

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института нано-, био-,
информационных, когнитивных
и социогуманитарных наук и
технологий**

П.А. Форш

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Общая физика: термодинамика и молекулярная физика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и физического материаловедения
курс:	1
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: С.В. Романов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и физического материаловедения 17.03.2020

Аннотация

Молекулярная физика и термодинамика – разделы физики, в которых изучаются зависимости свойств тел от их строения, взаимодействия между частицами, из которых состоят тела, и характера движения частиц. Изучение дисциплины начинается со знакомства студентов с характерными значениями различных микроскопических и макроскопических параметров вещества в различных агрегатных состояниях. Большое внимание в курсе уделяется установлению связи макроскопических характеристик вещества таких, как параметры состояния, теплоемкость, теплофизических параметров и т.п. с особенностями строения и законами межмолекулярного взаимодействия огромного количества микрочастиц, составляющих его.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- термодинамика и молекулярная физика» является изучение студентами основных законов термодинамики и молекулярной физики.

Задачи дисциплины

- знакомство с базовыми экспериментальными фактами в области тепловых и молекулярно-кинетических явлений;
- усвоение основных концепций, используемых для описания тепловых и молекулярно-кинетических явлений;
- овладение простейшими математическими методами, позволяющими решать задачи термодинамики и молекулярной физики;
- решение задач, охватывающих основные приложения термодинамики и молекулярной физики.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- численные порядки величин, характерные для различных тепловых и молекулярно-кинетических явлений;
- основные законы термодинамики и молекулярной физики;
- первое, второе и третье начала термодинамики;
- уравнения состояния идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса;
- основные термодинамические потенциалы;
- статистический смысл энтропии;
- распределения Максвелла и Больцмана;
- закон равномерного распределения энергии по степеням свободы;
- физическую сущность фазовых переходов первого и второго рода;
- закономерности явлений переноса (диффузии, вязкости, теплопроводности);
- законы броуновского движения.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

- методами решения физических задач по термодинамике и молекулярной физике;
- навыками самостоятельной работы в библиотеке и Интернете;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Газ Ван дер Вальса.	4	4		
2	Кинетические явления.	5	5		
3	Основные законы термодинамики.	10	10		
4	Поверхностные явления.	3	3		
5	Статистические распределения. Теория теплоемкостей. Флуктуации.	5	5		45
6	Фазовые превращения.	3	3		
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Газ Ван дер Вальса.

Уравнение Ван дер Ваальса. Изотермы газа Ван дер Ваальса. Критические параметры. Приведённое уравнение. Закон соответственных состояний. Температура Бойля. Правило Максвелла.

Внутренняя энергия, теплоемкости, и энтропия газа Ван дер Ваальса. Адиабатический и политропический процессы для газа Ван дер Ваальса. Адиабатическое расширение газа Ван дер Ваальса в вакуум.

Интегральный эффект Джоуля-Томсона для газа Ван дер Ваальса. Кривая инверсии интегрального эффекта в приведённых переменных. Дифференциальный эффект Джоуля-Томсона для газа Ван дер Ваальса. Кривая инверсии дифференциального эффекта в приведённых переменных.

2. Кинетические явления.

Прохождение пучка частиц через газ неподвижных рассеивателей (модель твёрдых шаров). Распределение по пробегам и его свойства. Газокинетическое сечение. Средняя длина свободного пробега частицы в "своём" газе и в смеси двух газов.

Вязкость газа. Теплопроводность, закон Фурье. Коэффициент теплопроводности одноатомного газа.

Взаимная диффузия двух газов, закон Фика. Коэффициент диффузии. Диффузия как процесс случайного блуждания. Формула Эйнштейна для среднего квадрата смещения частицы за заданное время. Подвижность. Связь подвижности с коэффициентом диффузии. Подвижность броуновской частицы.

Явления переноса в разрежённых газах. Эффект Кнудсена. Эффузионное разделение газовых смесей. Течение разреженного газа через трубу.

3. Основные законы термодинамики.

