

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Строительно-политехнический колледж

## **ФИЗИКА ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ**

к выполнению практических работ  
для студентов всех специальностей среднего профессионального  
образования, всех форм обучения

УДК 53 (07)

ББК Ф 503

**Составитель** А. С. Головченко

**Физика:** методические указания к выполнению практических работ для студентов всех специальностей среднего профессионального образования, всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: А. В. Иванова. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 19 с.

Методические указания содержат теоретический материал, необходимый для выполнения практических работ по дисциплине «Физика». Разработано на основе требований ФГОС СПО с опорой на научные принципы формирования содержания образования.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ\_ПР\_Физика.

**УДК 53 (07)**

**ББК Ф 503**

**Рецензент** – А. В. Абрамов, канд. техн. наук, доц. кафедры физики Воронежского государственного технического университета

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## Содержание

<b>Предисловие</b>	4
<b>Основы молекулярной физики и термодинамики.</b>	5
<b>1. Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ</b>	5
<i>Учебные задания для решения на практических занятиях.</i>	7
<b>2. Основы термодинамики</b>	14
<i>Учебные задания для решения на практических занятиях.</i>	16
<b>3. Свойства паров и жидкостей</b>	23
<i>Учебные задания для решения на практических занятиях.</i>	23
<b>4. Свойства твердых тел</b>	27
<i>Учебные задания для решения на практических занятиях.</i>	28
<b>Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины</b>	29

## Предисловие

Учебная дисциплина «Физика» является учебным предметом обязательной предметной области «Естественные науки» ФГОС среднего общего образования. Физика — фундаментальная наука о природе. Естественно-научный метод познания, его возможности и границы применимости. Учебная дисциплина «Физика» изучается на углубленном уровне ФГОС среднего общего образования.

В методических рекомендациях представлены практические задания по разделу физики «Основы молекулярной физики и термодинамики» - раздел физики, в котором свойства вещества изучаются на основе его молекулярного (микроскопического) строения.

Молекулярно-кинетическая теория (сокращённо МКТ) — теория, возникшая в XIX веке и рассматривающая строение вещества, объясняющая свойства тел движением и взаимодействием частиц, из которых состоят тела, в основном газов, с точки зрения трёх основных приближенно верных положений:

- ✓ все тела состоят из частиц: атомов, молекул и ионов;
- ✓ частицы находятся в непрерывном хаотическом движении (тепловом);
- ✓ частицы взаимодействуют друг с другом путём абсолютно упругих столкновений.

Пособие содержит подробные справочные материалы, которые помогут при выполнении учебных действий обучающихся.

## Основы молекулярной физики и термодинамики

### 1. Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ.

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Размеры и масса молекул и атомов. Броуновское движение. Диффузия. Силы и энергия межмолекулярного взаимодействия. Строение газообразных, жидких и твердых тел. Скорости движения молекул и их измерение.

Идеальный газ. Давление газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Температура и ее измерение. Газовые законы. Абсолютный нуль температуры. Термодинамическая шкала температуры. Уравнение состояния идеального газа. Молярная газовая постоянная.

#### **Алгоритм решения задач на «Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ»**

*По условию задачи даны два или несколько состояний газа и при переходе газа из одного состояния в другое его масса не меняется.*

1. Представить какой газ участвует в том или ином процессе.
2. Определить параметры  $p$ ,  $V$  и  $T$ , характеризующие каждое состояние газа.
3. Записать уравнение объединенного газового закона Клапейрона для данных состояний. Если один из трех параметров остается неизменным, уравнение Клапейрона автоматически переходит в одно из трех уравнений: закон Бойля – Мариотта, Гей-Люссака или Шарля.
4. Записать математически все вспомогательные условия.
5. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
6. Решение проверить и оценить критически.

*По условию задачи дано только одно состояние газа, и требуется определить какой-либо параметр этого состояния или же даны два состояния с разной массой газа.*

1. Установить, какие газы участвуют в рассматриваемых процессах.
2. Определить параметры  $p$ ,  $V$  и  $T$ , характеризующие каждое состояние газа.

