

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Одобрено на заседании
Ученого совета ИАТЭ
НИЯУ МИФИ
Протокол от 24.04.2023 №23.4

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая физика (молекулярная физика и основы статистической термодинамики)
название дисциплины

для направления подготовки

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
код и направления подготовки

образовательная программа

Монтаж, наладка и ремонт оборудования АЭС

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2023 г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Результаты освоения ООП <i>Содержание компетенций*</i>	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
ОПК-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знать: основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования Уметь: использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования Владеть: навыками использования основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина реализуется в рамках естественнонаучного модуля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные на предыдущих уровнях образования: математический анализ, аналитическая геометрия, линейная алгебра

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: общая физика (электричество и магнетизм), общая физика (волны, оптика и атомная физика).

Дисциплина изучается на 1 курсе в 2 семестре.

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид работы	Форма обучения					
	Очная			Заочная		
	Курс, семестр			Курс, семестр		
	1 курс, 2 семестр		Всего			Всего
Контактная работа обучающихся с преподавателем						
Аудиторные занятия (всего)	96		96			
В том числе:						
<i>лекции (лекции в интерактивной форме)</i>	32		32			
<i>практические занятия (практические занятия в интерактивной форме)</i>	32		32			
<i>лабораторные занятия</i>	32		32			
Промежуточная аттестация						
В том числе:						
<i>зачет</i>	-		-			
<i>экзамен</i>	54		54			
Самостоятельная работа обучающихся						
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	102		102			
В том числе:						
<i>Проработка учебного (теоретического) материала</i>	40		40			
<i>Подготовка ко всем видам контрольных испытаний текущего контроля успеваемости (в течение семестра)</i>	40		40			
<i>Подготовка ко всем видам контрольных испытаний промежуточной аттестации (по окончании семестра)</i>	22		22			
Всего (часы):	252		252			

Всего (зачетные единицы):	7		7			
----------------------------------	----------	--	----------	--	--	--

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

4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

Для очной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			
		Аудиторные учебные занятия			
		Лек	Сем/Пр	Лаб	СРО
1.	МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА				
1.1.	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ	4	10	4	15
1.2.	ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	4	11	4	15
1.3.	СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	4	-	4	15
1.4.	ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА	4	-	4	15
1.5.	ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	4	11	4	15
1.6.	РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ	6	-	6	15
1.7.	ЖИДКОЕ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА	6	-	6	12
	ВСЕГО:	32	32	32	102

Прим.: Лек – лекции, Сем/Пр – семинары, практические занятия, Лаб – лабораторные занятия, СРО – самостоятельная работа обучающихся

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА	

1.1.	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ	<p>Модель идеального газа. Динамический и статистический методы. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления. Уравнение Клапейрона-Менделеева. Физический смысл универсальной газовой постоянной.</p> <p>Молекулярно-кинетическое толкование абсолютной температуры. Температурные шкалы: эмпирическая, абсолютная, термодинамическая, международная, практическая.</p> <p>Число степеней свободы. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы молекул. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.</p>
1.2.	ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	<p>Равновесное и неравновесное состояния газа. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при расширении. Графическое представление работы. Количество теплоты. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Удельная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном давлении и постоянном объеме. Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов и ее ограниченность.</p> <p>Адиабатический процесс. Политропический процесс. Показатель политропы для изохорического, изотермического, изобарического процессов. Работа, совершаемая газом при различных процессах.</p>
1.3.	СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ	<p>Случайные события. Вероятность. Сложение и умножение вероятностей.</p> <p>Функция распределения вероятностей. Среднее значение функции.</p> <p>Распределение молекул по одной компоненте и по трем компонентам скорости. Распределение Максвелла по величинам скоростей. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.</p> <p>Барометрическая формула. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле. Экспериментальная проверка распределения Больцмана.</p>
1.4.	ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА	<p>Виды процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Эффективный диаметр молекулы. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул. Газокинетическая теория диффузии, теплопроводности, вязкости. Разреженные газы.</p>
1.5.	ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	<p>Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Тепловые двигатели и холодильные машины, КПД. Второе начало термодинамики в формулировках Кельвина, Клаузиуса и с помощью понятия энтропии. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Теорема Карно.</p> <p>Энтропия идеального газа. Энтропия в циклических процессах. Неравенство Клаузиуса. Энтропия при произвольных процессах в замкнутых системах. Микро- и макроскопическое состояния системы. Термодинамическая вероятность (статистический вес). Формула Больцмана. Статистическое толкование второго начала термодинамики.</p> <p>Третье начало термодинамики (теорема Нернста).</p>

1.6.	РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ	Отступление от законов идеальных газов. Силы и потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критические величины. Сравнение изотерм Ван-дер-Ваальса с экспериментальными. Метастабильные состояния.
1.7.	ЖИДКОЕ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА	Структура жидкостей. Поверхностное натяжение. Давление под изогнутой поверхностью жидкости. Явления на границе жидкости и твердого тела Смачивание. Капиллярные явления. Фазовые переходы первого и второго рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовая диаграмма. Нормальные и аномальные вещества. Эффект Джоуля-Томпсона.

