

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе
и довузовской подготовке
А. А. Воронов
09 января 2018 года

ПРОГРАММА

по дисциплине: Общая физика: термодинамика и
молекулярная физика

по направлению подготовки: 03.03.01 «Прикладные математика и физика»

факультеты: для всех факультетов

кафедра: общей физики

курс 1

семестр 2

Трудоёмкость:

теор. курс: базовая часть – 4 зачет. ед.;

физ. практикум: базовая часть – 3 зачет. ед.;

лекции – 30 часов

Экзамен – 1 семестр

практические (семинарские)

занятия – 30 часов

лабораторные занятия – 60 часов

Диф. зачёт – 1 семестр

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ – 120

Самостоятельная работа:

теор. курс – 90 часов

физ. практикум – 75 часов

Программу и задание составили:

к.ф.-м.н., доц. А.В. Гавриков

к.ф.-м.н., доц. П.В. Попов

к.ф.-м.н., доц. М.А. Савров

к.ф.-м.н. Д.И. Холин

Программа принята на заседании кафедры
общей физики 7 ноября 2017 г.

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н., профессор

А. В. Максимычев

ТЕРМОДИНАМИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1. Основные понятия, задачи и методы молекулярной физики. Макроскопические параметры. Термодинамическая система. Термодинамические параметры. Нулевое начало термодинамики. Уравнения состояния (термическое и калорическое). Идеальный и неидеальный газы. Давление идеального газа как функция кинетической энергии молекул. Связь температуры идеального газа и кинетической энергии молекул. Внутренняя энергия идеального газа. Уравнение состояния идеального газа и законы идеальных газов. Идеально-газовое определение температуры.

Работа, теплота, внутренняя энергия. Функции состояния. Первое начало термодинамики. Циклические процессы. Работа при циклическом процессе. Теплоёмкость. Теплоёмкости идеальных газов при постоянном объёме и постоянном давлении, соотношение Майера. Адиабатический и политропический процессы. Уравнения адиабаты и политропы для идеального газа.

Звук. Скорость звука в газах. Влияние состава газа на скорость звука.

2. Равновесное и неравновесное состояния. Квазистатические, обратимые и необратимые термодинамические процессы. Второе начало термодинамики. Формулировки второго начала. Тепловые машины. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Неравенство Клаузиуса. Холодильная машина и тепловой насос. Коэффициенты эффективности теплового насоса и холодильной машины, работающих по циклу Карно.

Термодинамическое определение энтропии. Энтропия идеального газа. Необратимые процессы, изменение энтропии в необратимых процессах. Закон возрастания энтропии. Неравновесное расширение идеального газа в пустоту.

3. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, энергия Гиббса. Максимальная и минимальная работа. Преобразования термодинамических функций. Соотношения Максвелла. Примеры применения: термодинамика излучения (свойства идеального газа фотонов), термодинамика деформации твердых тел (адиабатическое растяжение резинового и металлического стержней). Тепловое расширение твердых тел как следствие ангармоничности колебаний в кристаллической решётке.

Поверхностные явления. Краевые углы, смачивание и несмачивание. Формула Лапласа. Свободная и внутренняя энергия поверхности.

4. Фаза и агрегатное состояние. Классификация фазовых переходов (I и II рода). Экстенсивные и интенсивные величины. Химический потенциал. Условия равновесия фаз для переходов I рода. Уравнение Кла-

пейрона–Клаузиуса. Кривая фазового равновесия «жидкость–пар», зависимость давления насыщенного пара от температуры. Фазовые диаграммы. Тройная точка. Диаграмма состояния «лёд–вода–пар» в координатах P - T и P - V . Критическая точка.

Метастабильные состояния. Перегретая жидкость и переохлаждённый пар. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Кипение. Роль зародышей в образовании фазы.

5. Газ Ван-дер-Ваальса как модель реального газа. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Связь с изотермой реальной системы: правило Максвелла и правило рычага. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса. Адиабата газа Ван-дер-Ваальса. Неравновесное расширение газа Ван-дер-Ваальса в пустоту. Критические параметры и приведённое уравнение состояния.

6. Элементы гидродинамики идеальной жидкости. Линии тока, стационарное ламинарное течение. Уравнение Бернулли для сжимаемой и несжимаемой жидкости. Изоэнтропическое течение газа, истечение газа из отверстия. Дросселирование, эффект Джоуля–Томсона.