3. Для каждого состояния каждого газа (если их несколько) составить уравнение Менделеева – Клапейрона. Если дана смесь газов, то это уравнение записывается для каждого компонента. Связь между значениями давлений отдельных газов и результирующим давлением смеси устанавливается законом Дальтона.

4. Записать математически дополнительные условия задачи

5. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.

6. Решение проверить и оценить критически.

### ***Молярная масса***

$$\mu = m_0 N_A$$

$$\mu = M_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

### ***Количество вещества***

$$\nu = \frac{m}{\mu}$$

$$\nu = \frac{N}{N_A}, \text{ где } N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \text{ – постоянная Авогадро}$$

### ***Число молекул***

$$N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$$

### ***Концентрация молекул***

$$n = \frac{N}{V}$$

### ***Основное уравнение МКТ***

$$P = \frac{1}{3} \cdot m_0 \cdot n \cdot \bar{v}^2, \quad P = \frac{2}{3} \cdot n \cdot \bar{E}_k \quad P = n \cdot k \cdot T$$

### ***Средняя квадратичная скорость***

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_0}},$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{\mu}}$$

### ***Средняя кинетическая энергия молекул***

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T, \text{ где } T = (t^0 + 273) \text{ K}$$

**Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона)**

$$P \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T$$

**Уравнение Клапейрона,**

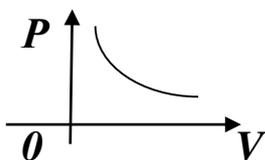
$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

**Газовые законы**

**Закон**

**Бойля – Мариотта**

$$\begin{aligned} T &= const \\ P_1 \cdot V_1 &= P_2 \cdot V_2 \end{aligned}$$

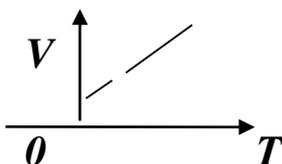


**изоТермический**

**Закон**

**Гей-Люссака**

$$\begin{aligned} P &= const \\ \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \end{aligned}$$

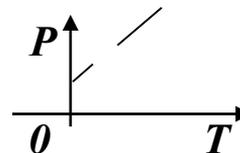


**изоБарный**

**Закон**

**Шарля**

$$\begin{aligned} V &= const \\ \frac{P_1}{T_1} &= \frac{P_2}{T_2} \end{aligned}$$



**изоХорный**

**Учебные задания для решения на практических занятиях:**

1.1. Найдите массу молекулы водорода. Молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.2. Сколько молей содержится в 2 кг водорода? Молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.3. Какова масса 200 моль кислорода? Молярная масса кислорода  $32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.4. Сколько молекул находится в 90 г воды? Молярная масса воды  $18 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.5. В сосуде объемом 4 л находится 1 г водорода. Определите концентрацию молекул, если молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.6. Считая, что диаметр молекул водорода составляет  $2,3 \cdot 10^{-10}$  м, определите, какой длины получилась бы нить, если бы все молекулы, содержащиеся в 1 мг этого газа, были бы расположены в один ряд вплотную друг к другу. Молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.7. Определите концентрацию атомов в железе. Молярная масса железа  $56 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, плотность железа  $7800$  кг/м<sup>3</sup>.

1.8. Вычислите плотность водорода, если известно, что число его молекул в сосуде вдвое больше числа Авогадро, а объем сосуда 40 л. Молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-8}$  кг/моль.

1.9. Какой объем занимают 12 моль алюминия? Молярная масса алюминия  $27 \cdot 10^3$  кг/моль, плотность алюминия  $2700$  кг/м<sup>3</sup>.

1.10. Плотность неизвестного газа  $0,09$  кг/м<sup>3</sup>. При этом в объеме  $0,1$  м<sup>3</sup> содержится  $2,7 \cdot 10^{24}$  молекул. По молярной массе определите, что это за газ.