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА	
1.1.	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ	<p>Модель идеального газа. Динамический и статистический методы. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления. Уравнение Клапейрона-Менделеева.</p> <p>Число степеней свободы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.</p>
1.2.	ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	<p>Равновесное и неравновесное состояния газа. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия идеального газа. Работа газа при расширении. Графическое представление работы. Количество теплоты. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Удельная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном давлении и постоянном объеме. Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов и ее ограниченность.</p> <p>Адиабатический процесс. Политропический процесс. Показатель политропы для изохорического, изотермического, изобарического процессов. Работа, совершаемая газом при различных процессах.</p>
1.5.	ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	<p>Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Тепловые двигатели и холодильные машины, КПД. Второе начало термодинамики в формулировках Кельвина, Клаузиуса и с помощью понятия энтропии. Цикл Карно и его КПД для идеального газа. Теорема Карно.</p> <p>Энтропия идеального газа. Энтропия в циклических процессах. Неравенство Клаузиуса. Энтропия при произвольных процессах в замкнутых системах. Микро- и макроскопическое состояния системы. Термодинамическая вероятность (статистический вес). Формула Больцмана. Статистическое толкование второго начала термодинамики.</p>

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Лабораторный практикум по курсу «Общая физика» раздел «Молекулярная физика» под редакцией Маркина А.П. и Мастерова В.С. – Обнинск: ИАТЭ, 1998
2. Гурбич А.Ф. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Общая физика».-Обнинск: ИАТЭ, 1999

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
Текущий контроль, 2 семестр			
1.	Молекулярная физика и термодинамика	ОПК-1	Коллоквиум Контрольная работа №2
Промежуточный контроль, 2 семестр			
	Экзамен	ОПК-1	Билеты
Всего:			

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

6.2.1. Экзамен

а) типовые вопросы - образец:

2-ой семестр «Молекулярная физика и термодинамика»

1. Малые колебания системы около положения равновесия.
2. Уравнение плоской волны, распространяющейся в произвольном направлении.
3. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
4. Теплоемкость твердых тел.
5. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу.
6. Внутренняя энергия идеального газа.
7. Фазовые переходы первого и второго рода.
8. Уравнение плоской волны, распространяющейся в произвольном направлении.
9. Уравнение собственных затухающих гармонических колебаний.
10. Работа газа при расширении.
11. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
12. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу.
13. Скорость частиц среды. Относительная деформация. Графическое представление волнового процесса.
14. Теплоемкость. Теплоемкость при постоянном давлении и объеме.
15. Поверхностное натяжение. Давление под изогнутой поверхностью жидкости.
16. Уравнение собственных затухающих гармонических колебаний.

17. Волновое уравнение.
18. Адиабатический процесс.
19. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
20. Уравнение вынужденных колебаний. Его решение.
21. Работа, совершаемая газом при различных процессах.
22. Критические величины, критические состояния.
23. Определение амплитуды и начальной фазы из начальных условий.
24. Уравнение плоской бегущей волны, распространяющейся вдоль оси x . Характеристики волнового процесса.
25. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул.
26. Энтропия идеального газа.
27. Уравнение стоячей волны. Координаты узлов и пучностей.
28. Определение амплитуды и начальной фазы из начальных условий.
29. Явления переноса. Газокинетическая теория диффузии.
30. Цикл Карно и его КПД для идеального газа.
31. Признаки гармонического осциллятора.
32. Собственные колебания струны.
33. Явления переноса. Газокинетическая теория теплопроводности.
34. Второе начало термодинамики.
35. Величины, характеризующие перенос энергии в волне.
36. Сложение колебаний с помощью векторной диаграммы.
37. Явления переноса. Газокинетическая теория вязкости.
38. Колебательные процессы. Их классификация.
39. Плотность энергии плоской упругой волны.
40. Работа, совершаемая газом при различных процессах.
41. Статистическое толкование второго начала термодинамики.
42. Колебательные процессы. Их классификация.
43. Волновое уравнение.
44. Третье начало термодинамики.
45. Биения. Их амплитуда и период.
46. Уравнение стоячей волны. Координаты узлов и пучностей.
47. Закон Дальтона.
48. Сравнение изотерм Ван-дер-Ваальса и экспериментальных изотерм.
49. Колебательные процессы. Их классификация.
50. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул.
51. Энтропия идеального газа. Неравенство Клаузиуса.
52. Определение амплитуды и начальной фазы из начальных условий.
53. Эффект Доплера.
54. Теплоемкость при постоянном давлении и объеме.
55. Тепловые двигатели и холодильные машины.
56. Распределение Максвелла.
57. Давление под изогнутой поверхностью жидкости.
58. Решение уравнения собственных затухающих гармонических колебаний. Аперидический режим.
59. Уравнение плоской бегущей волны, распространяющейся вдоль оси x . Характеристики волнового процесса.
60. Кристаллические решетки.
61. Уравнение стоячей волны. Координаты узлов и пучностей.
62. Математический маятник.
63. Смачивание. Капиллярные явления.
64. Физический маятник.
65. Уравнение плоской волны, распространяющейся в произвольном направлении.
66. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.
67. Признаки гармонического осциллятора.

68. Политропические процессы.
69. Сложение колебаний с помощью векторной диаграммы.
70. Распределение энергии в бегущей и стоячей волнах.
71. Явления на границе жидкости и твердого тела.
72. Гармонические колебания. Амплитуда, частота, фаза, начальная фаза. Связь между периодом и частотой.
73. Решение уравнения собственных затухающих гармонических колебаний. Аперидический режим.
74. Обратимые и необратимые процессы.
75. Фазовые переходы первого и второго рода.
76. Гармонические колебания. Амплитуда, частота, фаза, начальная фаза. Связь между периодом и частотой.
77. Энергия гармонического осциллятора.
78. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.
79. КПД цикла Карно.
80. Гармонический осциллятор. Квазиупругая сила.
81. Уравнение вынужденных колебаний. Его решение.
82. Математический маятник.
83. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа для давления.
84. Второе начало термодинамики.