7. Вязкость. Стационарное ламинарное течение вязкой жидкости/газа по прямолинейной трубе, формула Пуазейля. Пограничный слой и явления отрыва. Эффект Магнуса, подъёмная сила при обтекании крыла (качественное объяснение). Безразмерные параметры. Число Рейнольдса. Законы физического подобия.

8. Элементы теории вероятностей. Частотное определение вероятности. Дискретные и непрерывные случайные величины, плотность вероятности. Условие нормировки. Средние величины и дисперсия. Независимые случайные величины. Нормальный (гауссов) закон распределения как предел распределения для суммы большого числа независимых слагаемых. Зависимость дисперсии суммы от числа слагаемых (закон \sqrt{N}). Среднеквадратичное смещение точки при одномерных случайных блужданиях.

9. Распределение Максвелла: распределения частиц по компонентам скорости и абсолютным значениям скорости. Доля молекул, лежащих в заданном интервале скоростей. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Распределения Максвелла по энергиям.

Среднее число частиц, сталкивающихся в единицу времени с единичной площадкой. Средняя энергия частиц, вылетающих в вакуум через малое отверстие в сосуде.

10. Распределение Больцмана в поле внешних сил как условие теплового и механического равновесия. Барометрическая формула. Распределение Максвелла—Больцмана.

Теплоёмкость. Классическая теория теплоёмкостей. Закон равномерного распределения энергии теплового движения по степеням свободы. Теплоёмкость кристаллов (закон Дюлонга–Пти). Элементы квантовой теории теплоёмкостей. Замораживание степеней свободы, характеристические температуры. Зависимость теплоёмкости C_V газов от температуры.

11. Основы статистической физики классических идеальных систем. Макроскопические и микроскопические состояния. Фазовое пространство. Статистический вес макросостояния. Статистическое определение энтропии. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии. Понятие о распределении Гиббса. Распределения Максвелла и Больцмана как частные случаи распределения Гиббса.

Изменение энтропии при смешении газов, парадокс Гиббса.

Третье начало термодинамики. Изменение энтропии и теплоёмкости при приближении температуры к абсолютному нулю.

Статистическая температура. Свойства двухуровневой системы, инверсная заселенность.

12. Флуктуации. Среднее значение и дисперсия энергии частицы. Флуктуации и распределение Гаусса. Флуктуации термодинамических величин. Флуктуация температуры в фиксированном объёме. Флуктуация объёма в изотермическом и адиабатическом процессах. Флуктуации аддитивных физических величин. Зависимость флуктуаций от числа частиц, составляющих систему. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов.

13. Столкновения. Эффективное газокинетическое сечение. Длина свободного пробега. Распределение молекул по длинам свободного пробега. Число столкновений молекул между собой.

Явления молекулярного переноса: вязкость, теплопроводность и диффузия. Законы Фика и Фурье. Оценка коэффициентов переноса в газах. Уравнения диффузии и теплопроводности. Примеры стационарных распределений концентрации и температуры. Диффузия как процесс случайных блужданий. Скорость передачи тепла за счет теплопроводности.

14. Броуновское движение. Закон Эйнштейна–Смолуховского. Подвижность макрочастицы. Связь подвижности частицы и коэффициента диффузии облака частиц.

Явления переноса в разреженных газах. Эффект Кнудсена. Эффузия. Течение разрежённого газа по прямолинейной трубе. Зависимость коэффициента теплопроводности разреженного газа от давления.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. *Кириченко Н.А.* Термодинамика, статистическая молекулярная физика. – М.: Физматкнига, 2012.
2. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Физматлит, 2006.
3. *Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М.* Основы физики. Курс общей физики. Т. 2. Квантовая и статистическая физика / под ред. Ю.М. Ципенюка. Часть V. Главы 1–4. – М.: Физматлит, 2001.
4. *Белонучкин В.Е.* Краткий курс термодинамики. – М.: МФТИ, 2010.
5. Лабораторный практикум по общей физике. Т. 1 / под ред. А.Д. Гладуна. – М.: МФТИ, 2012.
6. Сборник задач по общему курсу физики. Ч. 1 / под ред. В.А. Овчинкина (3-е изд., испр. и доп.). – М.: Физматкнига, 2013.