1.11. В двух сосудах находятся ртуть и вода одинакового объема. Сравните число атомов в этих жидкостях. Плотность воды  $1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность ртути  $13\ 600$  кг/м<sup>3</sup>, молярная масса воды  $18 \cdot 10^{-3}$  кг/моль, молярная масса ртути  $201 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.12. При никелировании изделия его покрывают слоем никеля толщиной  $1,5$  мкм. Сколько атомов никеля содержится в покрытии, если площадь поверхности изделия  $800$  см<sup>2</sup>? Плотность никеля  $8900$  кг/м<sup>3</sup>, молярная масса никеля  $59 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.13. Сколько частиц находится в  $1$  г наполовину диссоциированного кислорода? Молярная масса кислорода  $32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.14. Сколько атомов углерода содержится в графитовом стержне длиной  $10$  см и площадью сечения  $4$  мм<sup>2</sup>? Плотность графита  $1,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Молярная масса углерода  $12 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.15. Во сколько раз число атомов, из которых состоит серебряная ложка, меньше, чем число атомов в алюминиевой ложке той же массы? Молярная масса серебра  $108 \cdot 10^3$  кг/моль, молярная масса алюминия  $27 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.16. В кастрюлю вместимостью  $5$  л, заполненную водой, бросили  $100$  г поваренной соли, которая равномерно растворилась в воде. Раствор заполнил кастрюлю полностью. Молярная масса поваренной соли  $58 \cdot 10^{-3}$  кг/моль. Найдите число молекул соли в полном стакане вместимостью  $200$  мл, которым зачерпнули соленую воду из кастрюли.

1.17. Во сколько раз объем тела, изготовленного из свинца, больше объема алюминиевого тела, если количество вещества в них одинаковое? Молярная масса свинца  $207 \cdot 10^{-8}$  кг/моль, молярная масса алюминия  $27 \cdot 10^{-8}$  кг/моль; плотность свинца  $11\ 300$  кг/м<sup>3</sup>, плотность алюминия  $2700$  кг/м<sup>3</sup>.

1.18. Во сколько раз возрастет давление идеального газа, если средняя квадратичная скорость его молекул увеличится в  $2$  раза?

1.19. Плотность некоторого идеального газа  $0,06 \text{ кг/м}^3$ . Средняя квадратичная скорость его молекул  $500 \text{ м/с}$ . Определите давление, которое газ оказывает на стенки сосуда.

1.20. В сосуде объемом  $8 \text{ л}$  содержится  $150 \text{ г}$  газа под давлением  $400 \text{ кПа}$ . Определите среднюю квадратичную скорость молекул газа.

1.21. Сколько молекул газа находится в сосуде объемом  $480 \text{ см}^3$  при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $250 \text{ кПа}$ ?

1.22. Вычислите среднюю квадратичную скорость молекул гелия при температуре  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Молярная масса гелия  $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

1.23. Средняя квадратичная скорость молекул газа  $400 \text{ м/с}$ . Определите объем, который займет  $1 \text{ кг}$  газа при давлении  $100 \text{ кПа}$ .

1.24. Во сколько раз изменится давление идеального газа при уменьшении его объема в  $3$  раза и увеличении средней кинетической энергии в расчете на молекулу в  $2$  раза?

1.25. Найдите концентрацию молекул кислорода, если его давление  $0,2 \text{ МПа}$ , а средняя квадратичная скорость молекул равна  $700 \text{ м/с}$ . Молярная масса кислорода  $32 \text{ г/моль}$ .

1.26. Какое давление на стенки сосуда производит водород, если число молекул в  $1 \text{ см}^3$  равно  $4,1 \cdot 10^{18}$ , а средняя квадратичная скорость его молекул  $2400 \text{ м/с}$ ? Молярная масса водорода  $2 \text{ г/моль}$ .

1.27. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул водорода больше средней квадратичной скорости молекул кислорода при одном и том же давлении и концентрации молекул? Молярная масса водорода  $2 \text{ г/моль}$ , молярная масса кислорода  $32 \text{ г/моль}$ .

1.28. Плотность газа в баллоне газонаполненной электрической лампы  $0,9 \text{ кг/м}^3$ . При горении лампы давление в ней возрастает от  $8 \cdot 10^4 \text{ Па}$  до  $1,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . На сколько увеличилась при этом средняя квадратичная скорость молекул?