б) Критерии оценивания компетенций (результатов):

Отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно

в) Описание шкалы оценивания:

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36–40	Студент должен: – продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; – исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; – правильно формулировать определения; – продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой; – уметь сделать выводы по излагаемому материалу.
Хорошо 30–35	Студент должен: – продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; – продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; – продемонстрировать умение ориентироваться в литературе; – уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.
Удовлетворительно 24–29	Студент должен: – продемонстрировать общее знание изучаемого материала; – показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины; – уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; – знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: – незнание значительной части программного материала; – не владение понятийным аппаратом дисциплины; – существенные ошибки при изложении учебного материала;

	– неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса; – неумение делать выводы по излагаемому материалу.
--	--

6.2.2. Коллоквиум

а) типовые вопросы - образец:

1. Модель идеального газа.
2. Динамический и статистический методы.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов для давления.
4. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
5. Физический смысл универсальной газовой постоянной.
6. Температурные шкалы: эмпирическая, абсолютная, термодинамическая, международная, практическая.
7. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы молекул. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.
8. Равновесное и неравновесное состояния газа.
9. Первое начало термодинамики.
10. Классическая молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов и ее ограниченность.
11. Адиабатический процесс.
12. Распределение молекул по одной компоненте и по трем компонентам скорости.
13. Распределение Максвелла по величинам скоростей.
14. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости.
15. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
16. Закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.
17. Экспериментальная проверка распределения Больцмана.

б) Критерии оценивания компетенций (результатов):

- уровень освоения обучающимся материала, предусмотренного учебной программой;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении заданий и задач;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

в) Описание шкалы оценивания:

Отметка «отлично» (в баллах от 27 до 30) ставится, если:

- изученный материал изложен полно, определения даны верно;
- ответ показывает понимание материала;
- обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, не только по учебнику и конспекту, но и самостоятельно составленные.

Отметка «хорошо» (в баллах от 22 до 26) ставится, если:

- изученный материал изложен достаточно полно;
- при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить самостоятельно при наводящих вопросах;
- обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

Отметка «удовлетворительно» (в баллах от 18 до 21) ставится, если:

- материал изложен неполно, с неточностями в определении понятий или формулировке определений;

- материал излагается непоследовательно;
- обучающийся не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;
- на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

Отметка «неудовлетворительно» (в баллах от 0 до 17) ставится, если:

- при ответе обнаруживается полное незнание и непонимание изучаемого материала;
- материал излагается неуверенно, беспорядочно;
- даны неверные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов.

6.2.3. Контрольная работа:

а) типовые задания- образец:

Задача 1

Определить давление p водяного пара массой $m=1$ кг, взятого при температуре $T=380$ К и объеме $V=2$ л.

Задача 2

Идеальный газ, совершающий цикл Карно, $2/3$ количества теплоты Q_1 , полученного от нагревателя, отдает охладителю. Температура T_2 охладителя равна 280 К. Определить температуру T_1 нагревателя.

Задача 3

В результате изохорного нагревания водорода массой $m=1$ г давление p газа увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа.

Задача 4

Идеальный газ совершает цикл Карно. Работа A_1 изотермического расширения газа равна 5 Дж. Определить работу A_2 изотермического сжатия, если термический КПД η цикла равен 0,2.

Задача 5

Каковы удельные теплоемкости c_v и c_p смеси газов, содержащей кислород массой $m_1=10$ г и азот массой $m=20$ г?

Задача 6

При изохорном нагревании кислорода объемом $V=50$ л давление газа изменилось на $\Delta p=0,5$ МПа. Найти количество теплоты Q , сообщенное газу.

Задача 7

В цилиндре под поршнем находится азот массой $m=0,6$ кг, занимающий объем $V_1=1,2$ м³ при температуре $T=560$ К. В результате подвода теплоты газ расширился и занял объем $V_2=4,2$ м³, причем температура осталась неизменной. Найти: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) совершенную им работу A ; 3) количество теплоты Q , сообщенное газу.

Задача 8

На сколько уменьшится атмосферное давление $p=100$ кПа при подъеме наблюдателя над поверхностью Земли на высоту $h=100$ м? Считать, что температура T воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

Задача 9

Идеальный газ находится при нормальных условиях в закрытом сосуде. Определить концентрацию n молекул газа.

Задача 10

Найти среднюю квадратичную среднюю арифметическую и наиболее вероятную v_B скорости молекулы водорода. Вычисления выполнить для температуры $T=20$ К

Задача 11

Сколько молекул газа содержится в баллоне вместимостью $V=30$ л при температуре $T=300$ К и давлении $p=5$ МПа?

Задача 12

Какова вероятность W того, что данная молекула идеального газа имеет скорость, отличную от v_B не

более чем на 1 %?

Задача 13

Рассматривая молекулы жидкости как шарики, соприкасающиеся друг с другом, оценить порядок размера диаметра молекулы сероуглерода CS_2 . При тех же предположениях оценить порядок размера диаметра атомов ртути. Плотности жидкостей считать известными.

Задача 14

В цилиндр длиной $l=1,6$ м, заполненный воздухом при нормальном атмосферном давлении p_0 , начали медленно вдвигать поршень площадью $S=200$ cm^2 . Определить силу F , которая будет действовать на поршень, если его остановить на расстоянии $l_1=10$ см от дна цилиндра.

Задача 15

Определить плотность ρ насыщенного водяного пара в воздухе при температуре $T=300$ К. Давление p насыщенного водяного пара при этой температуре равно 3,55 кПа.

Задача 16

В двух одинаковых по вместимости сосудах находятся разные газы: в первом — водород, во втором — кислород. Найти отношение n_1/n_2 концентраций газов, если массы газов одинаковы.

Задача 17

В баллоне вместимостью $V=2$ л находится кислород массой $m=1,17$ г. Концентрация n молекул в сосуде равна $1,1 \cdot 10^{25}$ m^{-3} . Определить по этим данным постоянную Авогадро N_A .

Задача 18

Взвешенные в воздухе мельчайшие пылинки движутся так, как если бы они были очень крупными молекулами. Определить среднюю квадратичную скорость пылинки массой $m=10^{-10}$ г, если температура T воздуха равна 300 К.