Дополнительная литература

1. *Щёголев И.Ф.* Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. – М.: Янус, 1996; М.: Интеллект, 2008.
2. *Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М.* Курс общей физики. – М.: Интеллект, 2014 (4-е изд.).
3. *Базаров И.П.* Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1983.
4. *Рейф Ф.* Статистическая физика (Берклеевский курс физики). Т. 5. – М.: Наука, 1972.
5. *Пригожин И., Кондепуди Д.* Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир, 2009.
6. *Коротков П.Ф.* Молекулярная физика и термодинамика. – М.: МФТИ, 2009.
7. *Корявов В.П.* Методы решения задач в общем курсе физики. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Высшая школа, 2009.
8. *Прут Э.В., Кленов С.Л., Овсянникова О.Б.* Введение в теорию вероятностей в молекулярной физике. – М.: МФТИ, 2002.
9. *Прут Э.В., Кленов С.Л., Овсянникова О.Б.* Элементы теории флуктуаций и броуновского движения в молекулярной физике. – М.: МФТИ, 2002.
10. *Прут Э.В.* Теплофизические свойства твёрдых тел. – М.: МФТИ, 2009.
11. *Булыгин В.С.* Теоремы Карно. – М.: МФТИ, 2012.
12. *Булыгин В.С.* Теплоёмкость и внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. – М.: МФТИ, 2012.
13. *Булыгин В.С.* Некоторые задачи теории теплопроводности. – М.: МФТИ, 2006.
14. *Попов П.В.* Диффузия. – М.: МФТИ, 2016.

Электронные ресурсы

http://physics.mipt.ru/S_II/method/

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ

для студентов 1-го курса на весенний семестр 2017/2018 учебного года

Дата	№ нед.	Тема семинарских занятий	Задачи		
			0	I	II
5–9 февр.	1	Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Адиабатический и политропический процессы.	1	1.38	1.53
			2	1.54	1.75
			3	1.83	1.100
12–16 февр.	2	Тепловые машины. Второе начало термодинамики. Энтропия.	4	3.25	3.52
			5	3.43	3.47
			6	4.58	T1
19–23 февр.	3	Изменение энтропии в необратимых процессах.	7	4.75	4.47
			8	4.43	4.44
		Поверхностные явления.	9	12.17	4.53
			10	12.30	12.38
26 фев. – 2 мар.	4	Термодинамические потенциалы, преобразования термодинамических функций.	11	1.4	5.32
			12	5.28	5.53
				5.39	5.63
				12.8	5.40
5–9 мар.	5	Фазовые превращения. Уравнение Клапейрона–Клаузиуса.		11.2	11.36
				11.29	11.34
				11.74	11.57
				12.51	12.52
12–16 мар.	6	Элементы гидродинамики. Уравнение Бернулли. Вязкое течение.	16	2.15	2.10
			17	14.42 ^M	2.20
			18	14.27 ^M	14.46 ^M
			14.24 ^M	14.34 ^M	
19–23 мар.	7	Реальные газы. Эффект Джоуля–Томсона.	19	6.9	6.52
			20	6.37	6.39
				6.84	6.88
			6.69		
26–30 мар.	8	Контрольная работа по 1-му заданию (по группам).			
2–6 апр.	9	Сдача 1-го задания.			

9–13 апр.	10	Основы молекулярно-кинетической теории. Распределение Максвелла.	21 22	7.18 7.19 7.14 7.80	7.20 7.39 7.53
16–20 апр.	11	Распределение Больцмана. Теория теплоёмкостей.	23 24 25	8.11 8.15 8.25 8.59	8.7 8.73 8.61 8.52
23–27 апр.	12	Статистический смысл энтропии. Флуктуации.	26 27	8.51 9.45 9.8 9.40	T2 8.75 9.6 9.23
30 апр. – 4 мая	13	Столкновения, длина свободного пробега. Молекулярные явления переноса.	28 29 30	10.16 10.36 10.106 10.149	10.32 10.25 10.134
7–11 мая	14	Броуновское движение. Явления в разрежённых газах.	31 32 33	T3 10.92 10.83 10.120	10.30 10.159 10.117 10.78
14–18 мая	15	Сдача 2-го задания.			

Примечание

Номера задач указаны по “Сборнику задач по общему курсу физики. Ч. 1. Механика, термодинамика и молекулярная физика” / под ред. В.А. Овчинкина (**3-е изд.**, испр. и доп.). — М.: Физматкнига, 2013. Задачи с индексом «^М» — из раздела «Механика».