1.29. Средняя квадратичная скорость молекул газа равна  $1000 \text{ м/с}$ . Чему будет равна средняя квадратичная скорость после увеличения давления и объема газа в  $1,2$  раза?

1.30. При повышении температуры газа на  $100 \text{ К}$  средняя квадратичная скорость его молекул возросла от  $300 \text{ м/с}$  до  $500 \text{ м/с}$ . На сколько еще надо поднять температуру, чтобы средняя квадратичная скорость возросла до  $700 \text{ м/с}$ ?

1.31. В баллоне емкостью 50 л находится одноатомный газ в количестве 0,12 кмоль при давлении 6 МПа. Определите среднюю кинетическую энергию движения молекул газа.

1.32. Средняя кинетическая энергия молекулы одноатомного идеального газа  $5,3 \cdot 10^{17}$  Дж. Давление газа 0,2 мПа. Найдите число молекул в 4 см<sup>3</sup> газа.

1.33. Какова полная кинетическая энергия поступательного движения 2 моль идеального газа при температуре 27 °С?

1.34. Под каким давлением находится в баллоне кислород, если емкость баллона 5 л, а кинетическая энергия теплового поступательного движения всех молекул кислорода 6 кДж?

1.35. В сосуде под поршнем находится идеальный газ. В результате нагревания объем газа увеличился в 4 раза. Во сколько раз увеличилась средняя квадратичная скорость молекул газа?

1.36. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа при температуре 273 К составляет 480 м/с. Сколько молекул содержит 1 г этого газа?

1.37. Какой объем займет газ при 77 °С, если при 27 °С его объем 6 м<sup>3</sup>? Давление считать постоянным.

1.38. В баллоне объемом 10 м<sup>3</sup> находится водород под давлением 2 МПа. Баллон какого объема понадобился бы для хранения такого же количества водорода при атмосферном давлении, равном 0,1 Мпа, и при той же температуре?

1.39. Воздух находится под давлением 50,65 кПа. Во сколько раз уменьшится его объем, если давление станет равным 202,6 кПа? Температура постоянна.

1.40. Газ при температуре 300 К занимает некоторый объем. До какой температуры его следует изобарно охладить, чтобы объем уменьшился в 1,2 раза?

1.41. Во сколько раз увеличилась температура газа, если его давление возросло от 50 кПа до 80 кПа при постоянном объеме?

1.42. Два баллона соединили трубкой с краном. В баллоне емкостью 5 л находится воздух под давлением  $3 \cdot 10^5$  Па, другой баллон емкостью 1 л пустой. Какое давление установится в баллонах, если открыть кран? Температура постоянна.

1.43. Кислород занимал некоторый объем при температуре 10°С. После расширения вследствие нагревания при постоянном дав-

лении кислород занял объем 10 л. Найдите объем газа до расширения, если газ был нагрет на  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

1.44. В объеме 4 л находится газ, масса которого 12 г, а температура  $177\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При какой температуре плотность этого газа будет  $6\text{ кг/м}^3$ , если давление останется неизменным?

1.45. Некоторую массу идеального газа сжимают изотермически от объема 3 л до объема 1 л. Давление при сжатии возрастает на  $2\cdot 10^5\text{ Па}$ . Каким было первоначальное давление?

1.46. При нагревании газа на  $150\text{ К}$  при постоянном давлении его объем увеличился в 2 раза. Найдите начальную и конечную температуры газа.

1.47. Какой была первоначальная температура воздуха, если при нагревании на  $3\text{ К}$  его объем увеличился на 1% от первоначального при постоянном давлении?

1.48. Идеальный газ находится в вертикальном цилиндре и закрыт невесомым поршнем, который может скользить без трения. При температуре  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  поршень находится на расстоянии 30 см от дна цилиндра. На каком расстоянии от дна цилиндра будет находиться поршень, если газ нагреть до температуры  $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

1.49. В изохорном процессе давление идеального газа увеличивается на 50 кПа. На сколько увеличится при этом температура газа, если первоначальное давление было  $2\cdot 10^5\text{ Па}$ , а первоначальная температура  $300\text{ К}$ ?