Задача 19

Одинаковые частицы массой $m=10^{-12}$ г каждая распределены в однородном гравитационном поле напряженностью $G=0,2$ мкН/кг. Определить отношение n_1/n_2 концентраций частиц, находящихся на эквипотенциальных уровнях, отстоящих друг от друга на $\Delta z=10$ м. Температура T во всех слоях считается одинаковой и равной 290 К.

Задача 20

На какой высоте h над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на ее поверхности? Считать, что температура T воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой.

Задача 21

При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в $n=10$ раз, а давление увеличилось в $k=21,4$ раза. Определить отношение C_p/C_v теплоемкостей газов.

Задача 22

Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты $Q=21$ кДж. Определить работу A , которую совершил при этом газ, и изменение ΔU его внутренней энергии.

Задача 23

При изотермическом расширении водорода массой $m=1$ г, имевшего температуру $T=280$ К, объем газа увеличился в три раза. Определить работу A расширения газа и полученное газом количество теплоты

Задача 24

Углекислый газ CO_2 массой $m=400$ г был нагрет на $\Delta T=50$ К при постоянном давлении. Определить изменение ΔU внутренней энергии газа, количество теплоты Q , полученное газом, и совершенную им работу A .

б) Критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценка	Критерии оценки
Отлично с 27 до 30 баллов	– решении заданий изложены полно; – ответ показывает понимание материала; – приведены верно решения всех заданий, допускаются незначительные арифметические ошибки.
Хорошо с 22 до 26 баллов	– приведенные решения заданий изложен достаточно полно; – при количественной оценке допускаются арифметические ошибки;

	– приведены верные решения на более чем 80% заданий.
Удовлетворительно с 18 до 21 баллов	– решения заданий изложены неполно, с неточностями в определении понятий или формулировке определений; – на 30-40% заданий даны неверные ответы и приведены неверные решения.
Неудовлетворительно с 0 до 17 баллов	– при решении заданий обнаруживается полное незнание и непонимание изучаемого материала; – приведено неверное решение более чем 50% заданий.

в) Описание шкалы оценивания:

Рейтинговый балл по дисциплине за контрольную	Оценка по 5-балльной системе
27 – 30	Отлично
22 – 26	Хорошо
18 – 21	Удовлетворительно
<17	Неудовлетворительно

6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (*коллоквиум*), контрольная точка № 2 (*контрольная работа*).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
<i>2 семестр</i>			
Текущий	Контрольная точка № 1	18	30
	Коллоквиум	18	30
	Контрольная точка № 2	18	30
	Контрольная работа	18	30
Промежуточный	Экзамен	24	40
	Билеты	24	40
ИТОГО по дисциплине		60	100

Процедура оценивания знаний, умений, владений по дисциплине включает учет успешности по всем видам заявленных оценочных средств.

Тесты по разделам проводятся на практических занятиях и включают вопросы по предыдущему разделу. Баллы выставляются преподавателем в соответствии с утвержденной шкалой оценивания.

Устный опрос проводится на каждом практическом занятии и затрагивает как тематику прошедшего занятия, так и лекционный материал. Применяется групповое оценивание ответа или оценивание преподавателем.

По окончании освоения дисциплины проводится промежуточная аттестация в виде экзамена, что позволяет оценить совокупность приобретенных в процессе обучения компетенций. При выставлении итоговой оценки применяется балльно-рейтинговая система оценки результатов обучения.

Экзамен предназначен для оценки работы обучающегося в течение всего срока изучения дисциплины и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных обучающимся теоретических знаний и умений приводить примеры практического использования знаний (например, применять их в решении практических задач), приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления.

Оценка сформированности компетенций на экзамене для тех обучающихся, которые пропускали занятия и не участвовали в проверке компетенций во время изучения дисциплины, проводится после индивидуального собеседования с преподавателем по пропущенным или не усвоенным обучающимся темам с последующей оценкой самостоятельно усвоенных знаний на экзамене.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная учебная литература:

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика, Лань, 2009-2011. (13 экз., ЭБС Лань, <http://e.lanbook.com/>).
2. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 3. Молекулярная физика и термодинамика, Лань, 2011. (ЭБС Лань, <http://e.lanbook.com/>).
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике, "Лаборатория знаний" (ранее "БИНОМ. Лаборатория знаний"), 2010-2014. (69 экз. , ЭБС Лань, <http://e.lanbook.com/>).
4. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы, "Лаборатория знаний" (ранее "БИНОМ. Лаборатория знаний"), 2012. (1, ЭБС Лань, <http://e.lanbook.com/>).

б) дополнительная учебная литература:

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика, Физматлит, 2006. (ЭБС Лань, <http://e.lanbook.com/>).
2. И.В.Савельев. Курс общей физики. Книга 2. М, АСТ, 2002. (200 экз.).

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

<http://ibooks.ru/>

<http://e.lanbook.com/>

<http://www.biblio-online.ru/>

<http://kuperbook.biblioclub.ru>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Контрольная работа	Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме.
Коллоквиум	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену (зачету) необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу.

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

1. Чтение лекций с использованием слайд-презентаций
2. Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
3. Интерактивное общение с помощью э/почты или Skype.

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Аудиторный фонд института.
2. Учебная лаборатория "Молекулярная физика".
3. Библиотечный фонд института.

12. Иные сведения и (или) материалы

12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

На лекциях и семинарах постоянно используются следующие интерактивные методы обучения: диспут, групповая дискуссия, дебаты, мозговой штурм, проблемная и интерактивная лекции.

12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)

Второй семестр

1. И.В.Савельев. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика Москва, Издательство «Лань» 2006, стр.246-261 (Гидродинамика).
2. И.В.Савельев. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика Москва, Издательство «Лань» 2006, (Определение Перрреном числа Авогадро) стр.324-332.
- 3.И.В.Савельев. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика Москва, Издательство «Лань» 2006, (Статистический вес) стр.324-332.
4. И.В.Савельев. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика Москва, Издательство «Лань» 2006, Термодинамические потенциалы. Внутренняя энергия. Свободная энергия. Энтальпия).