Газовые законы. Абсолютная температура. Уравнение состояния идеального газа. Постоянная Больцмана. Первое начало термодинамики. Равновесные и квазиравновесные процессы. Общее выражение для работы газа при равновесном процессе. Работа при изотермическом расширении идеального газа. Циклические процессы. Тепловой двигатель, холодильная машина, тепловой насос и характеристики их эффективности.

Теплоёмкость. Независимость внутренней энергии идеального газа от объёма. Уравнение Майера. Адиабатический и политропический процессы (идеальный газ). Уравнение Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Скорость истечения газа из отверстия. Скорость звука в газах.

Второе начало термодинамики. Первая теорема Карно. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа. Объединённое уравнение первого и второго начал термодинамики. Неравенство Клаузиуса. Возрастание энтропии адиабатически изолированной системы. Адиабатическое расширение идеального газа в вакуум. Парадокс Гиббса. Невозможность существования вечного двигателя второго рода. Вторая теорема Карно. Верхняя граница КПД произвольного цикла.

Термодинамические потенциалы. Энтальпия, свободная энергия, потенциал (энергия) Гиббса. Соотношения Максвелла. Следствия соотношений Максвелла: зависимость внутренней энергии и теплоёмкости однородной системы от объёма, разность , изотермическое и адиабатическое сжатие жидкостей. Термодинамика деформации стержней.

Третье начало термодинамики и его следствия: обращение в нуль при теплоёмкостей, коэффициента теплового расширения и термического коэффициента давления; недостижимость абсолютного нуля.

4. Поверхностные явления.

Поверхностное натяжение, формула Лапласа. Термодинамика поверхностного натяжения.

Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости. Кипение. Роль зародышей при образовании новой фазы.

5. Статистические распределения. Теория теплоёмкостей. Флуктуации.

Распределение Максвелла (распределение молекул по физически бесконечно малым объёмам пространства скоростей). Среднеквадратичная скорость. Распределение молекул по компонентам и абсолютным значениям скорости. Наиболее вероятная скорость, средний модуль скорости.

Число столкновений молекул с единицей площади стенки за единицу времени. Средняя энергия молекул, вылетающих в вакуум через малое отверстие.

Равновесие газа во внешнем потенциальном поле. Распределение Больцмана. Барометрическое распределение.

Распределение Гиббса. Эквивалентность статистической и термодинамической температур. Статистический смысл энтропии. Статистическая сумма и её связь с термодинамическими потенциалами.

Элементы квантовой теории теплоёмкостей. Статистическая сумма, внутренняя энергия и теплоёмкость двухатомного идеального газа. Характеристические температуры. Классический закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Теплоёмкость кристаллов (закон Дюлонга–Пти).

Флуктуации числа частиц в заданном объёме идеального газа. Флуктуации объёма и температуры. Зависимость флуктуаций от числа частиц. Термодинамическая теория флуктуаций. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов.

6. Фазовые превращения.

Экстремальное свойство термодинамического потенциала Гиббса. Условия равновесия двух фаз. Химические потенциалы. Кривая равновесия. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы первого и второго рода.

Диаграмма состояний системы жидкость-пар. Критическая точка. Правило рычага. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Теплоёмкость насыщенного пара. Зависимость теплоты фазового перехода от температуры (общее уравнение и его решение для системы жидкость-пар вдали от критической точки).

Устойчивость фаз. Метастабильные состояния. Диаграмма состояний системы лёд–вода–пар. Тройная точка.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 2 : Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 5-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2005, 2006, 2011, 2014 .— 544 с.
2. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 608 с.
3. Физика макросистем : Основные законы [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Е. Иродов .— 2-е изд., доп. — М. : Бином. Лаборатория знаний, 2004, 2006 .— 207 с. — ("Технический университет"). - Предм. указ.: с. 300-307. - 3000 экз. - ISBN 5-94774-122-9 (в пер.)) .
4. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 1 : Механика. Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Овчинкина .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2013 .— 560 с

Фонд литературы кафедры

Дополнительная литература

1. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц .— 3-е изд. — М. : Добросвет : КДУ, 2011 .— 340 с.

