональных задач.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 5. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Межмолекулярные взаимодействия. Близкодействующие силы отталкивания и дальнедействующие силы притяжения. Полярные и неполярные молекулы. Поляризуемость молекул. Ориентационные силы. Индукционные силы. Дисперсионные силы Лондона.
2. Модельные потенциалы: твердые сферические молекулы, точечный центр отталкивания, потенциалы Леннард – Джонса, Сюзерленда, Морзе, Букингема. Определение потенциальных параметров из опытных данных.
3. Равновесные свойства газа. Вывод уравнения состояния с помощью статистической суммы и теоремы Вириала. Вириальные коэффициенты. Вириальные коэффициенты для различных моделей межмолекулярного потенциала.

4. Термодинамические функции. Плотные газы. Закон соответственных состояний. Уравнения состояния для твердых сфер и потенциала Леннарда – Джонса.
5. Термодинамические функции. Равновесие жидкость-пар и критические явления. Промежуточная область между жидкостью и паром.
6. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы.
7. Идеальная и вязкая жидкость. Уравнения Эйлера и Навье – Стокса.
8. Обтекание тела потоком идеальной жидкости с циркуляцией. Эффект Магнуса.
9. Диссипация кинетической энергии вязкой несжимаемой жидкости.
10. Устойчивость стационарного движения вязкой жидкости.
11. Пограничный слой: гидродинамика и теплообмен.
12. Классификация явлений теплообмена. Теплопроводность. Вынужденная и естественная конвекция. Лучистый теплообмен.
13. Тепловое излучение. Законы излучения Ламберта, Стефана – Больцмана, Рэлея – Джинса, Планка. Закон смещения Вина.
14. Тепловые трубы.
15. Уравнение Больцмана. H-теорема.
16. Метод Чепмена – Энскога.
17. Коэффициенты переноса: вязкости, теплопроводности, взаимной диффузии и термодиффузии.
18. Экспериментальные методы исследования коэффициентов переноса.
19. Моментный метод Грэда. Тринадцатимоментное приближение. Связь с методом Чепмена – Энскога.
20. Динамический характер адсорбции. Формула Френкеля. Время жизни атома на адсорбирующей поверхности. Теплота и энтропия адсорбции. Изотермы Ленгмюра и БЭТ.
21. Граничные условия для функции распределения разреженного газа.
22. Свойства ядра рассеяния.
23. Коэффициенты аккомодации.
24. Модели ядра рассеяния. H-теорема для ограниченного объема газа.
25. Экспериментальные методы исследования взаимодействия газ – поверхность.
26. Число Кнудсена. Классификация режимов явлений переноса в разреженных газах. Кнудсеновский слой. Скольжение и температурный скачок.
27. Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии. Принцип минимального производства энтропии. Симметрия коэффициентов Онзагера. Перекрестные эффекты. Кинетическая теория газов и термодинамика необратимых процессов.
28. Термомолекулярная разность давлений. Механокалорический эффект.
29. Диффузионный бароэффект. Бародиффузионное разделение газовых смесей.
30. Термофорез. Фотофорез. Диффузиофорез.
31. Взаимодействие газа с резонансным лазерным излучением. Доплеровский сдвиг. Распределения по скоростям возбужденных и невозбужденных молекул. Кинетические уравнения для функций распределения возбужденных и невозбужденных молекул.
32. Светоиндуцированный дрейф газа. Светоиндуцированный теплоперенос. Светоиндуцированная анизотропия давления. Селективное охлаждение (нагрев) газа.
33. Тепловое движение молекул в жидкости. Теория и модели жидкого состояния. Простые жидкости, расплавленные металлы.
34. Парные корреляционные функции. Радиальная функция распределения. Уравнение Боголюбова для радиальной функции распределения.
35. Приближение Перкуса-Иевики.
36. Экспериментальные методы исследования структуры жидкости. Рентгеновские, электронные и нейтронные методы изучения структуры жидкости.
37. Метастабильная жидкость. Уравнение состояния. Частота зародышеобразования. Теория Деринга Фольмера и Зельдовича-Кагана.