12.3. Краткий терминологический словарь

Адиабатическим называется процесс, происходящий в условия теплоизоляции (без теплообмена со средой).

Барометрическая формула Лапласа дает зависимость давления от высоты: $p = p_0 \exp(-\mu gh/RT)$, где μ – молярная масса газа, h – высота, T – температура, p_0 – давление у поверхности Земли, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная. Таким образом, давление экспоненциально убывает с высотой. Формула выведена при условии постоянства температуры и однородности поля тяготения. Поэтому для реальной атмосферы выполняется лишь приближенно и при небольшом изменении высоты.

Вакуумом называется состояние разрежения, когда соударения молекул друг с другом немногочисленны по сравнению с соударениями со стенками сосуда. Степень разрежения зависит от соотношения среднего свободного пробега и линейных размеров сосуда.

Вакуумные насосы применяются для создания *вакуума*. Различают насосы предварительного вакуума (для создания давления порядка 10^{-3} мм рт. ст.) и насосы высокого вакуума (для создания давления порядка 10^{-7} мм рт. ст. и ниже).

Вечным двигателем второго рода называется устройство, превращающее в полезную работу все количество теплоты, полученное от нагревателя (без передачи некоторого количества теплоты холодильнику). Утверждение о невозможности вечного двигателя второго рода – одна из возможных формулировок *второго начала термодинамики*.

Вечным двигателем первого рода называется устройство, создающее энергию из ничего. Невозможность такого двигателя вытекает из *первого начала термодинамики* (закона сохранения энергии).

Внутренним трением называется возникновение силы трения между слоями жидкости или газа, движущимися с разными скоростями. Причиной внутреннего трения является хаотическое тепловое

движение. См. также *Явления переноса*.

Внутренней энергией (U) называется общий запас энергии *системы* за вычетом кинетической энергии системы как целого и потенциальной энергии системы как целого во внешнем потенциальном поле. Внутренняя энергия *идеального газа* равна суммарной кинетической энергии молекул.

Существует свыше 20 формулировок второго начала термодинамики. Первая формулировка: теплота может самопроизвольно передаваться только от более нагретых тел к менее нагретым. Еще одна формулировка: в замкнутой (изолированной) системе при неравновесном *теплообмене энтропия* системы возрастает, достигая максимума при достижении системой равновесия. Второе начало указывает, таким образом, на направление процессов.

Фазы (агрегатные состояния) вещества находятся в динамическом равновесии, если количество молекул, переходящих из первой фазы во вторую в единицу времени, равно числу молекул, переходящих за то же время из второй фазы в первую. Равновесие может быть на границе «жидкость-пар», «твердое тело-жидкость» и «твердое тело-пар». Давление, соответствующее равновесию, зависит от температуры. См. также *Тройная точка*.

Диффузией называется процесс выравнивания концентраций соприкасающихся слоев жидкости или газа вследствие хаотического (теплого) движения молекул. Диффузия приводит к тому, что примеси в жидкости или газе распространяются от места их введения. См. также *Явления переноса*.

Закон Бойля-Мариотта утверждает, что для данной массы газа, при постоянной температуре, произведение давления на объем есть величина постоянная: $pV = \text{const}$.

Закон Гей-Люссака утверждает, что для данной массы газа, при постоянном давлении, объем газа прямо пропорционален абсолютной температуре: $(V_1/V_2) = (T_1/T_2)$.

Закон Гука выражает линейную зависимость между напряжениями и малыми деформациями в упругой среде. Английский ученый Р.Гук обнаружил (1660), что при растяжении стержня длиной l и площадью поперечного сечения S удлинение стержня Δl пропорционально растягивающей силе F . Еще одна форма записи закона Гука: $\sigma = E\varepsilon$, где $\sigma = F/S$ – нормальное напряжение в поперечном сечении, $\varepsilon = \Delta l/l$ – относительное удлинение стержня. Коэффициент пропорциональности E называется модулем Юнга.

Закон Дальтона гласит: давление смеси химически не взаимодействующих газов равно сумме *парциальных давлений* отдельных компонентов.

Закон Дюлонга и Пти утверждает, что атомная теплоемкость химически простого кристаллического твердого тела одинакова для всех таких тел, не зависит от температуры и равна $c_a = 3R$, где $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная. При низких температурах закон перестает выполняться, а при $T \rightarrow 0$ $c_a \rightarrow 0$. Объяснить указанное затруднение удалось квантовой теории теплоемкости (Эйнштейн, 1907; Дебай, 1914).

Закон Шарля утверждает, что для данной массы газа, при постоянном объеме, давление газа прямо пропорционально абсолютной температуре:
 $(p_1/p_2) = (T_1/T_2)$.

Идеальной называется тепловая машина, работающая по *циклу Карно*.

Идеальной холодильной машиной называется холодильная машина, работающая по обратному *циклу Карно*.

Идеальным газом называют систему, свойства которой описываются уравнением Клапейрона-Менделеева $pV = (m/\mu)RT$, где p – давление, V – объем, T – температура, m – масса, μ – масса одного киломоля, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная. С точки зрения молекулярно-кинетической теории идеальный газ – это газ, молекулы которого имеют нулевой собственный объем и не взаимодействуют на расстоянии. Реальный газ при условиях, близких к нормальным, можно приближенно считать идеальным.

Изобарическим называется процесс, происходящий при постоянном давлении ($p = \text{const}$).

Испарение это процесс *парообразования*, происходящий при любой температуре с поверхности жидкости.

Изотермическим называется процесс, происходящий при постоянной температуре ($T = \text{const}$).