2. Щёголев И.Ф. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. – М.: Янус, 1996.
3. Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970.
4. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс Н. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 4. – М.: Мир, 1965.
5. Рейф Ф. Статистическая физика (Берклевский курс физики) Т. 5. – М.: Наука, 1986.
6. Белонучкин В.Е. Краткий курс термодинамики. – М.: МФТИ, 2010.
7. Кириченко Н.А., Кириченко Н.А. Термодинамика, статистическая молекулярная физика. – М.: Физматкнига, 2005.
8. Коротков П.Ф. Молекулярная физика и термодинамика. – М.: МФТИ, 2009.
9. Прут Э.В., Кленов С.Л., Овсянникова О.Б. Введение в теорию вероятностей в молекулярной физике. – М.: МФТИ, 2002.
10. Прут Э.В., Кленов С.Л., Овсянникова О.Б. Элементы теории флуктуаций и броуновского движения в молекулярной физике. – М.: МФТИ, 2002.
11. Заикин Д.А. Энтропия. – М.: МФТИ, 2003.
12. Прут Э.В. Теплофизические свойства твёрдых тел. – М.: МФТИ, 2009.
13. Булыгин В.С. Некоторые задачи теории теплопроводности. – М.: МФТИ, 2006.
14. Корявов В.П. Методы решения задач в общем курсе физики. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Высшая школа, 2009.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. http://mipt.ru/education/chair/physics/S_II/Metod_TD/
2. <http://lib.mipt.ru>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

обучающиеся могут использовать программные средства MATLAB, Mathcad, Wolfram Mathematica.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Помимо посещения лекций и семинаров для успешного освоения курса от студентов требуется самостоятельная работа. В основном это время отводится на самостоятельное решение задач, входящих в два задания. Самостоятельные занятия включают в себя также повторение материала лекций и семинарских занятий. Для текущего контроля предполагается провести за семестр одну контрольную работу и защиту двух самостоятельно выполненных заданий. Студенты, успешно прошедшие все формы промежуточного контроля, допускаются к сдаче экзамена по дисциплине.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и физического материаловедения
курс:	1
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	С.В. Романов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» обучающийся должен:

знать:

- численные порядки величин, характерные для различных тепловых и молекулярно-кинетических явлений;
- основные законы термодинамики и молекулярной физики;
- первое, второе и третье начала термодинамики;
- уравнения состояния идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса;
- основные термодинамические потенциалы;
- статистический смысл энтропии;
- распределения Максвелла и Больцмана;
- закон равномерного распределения энергии по степеням свободы;
- физическую сущность фазовых переходов первого и второго рода;
- закономерности явлений переноса (диффузии, вязкости, теплопроводности);
- законы броуновского движения.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- обеспечить достоверность получаемых результатов;
- видеть в технических задачах физическое содержание.

владеть:

- методами решения физических задач по термодинамике и молекулярной физике;
- навыками самостоятельной работы в библиотеке и Интернете;
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

Пример варианта контрольной работы

1. В длинном горизонтальном цилиндре может двигаться без трения поршень массой m . Слева от поршня находится один моль идеального газа при температуре T_1 , справа цилиндр открыт в атмосферу. Поршню мгновенно сообщают скорость u , после чего он некоторое время движется и останавливается. Найдите конечную температуру газа T_2 и приращение его энтропии ΔS . Стенки цилиндра и поршень не проводят тепло, атмосферное давление постоянно. Известна молярная теплоёмкость газа C_p .
2. Закрытый горизонтальный теплоизолированный цилиндр разделён пополам неподвижной перегородкой с краном. Объём каждой половины равен V . Сначала кран закрыт, слева от перегородки находится один моль двухатомного газа Ван дер Ваальса при температуре T_1 , справа вакуум. Кран открывают, и газ заполняет весь объём $2V$. После установления равновесия правую стенку цилиндра очень медленно перемещают влево до соприкосновения с перегородкой, в результате чего весь газ снова оказывается в левой половине цилиндра. Найдите конечную температуру газа T_2 и приращение его энтропии ΔS . Известны постоянные Ван дер Ваальса a и b .
3. В закрытом сосуде находится небольшое количество воды и её насыщенный пар при температуре $T = 373 \text{ К}$. На сколько процентов увеличится масса насыщенного пара при повышении температуры на $\Delta T = 2 \text{ К}$? Пар считайте идеальным газом, объёмом воды по сравнению с объёмом пара пренебрегите. Удельная теплота парообразования воды $q = 2,26 \text{ МДж/кг}$.