Все задачи обязательны для сдачи задания. В каждой теме семинара задачи разбиты на 3 группы:

- 0** — задачи, которые студент должен решать в течение недели для подготовки к семинару;
- I** — задачи, рекомендованные для разбора на семинаре (преподаватель может разбирать на семинарах и другие равноценные задачи по своему выбору);
- II** — задачи для самостоятельного решения; их решения должны быть оформлены студентами в отдельных тетрадях и сданы преподавателю на проверку.

Задачи 0 группы

1. В комнате объёмом V в течение некоторого времени был включен нагреватель. В результате температура воздуха увеличилась от T_1 до T_2 . Давление в комнате не изменилось. Найти изменение внутренней ΔU энергии воздуха, содержащегося в комнате.

2. Найти работу, которую совершает моль воздуха, расширяясь от объёма V_0 до $V_1 = 2V_0$ в изотермическом процессе при комнатной температуре.

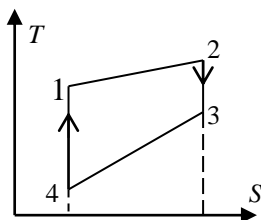
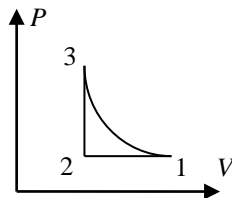
Ответ: 1,7 кДж.

3. Температура воздуха равна $T = 273$ К. Найти изменение скорости звука при изменении температуры на $\Delta T = 1$ К.

Ответ: $\Delta c_s \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta T}{T} c_s = 0,61$ м/с.

4. Вычислить КПД цикла, состоящего из изобарного сжатия, изохорного нагревания и адиабатического расширения, если отношение максимального и минимального объёмов равно 2. Рабочее тело – двухатомный идеальный газ.

Ответ: 0,15.



5. Тепловая машина с неизвестным веществом в качестве рабочего тела совершает обратимый термодинамический цикл, представленный на рисунке в координатах TS . $T_2 = \frac{3}{2}T_1$, $T_3 = \frac{3}{4}T_1$, $T_4 = \frac{1}{20}T_1$. Найти КПД цикла.

Ответ: 0,68.

6. Идеальная тепловая машина, работающая по обратному циклу (тепловой насос), отбирает от первого резервуара 65 Дж теплоты и передает количество теплоты 80 Дж второму резервуару при $T = 320$ К. Определить температуру первого резервуара.

Ответ: 260 К.

7. Два теплоизолированных сосуда равного объёма соединены трубкой с краном. В одном сосуде содержится 10 г водорода, второй откачан до высокого вакуума. Кран открывают и газ расширяется на весь объём. Считая газ идеальным, найти изменение его энтропии к моменту установления равновесия.

Ответ: 28,8 Дж/К.

8. В закрытый сосуд с водой объёмом 1 л, имеющей температуру 300 К, бросили кусок нагретого до 500 К железа массой 100 г. Определить изменение энтропии системы к моменту установления равновесия. Теплоёмкость воды и железа равны соответственно 4,18 и 0,45 Дж/(г·К). Считать, что количество пара в сосуде практически не изменилось, теплоёмкостью сосуда пренебречь.

Ответ: 5,1 Дж/К.

9. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы разделить сферическую каплю масла массой $m = 1$ г на капельки диаметром $d = 2 \cdot 10^{-4}$ см, если процесс дробления изотермический. Поверхностное натяжение масла $\sigma = 26$ дин/см, плотность масла $\rho = 0,9$ г/см³.

Ответ: $8,7 \cdot 10^5$ эрг.

10. На какую высоту поднимается вода между двумя плоскими параллельными пластинами, расстояние между которыми $h = 0,1$ мм, если краевой угол смачивания $\theta = 60^\circ$. Поверхностное натяжение воды $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Ответ: 7,5 см.

11. Найти изменение свободной энергии ΔF и термодинамического потенциала Гиббса ΔG для 1 кг водяного пара при изотермическом ($T = 298$ К) увеличении давления от 1,0 до 2,0 мбар. Водяной пар считать идеальным газом.

Ответ: $\Delta G = \Delta F = 95,4$ кДж.