Конвекцией называется процесс перемешивания слоев жидкости или газа, имеющих разную *температуру* и находящихся в поле тяготения. Причиной конвекции является зависимость плотности жидкости или газа от температуры. Конвекция – один из способов *теплообмена*.

Краевым углом называется угол θ между касательной к поверхности жидкости в точке

соприкосновения с твердым телом и поверхностью твердого тела. В случае смачивания краевой угол острый, в случае несмачивания – тупой.

Критическая температура – температура, выше которой газ невозможно сжатием превратить в жидкость. При температуре ниже критической изотерма сжатия в координатах (p , V) имеет горизонтальный участок – линию плавления.

Изохорическим называется процесс, происходящий при постоянном объеме ($V = \text{const}$).

Капилляры – тонкие трубки диаметром 0,01 – 0,1 мм. При опускании их в смачивающую жидкость уровень жидкости в капилляре оказывается выше уровня жидкости в сосуде, а при опускании в несмачивающую жидкость – ниже. Высота подъема жидкости в капилляре определяется по формуле Жюрена: $h = 4\cos\theta \cdot \alpha / d\rho g$, где θ – краевой угол, α – коэффициент поверхностного натяжения, d – диаметр капилляра, ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения.

Кипением называется процесс парообразования, происходящий не только со свободной поверхности жидкости, но и во всем объеме, внутри образующихся пузырьков пара. Пузырьки пара увеличиваются в размерах и всплывают на поверхность и лопаются, создавая характерную картину кипения. Температура кипения соответствует равенству давления насыщенного пара жидкости внешнему давлению.

Количество теплоты – это энергия, полученная (или отданная) системой при теплообмене. По аналогии с выражением для элементарной работы $\delta A = p dV$ можно записать для элементарного количества теплоты: $\delta Q = T dS$. Температура здесь играет роль термической «силы», а энтропия – термической «координаты».

Каждому взаимодействию отвечает некоторая физическая величина, характеризующая систему и называемая координатой состояния. Для термомеханической системы это объем V и энтропия S . Число координат состояния определяет число степеней свободы. Так, термомеханическая система имеет две степени свободы.

Коэффициент поверхностного натяжения α определяется как отношение силы поверхностного натяжения, действующей на контур, ограничивающий свободную поверхность жидкости, к длине этого контура.

Кристалл – твердое тело, частицы которого расположены упорядоченно. Главным отличием кристаллов от аморфных твердых тел является анизотропия физических свойств (зависимость свойств от направления). См. также Кристаллическая решетка.

Кристаллическая решетка – изображение положения центров атомов или молекул в кристалле. Элементарная ячейка – наименьшая часть решетки, отображающая структуру кристалла.

Повторение элементарной ячейки путем параллельного переноса можно получить решетку в целом.

Критической называется температура, выше которой газ нельзя превратить в жидкость увеличением давления. Критическая температура у разных веществ может быть довольно высокой и очень низкой. Например, у водяного пара она равна 647 К, а у молекулярного водорода 33 К, а у гелия 5,2 К. См. также Пар.

Макросостояние – состояние термодинамической системы, задаваемое набором макроскопических параметров (давление, объем, температура и пр.), характеризующих систему в целом. Одно макросостояние может быть реализовано большим (даже очень большим) числом микросостояний. См. также Термодинамическая вероятность.

Микросостояние – состояние термодинамической системы, задаваемое набором величин, характеризующих каждую микрочастицу (координата, импульс, энергия и т. д.).

МКТ – теория тепловых явлений, основанная на представлении о мельчайших частицах вещества – атомах и молекулах. Современное название МКТ – статистическая физика. См. также Основные положения молекулярно-кинетической теории.

Насыщенным называется пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью.

Наивероятнейшей называется скорость v_v , соответствующая максимуму функции распределения Максвелла. См. также Распределение Максвелла.

Наивероятнейшая скорость пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры.

Неравенство Клаузиуса есть математическая запись второго начала термодинамики для необратимых процессов в неизолированной системе: если система совершает цикл (круговой процесс), то изменение ее энтропии равно нулю. Алгебраическая сумма приведенных количеств теплоты, сообщенных при этом системе, равно нулю в обратимом процессе и меньше нуля в необратимом

процессе. Приведенное количество теплоты – это количество теплоты, полученное системой от нагревателя (или отданное холодильнику), отнесенное к соответствующей температуре.

Нормальными называются условия, когда система (например, газ) находится при давлении $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт. ст.) и температуре $T = 273$ К (0°C).

Обратимым называется процесс, который можно провести в прямом и обратном направлении через одни и те же промежуточные состояния без изменения в окружающих телах. Обратимыми являются *равновесные процессы*.

Опытные газовые законы – это законы *Бойля-Мариотта*, *Гей-Люссака* и *Шарля*.

Основные положения МКТ:

- все тела состоят из мельчайших частиц, атомов и молекул;
- частицы эти находятся в состоянии непрерывного хаотического движения, называемого тепловым;
- между частицами имеются силы притяжения и отталкивания;
- движение каждой частицы подчиняется законам классической механики.

Пар – это газ при температуре ниже критической. Пар можно превратить в жидкость простым сжатием. Всякий пар – это газ, но не всякий газ есть пар. См. также *Критическая температура*.

Координаты и потенциалы называются параметрами состояния. Например, для термомеханической системы параметрами состояния будут: объем (V), *энтропия* (S), давление ($-p$) и *температура* (T).

Парциальным давлением газа называется давление, которое было бы, если бы этот газ занимал объем, занимаемый смесью газов. См. также *Закон Дальтона*.

Первое начало термодинамики – закон сохранения энергии, записанный в чрезвычайно общей форме, включающий изменение энергии за счет *теплообмена*. В стандартных обозначениях: $\Delta Q = \Delta U + A$ – количество теплоты, сообщаемое системе (ΔQ), идет на повышение внутренней энергии системы (ΔU) и на совершение работы (A). Закон сохранения механической энергии – частный случай первого начала термодинамики.