Перечень контрольных вопросов в билетах.

1. Законы Авогадро, Бойля-Мариотта, Шарля и Гей-Люссака. Абсолютная температура. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона. Постоянная Больцмана.
2. Первое начало термодинамики. Равновесные и квазиравновесные процессы. Общее выражение для работы газа при равновесном процессе. Работа при изотермическом расширении идеального газа. Независимость внутренней энергии идеального газа от объёма. Циклические процессы. Тепловой двигатель, холодильная машина, тепловой насос и характеристики их эффективности.
3. Теплоёмкость. Разность молярных теплоёмкостей C_p и C_v для идеального газа (уравнение Майера). Значения теплоёмкости C_v для одно, двух и многоатомных газов (без вывода). Адиабатический и политропический процессы (идеальный газ).
4. Уравнение Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Скорость истечения газа из отверстия. Скорость звука в газах (формулы Ньютона и Лапласа).
5. Второе начало термодинамики. Первая теорема Карно. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа. Объединённое уравнение первого и второго начал термодинамики.

6. Неравенство Клаузиуса. Возрастание энтропии адиабатически изолированной системы. Невозможность существования вечного двигателя второго рода. Адиабатическое расширение идеального газа в вакуум. Парадокс Гиббса.
7. Вторая теорема Карно. Верхняя граница КПД произвольного цикла ($\eta \leq 1 - T_{\min} / T_{\max}$). Теорема о максимальной работе.
8. Термодинамические функции и соотношения Максвелла.
9. Следствия соотношений Максвелла: зависимость внутренней энергии и теплоёмкости C_V гомогенной системы от объёма, разность $(C_P - C_V)$, изотермическое и адиабатическое сжатие жидкостей.
10. Третье начало термодинамики и его следствия: обращение в нуль при $T \rightarrow 0$ теплоёмкостей, коэффициента теплового расширения и термического коэффициента давления; недостижимость абсолютного нуля.
11. Термодинамика деформации стержней.
12. Экстремальное свойство термодинамического потенциала Гиббса. Условия равновесия двух фаз. Химические потенциалы. Кривая равновесия. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы первого и второго рода.
13. Диаграмма состояний системы жидкость-пар. Критическая точка. Правило рычага. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Устойчивость фаз. Метастабильные состояния. Диаграмма состояний системы лёд-вода-пар. Тройная точка.
14. Теплоёмкость насыщенного пара.
15. Зависимость теплоты фазового перехода от температуры (общее уравнение и его решение для системы жидкость-пар вдали от критической точки).
16. Уравнение Ван дер Ваальса. Изотермы газа Ван дер Ваальса. Критические параметры. Приведённое уравнение. Закон соответственных состояний.
17. Правило Максвелла. Пересыщенный пар и перегретая жидкость.
18. Внутренняя энергия, теплоёмкости C_P , C_V и энтропия газа Ван дер Ваальса. Адиабатический и политропический процессы для газа Ван дер Ваальса. Адиабатическое расширение газа Ван дер Ваальса в вакуум.
19. Интегральный эффект Джоуля-Томсона для газа Ван дер Ваальса. Кривая инверсии интегрального эффекта в приведённых переменных.
20. Дифференциальный эффект Джоуля-Томсона для газа Ван дер Ваальса. Кривая инверсии дифференциального эффекта в приведённых переменных.
21. Поверхностное натяжение, формула Лапласа.
22. Термодинамика поверхностного натяжения.
23. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости. Кипение. Роль зародышей при образовании новой фазы.
24. Распределение Максвелла (распределение молекул по физически бесконечно малым объёмам пространства скоростей). Среднеквадратичная скорость.
25. Распределение молекул по компонентам и абсолютным значениям скорости. Наиболее вероятная скорость, средний модуль скорости.
26. Число столкновений молекул с единицей площади стенки за единицу времени. Средняя энергия молекул, вылетающих в вакуум через малое отверстие.
26. Равновесие газа во внешнем потенциальном поле. Распределение Больцмана. Барометрическое распределение.
27. Распределение Гиббса. Эквивалентность статистической и термодинамической температур. Статистический смысл энтропии. Статистическая сумма и её связь с термодинамическими потенциалами.