38. Экспериментальные методы изучения метастабильной жидкости. Инициирование зародышей паровой фазы в жидкости.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1 Рекомендуемая литература**

#### **6.1.1 Основная литература**

- 1 Дж.Гиршфельдер, Ч.Кертис, Р. Бёрд. «Молекулярная теория газов и жидкостей», М.,Ил. 1961.
2. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск: Изд-во Новосибирского университета, 2001.
3. М.Н. Коган. «Динамика разреженного газа», М., Наука, 1967.
4. Дж. Ферцигер, Г. Капер. «Математическая теория процессов переноса в газах». М., Мир, 1976.
5. С. де-Гроот, П. Мазур. «Неравновесная термодинамика», М., Мир, 1964.
6. К. Крокстон. «Физика жидкого состояния», М., Мир, 1978.
7. Ю. И. Наберухин. «Структура простых жидкостей», Новосибирск, НГУ, 1978.
8. Р. Берд, В. Стьюарт, Е. Лайфут. Явления переноса. М.: Химия, 1974
9. Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003.
10. А.М. Шалагин. Особенности газовой кинетики в поле лазерного излучения. Соросовский образовательный журнал. 1998. № 11. С. 131

#### **6.1.2 Дополнительная литература**

1. Дж. Уленбек, Дж. Форд. «Лекции по статистической механике», М., Мир, 1965.
2. Е.М. Шахов. «Метод исследования движения разреженного газа». М., Наука, 1974.
3. Р.Г. Баранцев. «Взаимодействие разреженных газов с обтекаемыми поверхностями», М., Наука, 1975.
4. К. Черчиньяни. «Теория и приложение уравнения Больцмана». М., Мир, 1978.
5. Я. де Бур. «Динамический характер адсорбции». М., Ил., 1962.
6. «Физика простых жидкостей», сб. статей под ред. Г. Темперли и др. М., Мир, т.1, 1971, т. 2, 1973.
7. В.П. Скрипов. «Метастабильная жидкость», М., Наука, 1972.
8. Ю.Л. Климонтович. «Статистическая теория открытых систем», М., ТОО «Янус», 1995.
9. А.А. Померанцев. Курс лекций по теории тепломассообмена. м.: ВШ 1965.
10. В.Г. Черняк, П.Е. Суетин. Механика сплошных сред. М.: Физматлит, 2006.
11. И.П. Базаров, Э.В. Геворкян, П.Н. Николаев. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М.: Изд-во Московского университета, 1989.

### **6.2. Электронные образовательные ресурсы**

Все аспиранты имеют полный доступ к перечисленным ресурсам, в т.ч. через авторизованный доступ из сети интернет:

1. Международный индекс научного цитирования Scopus компании Elsevier B.V.
2. Международный индекс научного цитирования Web of Science компании Clarivate Analytics
3. Журналы издательства Wiley
4. Электронная библиотека IEEEEXPLORE Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
5. Журналы American Physical Society (Американского физического общества)
6. Журналы Royal Society of Chemistry (Королевского химического общества)
7. MathSciNET - реферативная база данных American Mathematical Society (Амери-

- канского математического общества)
8. Патентная база компании QUESTEL
  9. Журнал Science Online
  10. Журнал Nature
  11. Журналы издательства Oxford University Press
  12. Журналы издательства SAGE Publication
  13. Журналы Американского института физики
  14. Журналы Института физики (Великобритания)
  15. Журналы Оптического общества Америки
  16. Материалы международного общества оптики и фотоники (OSA)
  17. Журналы издательства Cambridge University Press
  18. Научные журналы по химии Thieme Chemistry Package компании Georg Thieme Verlag KG
  19. База данных Annual Reviews Science Collection
  20. База данных CASC- Коллекция компьютерных и прикладных наук компании EBSCO Publishing
  21. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing
  22. База данных Association for Computing Machinery (ACM)
  23. База диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global Журнальные базы данных мировой научной информации Freedom Collection компании Elsevier
  24. Информационно-аналитическая система управления научными исследованиями Pure компании Elsevier B. V.
  25. Наукометрическая база данных Scival компании Elsevier B. V.
  26. Аналитическая и информационная база данных REAXYS компании Elsevier,
  27. Научные базы данных компании EBSCO Publishing: Business Source Complete и Academic Search Complete, Информационно-поисковая система EBSCO Discovery Service, IEEE All- Society Periodicals Package,
  28. Базы данных компании East View,
  29. Электронная библиотека диссертаций РГБ;
  30. Информационно-аналитическая система FIRA PRO компании ООО«Первое Независимое Рейтинговое Агентство»,
  31. Электронная система нормативно-технической документации "Техэксперт" компании КОДЕКС,
  32. Базы данных «Интегрум Профи» компании «Интегрум медиа»,
  33. Наукометрические базы данных Incites и Journal Citation Report компании Clarivate Analytics,
  34. Информационно-аналитическая система SCIENCE INDEX компании «Научная электронная библиотека».

### **6.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Платформа Springer Link
2. Платформа Nature
3. База данных Springer Materials
4. База данных Springer Protocols
5. База данных zbMath
6. База данных Nano
7. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD Enterprise