Политропическим называется процесс, описываемый уравнением $pV^n = \text{const}$, где n – некоторое действительное число (показатель политропы). *Изотермический* ($n = 1$), *изобарический* ($n = 0$), *изохорический* ($n = \infty$) и *адиабатический* ($n = \gamma$, $\gamma = c_p/c_v$) процессы – частные случаи политропического процесса.

Для любого *взаимодействия* существует величина, **называемая потенциалом**. Условием возникновения взаимодействия является разность потенциалов *системы и среды*. Для механического взаимодействия потенциалом является давление, для теплообмена – температура. Давление, рассматриваемое как термодинамический потенциал, берется со знаком минус.

Принцип равномерного распределения энергии по степеням свободы сформулирован Максвеллом: если система находится в состоянии равновесия при температуре T , то энергия распределяется по степеням свободы равномерно и на каждую степень свободы приходится энергия $(1/2)kT$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Работой называется макрофизический способ изменения *внутренней энергии системы*, сопровождающийся макроскопическим движением. Ср.: *Теплообмен*. Энергия, которую система получает (или отдает) при этом процессе, называется так же работой (A).

Равновесные распределения – формулы, показывающие, как распределяются молекулы по энергиям и скоростям. См. *Распределение Больцмана* и *Распределение Максвелла*.

Равновесным называется процесс, протекающий бесконечно медленно и представляющий собой последовательность равновесных состояний. Равновесный процесс протекает при наличии бесконечно малой разности *потенциалов системы и среды*. Равновесные процессы изучает раздел *термодинамики* – *термостатика*. Реальный процесс можно считать равновесным, если он протекает достаточно медленно.

Распределение Больцмана – *равновесное распределение* молекул в потенциальном поле: $n = n_0 \exp(-\Delta E/kT)$, где n_0 – концентрация молекул там, где потенциальная энергия принимается равной нулю; n – концентрация там, где потенциальная энергия равна ΔE ; T – температура; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана. При $T \rightarrow \infty$ $n = n_0$, т. е. концентрации выравниваются с повышением температуры.

Распределение Максвелла – *равновесное распределение* молекул по скоростям: $f(u) = (\Delta n/n\Delta u) = (4/\sqrt{\pi})u^2 e^{-u^2}$, где Δn – число молекул, скорости которых лежат в интервале от u до $(u + \Delta u)$; n – общее число молекул; $u = v/v_B$ – относительная скорость, т. е. отношение скорости молекулы v к

наивероятнейшей скорости v_b . Отношение $\Delta n/n$ можно интерпретировать как априорную вероятность того, что у наугад взятой молекулы скорость окажется в интервале от u до $(u + \Delta u)$.

Свободный пробег есть расстояние, которое проходит молекула между двумя соударениями. В *молекулярно-кинетической теории* вводится понятие среднего свободного пробега.

Термодинамическая система – это часть Вселенной, выделенная для исследования. Средой может быть и газ в сосуде и скопление галактик. Среда – все остальное (то, что не вошло в систему).

Степени свободы – независимые координаты, определяющие положение тела (молекулы) в пространстве.

Температура – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической *системы*. С точки зрения *термодинамики* температура есть мера отклонения данного тела от состояния термодинамического равновесия с другим телом. Общее определение: температура есть производная от *внутренней энергии* системы по *энтропии*. Для *идеального газа* температура есть мера средней кинетической энергии молекулы.

Творцы **второго начала термодинамики** Томсон и Клаузиус распространили второе начало на всю Вселенную, рассматривая ее как замкнутую *систему*. Ход их рассуждений был таков. Все виды энергии могут без ограничений переходить во внутреннюю энергию (в энергию хаотического движения частиц, как часто говорят, в теплоту). Теплота самопроизвольно самопроизвольно передается от более нагретых к менее нагретым телам. Образно говоря, все виды энергии стекают в тепловой океан. В конце концов наступает равновесие при температуре, близкой к абсолютному нулю. Наступает тепловая смерть Вселенной. Критика этой теории основана на двух положениях. Во-первых, Вселенную нельзя считать замкнутой системой, так как понятие система предполагает наличие *среды*. Во-вторых, во Вселенной существуют процессы концентрации энергии, механизма которых мы не знаем. См. также **Второе начало термодинамики**.

Тепловое расширение твердых тел (увеличение размеров при нагревании) объясняется асимметрией потенциальной кривой зависимости потенциальной энергии от расстояния между атомами.

Тепловыми машинами называются устройства для преобразования *внутренней энергии* в механическую работу. Любая тепловая машина состоит из нагревателя, холодильника и рабочего тела. К тепловым машинам относятся паровые машины, паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания, реактивные двигатели и т. д.

Теплоемкостью тела (системы) называется *количество теплоты*, необходимое для нагревания тела (*системы*) на один кельвин. Если расчет ведется на один килограмм, теплоемкость называется удельной, если на один (кило)моль – (кило)молярной.

Теплопроводностью называется процесс выравнивания температур при соприкосновении тел (твердых, жидких или газообразных), имеющих разную температуру. Теплопроводность объясняется переходом энергии от более нагретых к менее нагретым областям при отсутствии (если это газ или жидкость) перемешивания или *конвекции*. См. также *Явления переноса*.

Теплообменом (или теплопередачей) называется микрофизический способ изменения *внутренней энергии системы*, не связанный с макроскопическим движением. См. также *Количество теплоты*.

Термодинамика – наука о самых разнообразных процессах и сопровождающих их энергетических превращениях. Термодинамика относится к области макрофизики, она отвлекается от подразумеваемого молекулярного строения вещества и учитывает лишь поведение *системы* в целом. Делится на *термостатику* и собственно термодинамику.