12. Уравнение состояния резиновой полосы имеет вид $f = aT \left[\frac{l}{l_0} - \left(\frac{l_0}{l} \right)^2 \right]$, где f натяжение, $a = 1,3 \cdot 10^{-2}$ Н/К, l — длина полосы, длина недеформированной полосы $l_0 = 1$ м. Найти изменение свободной энергии резины при её изотермическом растяжении до $l_1 = 2$ м. Температура $T = 300$ К.

Ответ: 3,9 Дж.

13. Молярная теплота парообразования воды в точке кипения при $t = 100^\circ\text{C}$ равна $\Lambda = 40,7$ кДж/моль. Считая водяной пар идеальным газом, найти разность молярных внутренних энергий жидкой воды и водяного пара при данной температуре.

Ответ: $u_{\text{п}} - u_{\text{ж}} = 37,6$ кДж/моль.

14. Определить температуру кипения воды на вершине Эвереста, где атмосферное давление составляет 250 мм рт. ст. Теплоту парообразования воды считать не зависящей от температуры и равной $\Lambda = 2,28$ кДж/г.

Ответ: 71 °С.

15. Оценить относительный перепад давления $\Delta P/P$ паров воды на высоте подъёма воды в полностью смачиваемом капилляре диаметром $d = 1$ мкм. Поверхностное натяжение $\sigma = 73 \cdot 10^{-3}$ Н/м, температура $t = 20$ °С.

Ответ: $\Delta P/P \approx 2 \cdot 10^{-3}$.

16. На горизонтальной поверхности стола стоит цилиндрический сосуд, заполненный водой до высоты $H = 1$ м. На какой высоте нужно проделать отверстие в боковой стенке, чтобы струя из него была на максимальное расстояние?

Ответ: 0,5 м.

17. Зазор толщиной $h = 0,1$ мм между двумя плоскими поверхностями заполнен маслом с вязкостью $\eta \approx 10^{-1}$ Па · с. Найти касательное напряжение, которое необходимо прикладывать к плоскостям для того, чтобы обеспечить их относительное движение со скоростью $v = 10$ см/с.

Ответ: 10^2 Н/м².

18. Оценить число Рейнольдса в водопроводной трубе диаметра $d = 2$ см при расходе $Q = 30$ л/мин. Вязкость холодной воды $\eta = 1,5 \cdot 10^{-3}$ Па · с.

Ответ: 10^4 .

19. Во сколько раз давление газа Ван-дер-Ваальса больше его критического давления, если известно, что его объём в 5 раз, а температура в 5,7 раза больше критических значений этих величин?

Ответ: $\pi = 3,14$.

20. Найти изменение энтропии идеального газа, подвергнутого дросселированию через пористую перегородку, если начальное давление равно $P_1 = 4$ атм, конечное $P_2 = 1$ атм.

Ответ: 11,5 Дж/К.

21. Скорости частиц с равной вероятностью принимают все значения от 0 до v_0 . Определить среднюю и среднеквадратичную скорости частиц, а также абсолютную и относительную среднеквадратичные флуктуации скорости.

Ответ: $0,5v_0; v_0/\sqrt{3}; v_0/2\sqrt{3}; 1/\sqrt{3}$.

22. Найти наиболее вероятную, среднюю и среднеквадратичную скорости молекул азота при $T = 300$ К. Сравнить полученные значения со скоростью звука.

Ответ: $v_{н.в.} = 421$ м/с, $v_{ср} = 476$ м/с, $v_{кв} = 517$ м/с; $c_{зв} = 353$ м/с.

23. Определить, на какой высоте в изотермической атмосфере её плотность уменьшится в 5 раз, если на высоте 5,5 км она уменьшается в 2 раза.

Ответ: 12,8 км.

24. Молекула может находиться на двух энергетических уровнях, разность энергий между которыми составляет $\Delta E = 6,0 \cdot 10^{-21}$ Дж. Какова вероятность того, что при 250 °С молекула будет находиться на верхнем энергетическом уровне?

Ответ: 0,3.

25. Определить температуру, при которой средняя поступательная энергия молекулы H_2 будет равна энергии возбуждения её первого вращательного уровня. Расстояние между атомами равно $d = 0,74 \cdot 10^{-8}$ см.

Ответ: 116 К.