28. Элементы квантовой теории теплоёмкостей. Статистическая сумма, внутренняя энергия и теплоёмкость двухатомного идеального газа. Характеристические температуры. Классический закон равномерного распределения энергии по степеням свободы. Теплоёмкость кристаллов (закон Дюлонга–Пти).
29. Флуктуации числа частиц в заданном объёме идеального газа. Флуктуации объёма и температуры. Зависимость флуктуаций от числа частиц.
30. Термодинамическая теория флуктуаций. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов.
31. Прохождение пучка частиц через газ неподвижных рассеивателей (модель твёрдых шаров). Распределение по пробегам и его свойства. Газокинетическое сечение. Средняя длина свободного пробега частицы в "своём" газе и в смеси двух газов.
32. Вязкость газа. Теплопроводность, закон Фурье. Коэффициент теплопроводности одноатомного газа.
33. Взаимная диффузия двух газов, закон Фика. Коэффициент диффузии.
34. Диффузия как процесс случайного блуждания. Формула Эйнштейна для среднего квадрата смещения частицы за заданное время. Подвижность. Связь подвижности с коэффициентом диффузии. Подвижность броуновской частицы.
35. Явления переноса в разрежённых газах. Эффект Кнудсена. Эффузионное разделение газовых смесей. Течение разреженного газа через трубу.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1

1. Законы Авогадро, Бойля-Мариотта, Шарля и Гей-Люссака. Абсолютная температура. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона. Постоянная Больцмана.
2. Флуктуации числа частиц в заданном объёме идеального газа. Флуктуации объёма и температуры. Зависимость флуктуаций от числа частиц.

Билет 2

1. Первое начало термодинамики. Равновесные и квазиравновесные процессы. Общее выражение для работы газа при равновесном процессе. Работа при изотермическом расширении идеального газа. Независимость внутренней энергии идеального газа от объёма. Циклические процессы. Тепловой двигатель, холодильная машина, тепловой насос и характеристики их эффективности.
2. Термодинамическая теория флуктуаций. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов.

Билет 3

1. Теплоёмкость. Разность молярных теплоёмкостей C_p и C_v для идеального газа (уравнение Майера). Значения теплоёмкости C_v для одно, двух и многоатомных газов (без вывода). Адиабатический и политропический процессы (идеальный газ).
2. Прохождение пучка частиц через газ неподвижных рассеивателей (модель твёрдых шаров). Распределение по пробегам и его свойства. Газокинетическое сечение. Средняя длина свободного пробега частицы в "своём" газе и в смеси двух газов.

4. Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
отлично	10	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие

		знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	9	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	8	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.
хорошо	7	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.
	6	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.
	5	Выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.
удовлетворительно	4	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.
	3	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении

		программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.
неудовлетворительно	2	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.
	1	Выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется не менее одного часа на подготовку. Опрос по билету и ответы на дополнительные вопросы не должен превышать двух астрономических часов. По завершении отведенного на опрос времени, экзаменатор должен выставить обучающемуся оценку в соответствии с вышеприведенными критериями.