Термодинамическая вероятность W – число *микросостояний*, с помощью которых реализуется данное *макросостояние*.

Термодинамическим процессом называется изменение *координат состояния* системы при наличии разности *потенциалов системы и среды*. См. также *Равновесный процесс*.

Термодинамическим равновесием называется состояние, при котором макроскопические *параметры состояния* всюду постоянны и не изменяются с течением времени.

Третье начало термодинамики утверждает, что *энтропия* системы при абсолютном нуле температуры равна нулю (теорема Нернста, 1906).

Деформация называется упругой, если при снятии деформирующей силы размеры и форма тела восстанавливаются. См. также *Закон Гука*.

Тройной точкой называется точка на диаграмме (p , T), в которой пересекаются кривые фазового равновесия. Если вещество находится при давлении и температуре, соответствующих тройной точке,

то все три фазы (твердая, жидкая и газообразная) находятся в *динамическом равновесии*. Например, для воды: $p_{тр} = 610$ Па, $T_{тр} = 273,16$ К.

Уравнение Ван-дер-Ваальса это *уравнение состояния* реального газа, в котором учитывается собственный объем молекул и силы притяжения между ними: $[p + (a/V_{\mu}^2)](V_{\mu} - b) = RT$, где a и b – поправки на силы притяжения и на собственный объем молекул. См. также *Уравнение Клапейрона-Менделеева*.

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса описывает фазовые переходы 1-го рода:

$(dp/dT) = \lambda/T(V_2 - V_1)$. Здесь V_1 и V_2 – удельные объемы низко- и высокотемпературной фазы, соответственно; λ – удельная теплота перехода. В левой части уравнения стоит производная от давления по температуре.

Уравнение Клапейрона-Менделеева – уравнение состояния *идеального газа*: $pV = (m/\mu)RT$, где p – давление, V – объем, T – температура, m – масса, μ – масса одного киломоля, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная.

Уравнение Майера связывает молярные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме: $c_{\mu p} - c_{\mu v} = R$,

где $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/кмоль·К – универсальная газовая постоянная.

Уравнение МКТ для давления имеет вид: $p = (1/3)m_0 n_0 v_{кв}^2$. Здесь m_0 – масса одной молекулы, n_0 – концентрация молекул, $v_{кв}$ – средняя квадратичная скорость.

Уравнение МКТ для энергии имеет вид: $E_{ср} = (i/2)kT$. Здесь $E_{ср}$ – средняя кинетическая энергия одной молекулы, T – температура, i – число степеней свободы, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Уравнением состояния называется *уравнение*, связывающее *параметры состояния*. Для *идеального газа* уравнением состояния является *уравнение Клапейрона-Менделеева*.

Уравнения Пуассона связывают попарно давление, объем и температуру при *адиабатическом процессе*: $TV^{\gamma-1} = \text{const}$, $pV^{\gamma} = \text{const}$, $T^{\gamma}/p^{\gamma-1} = \text{const}$. Здесь $\gamma = c_p/c_v$ – отношение газовых теплоемкостей.

Фазовым переходом первого рода называется превращение, сопровождающееся выделением или поглощением энергии (скрытой теплоты перехода) и изменением удельного объема. К таким переходам, в частности, относятся: плавление и кристаллизация, испарение и конденсация, сублимация (испарение твердых тел) и конденсация.

Фазовым переходом второго рода называется превращение, происходящее без поглощения или выделения теплоты и изменения удельного объема. Примеры фазовых переходов второго рода: переход ферромагнетика в парамагнитное состояние при температуре Кюри, переход металла в сверхпроводящее состояние и пр.

Формула Больцмана-Планка связывает *энтропию* S и *термодинамическую вероятность* W : $S = k \ln W$.

Функцией состояния называется величина, однозначно определяемая набором *координат состояния* системы. Примеры функций состояния: *внутренняя энергия*, *энтропия* и пр. В принципе любой *параметр состояния* может рассматриваться как функция состояния.

Холодильные машины – устройства, отнимающие теплоту от тела с более низкой температурой и передача теплоты телу с более высокой температурой за счет совершения работы. Принцип действия основан на испарении летучих жидкостей (аммиак, фреон) при пониженном давлении. Широко применяются в производстве, науке и технике (пищевая, химическая и металлообрабатывающая промышленность, строительная техника и пр.).

Циклом Карно называется *цикл*, состоящий из двух изотерм и двух адиабат.

КПД цикла Карно зависит только от температур нагревателя (T_1) и холодильника (T_2): $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$. Этот коэффициент максимальный из всех циклов, осуществляемых с данным нагревателем и холодильником и не зависит от природы рабочего тела.

Циклическим или круговым процессом называется последовательность превращений, в результате которой система возвращается в исходное состояние. Циклы могут быть равновесными и неравновесными. На диаграмме *равновесные* круговые процессы изображаются замкнутыми кривыми. На диаграмме (p , V) прямой цикл осуществляется по часовой стрелке, обратный – против часовой стрелки.

Энтропией называется *функция состояния* системы, дифференциал которой равен отношению элементарного количества теплоты, полученного системой в элементарном *обратимом процессе*, к температуре. При неравновесном теплообмене в изолированной системе энтропия системы

возрастает. См. также *Второе начало термодинамики*.

Эффектом Джоуля-Томсона называется изменение температуры реального газа при адиабатическом расширении. Если газ при этом охлаждается, эффект называется положительным, если нагревается – отрицательным. При нормальных условиях большинство газов обнаруживают положительный эффект (исключения – водород и гелий). Применяется для получения жидких газов.

К явлениям переноса относится группа явлений, имеющих сходный механизм: ***внутреннее трение (вязкость), теплопроводность, диффузия***.

Переносится за счет хаотического теплового движения, соответственно, импульс, кинетическая энергия, масса.