26. Два твёрдых тела с температурами 299 К и 300 К приведены в соприкосновение. Оценить, во сколько раз более вероятна передача порции энергии 10^{-11} эрг от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой, чем в обратном направлении. Теплоёмкости тел достаточно велики, так что изменением их температуры можно пренебречь.

Ответ: 5.

27. Небольшой груз массы 10 г подвешен на лёгкой нити длиной 1 м. Оценить среднеквадратичное отклонение груза от положения равновесия из-за тепловых флуктуаций при комнатной температуре.

Ответ: $\sqrt{\langle \Delta r^2 \rangle} \approx 0,2$ нм.

28. Вязкость азота при комнатной температуре и атмосферном давлении составляет $\eta = 18 \cdot 10^{-6}$ Па·с. Оценить коэффициент теплопроводности азота, а также диаметр молекулы азота.

Ответ: $d \sim 4 \cdot 10^{-10}$ м, $\kappa \sim 10^{-2}$ Вт/м·К.

29. Оцените количество тепла в расчёте на 1 м², теряемое комнатой в единицу времени через однокамерный стеклопакет. Расстояние между стеклами $h = 23$ мм. Разность температур между комнатой и улицей составляет $\Delta T = 50$ °С. Теплопроводность воздуха считать не зависящей от температуры и равной $\kappa = 2,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

Ответ: $q = 50 \text{ Вт/м}^2$.

30. В узкой трубке длиной $l = 5 \text{ см}$, заполненной азотом при нормальных условиях, идёт стационарный процесс диффузии малой примеси гелия. Перепад концентрации гелия на концах трубки поддерживается равным $\Delta n = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, при этом плотность потока частиц в трубке составляет $j = 4 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$. Оценить длину свободного пробега атомов гелия в азоте и их сечение столкновения с молекулами азота. Средняя тепловая скорость атомов гелия $\bar{v} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ см/с}$.

Ответ: $\lambda \sim 10^{-5} \text{ см}$, $\sigma \sim 4 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

31. Оценить, за какое время молекула HCN смещается в воздухе при комнатной температуре от исходного положения на расстояние порядка 10 см. Длину свободного пробега принять равной $\lambda \sim 10^{-5} \text{ см}$.

Ответ: 10^2 с .

32. Два сосуда с идеальным газом соединены трубкой, диаметр которой заметно меньше длины свободного пробега в обоих сосудах. Температура в сосудах поддерживается постоянной и равной соответственно T_1 и $T_2 = 2T_1$. Найти отношение давлений P_2/P_1 .

Ответ: $\sqrt{2}$.

33. Оценить коэффициент диффузии сильно разреженного воздуха по длинной трубке диаметром 1 см при комнатной температуре. Считать, что разрежение таково, что длина пробега молекул ограничивается диаметром трубки (высокий вакуум).

Ответ: $\sim 1,6 \text{ м}^2/\text{с}$.

Текстовые задачи

Т-1. (4.36, испр.) В двух одинаковых изолированных сосудах находится по 0,5 моль воздуха при $T_0 = 300 \text{ К}$. Сосуды используются в качестве тепловых резервуаров для тепловой машины, работающей по обратному циклу. Найти минимальную работу, которую должна совершить машина, чтобы охладить газ в одном из сосудов до $T_1 = T_0/2$.

Ответ: $A \approx 1,6 \text{ кДж}$.

Т-2. Найти молярную энтропию кристаллического ${}^6\text{Li}$ при низких температурах, пренебрегая взаимодействием ядер между собой. Момент импульса (спин) ядра ${}^6\text{Li}$ равен $s = 1$ (в единицах постоянной Планка \hbar). *Указание:* согласно квантовой механике, число возможных ориентаций вектора момента импульса равно $2s + 1$.

Ответ: $S = 9,1 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

Т-3. Пьяный матрос совершает случайные блуждания вдоль набережной, смещаясь каждые $\tau = 4 \text{ с}$ на расстояние $\lambda = 0,5 \text{ м}$ вперёд или назад с равной вероятностью. Найти среднеквадратичное смещение матроса от исходного положения $\sqrt{\overline{x^2}}$ за $t = 1 \text{ час}$. Определить коэффициент одномерной диффузии D толпы пьяных матросов, не взаимодействующих между собой.

Ответ: $\sqrt{\overline{x^2}} = 15 \text{ м}$, $D \approx 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$.