1.50. В сосуде емкостью 4 л находится газ под давлением  $6\cdot 10^5\text{ Па}$ . Газ изотермически расширяется до объема, равного 12 л. Затем при изохорном нагревании его температура увеличивается в 3 раза. Найдите давление газа в конце процесса.

1.51. Один сосуд сферической формы радиусом 1 м заполнен газом под давлением 100 кПа, а в другом сосуде радиусом 0,5 м - вакуум. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь. Какое давление установится в сосудах после соединения? Процесс изотермический.

1.52. Закрытый цилиндрический сосуд длиной 1,2 м разделен на две равные половины невесомой перегородкой, скользящей без трения. Обе половины заполнены газом, причем в одной из них давление в 2 раза больше, чем в другой. Перегородка удерживается неподвижно. На какое расстояние переместится перегородка, если ее отпустить?

1.53. В горизонтальной трубке находится  $240 \text{ см}^3$  воздуха, отделенного от атмосферы столбиком ртути длиной  $150 \text{ мм}$ . Если пробирку повернуть открытым концом вверх, то объем воздуха станет  $200 \text{ см}^3$ . Найдите атмосферное давление. Плотность ртути  $13\,600 \text{ кг/м}^3$ .

1.54. Когда пузырек воздуха всплывает со дна пруда на поверхность, его объем увеличивается в  $1,5$  раза. Вычислите глубину пруда, считая температуру постоянной, а атмосферное давление равным  $100 \text{ кПа}$ . Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

1.55. На рисунке 1 показан цикл для идеального газа в координатах  $p, V$ . Какова температура газа в точке 1, если в точках 2, 3 и 4 она соответственно равна  $300 \text{ К}$ ,  $600 \text{ К}$  и  $400 \text{ К}$ ?

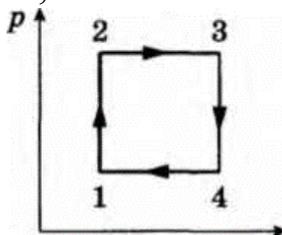


Рисунок 1

1.56. Чему равно давление  $10$  моль газа в объеме  $1,5 \text{ м}^3$  при температуре  $260 \text{ К}$ ?

1.57. Найдите объем  $2$  моль газа при давлении  $2,4 \text{ кПа}$  и температуре  $300 \text{ К}$ .

1.58. Какое количество вещества содержится в объеме  $8,3 \text{ м}^3$  при давлении  $500 \text{ Па}$  и температуре  $250 \text{ К}$ ?

1.59. Баллон вместимостью  $50 \text{ л}$  заполнен воздухом при давлении  $106 \text{ Па}$  и температуре  $300 \text{ К}$ . Определите массу воздуха в баллоне. Молярную массу считать равной  $29 \text{ г/моль}$ .

1.60. Определите молярную массу газа, если  $5 \text{ г}$  этого газа при давлении  $5 \text{ кПа}$  и температуре  $320 \text{ К}$  занимает объем  $83 \text{ л}$ .

1.61. При какой температуре газ с молярной массой  $4 \text{ г/моль}$  и плотностью  $0,08 \text{ кг/м}^3$  производит давление  $40 \text{ кПа}$ ?

1.62. Определите плотность кислорода при давлении  $166 \text{ кПа}$  и температуре  $320 \text{ К}$ . Молярная масса кислорода  $32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

1.63. В баллоне содержится  $2 \text{ кг}$  газа при температуре  $270 \text{ К}$ . Какую массу газа надо удалить из баллона, чтобы при нагревании его до  $300 \text{ К}$  давление осталось прежним?

1.64. При уменьшении объема в  $2$  раза давление увеличилось на  $120 \text{ кПа}$ , а абсолютная температура на  $10\%$ . Каким было первоначальное давление?

1.65. Некоторый газ массой 7 г, находящийся в баллоне при температуре 27 °С, создает давление 50 кПа. Водород массой 4 г в этом же баллоне при температуре 57 °С создает давление 440 кПа. Определите молярную массу первого газа, если молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

1.66. При увеличении абсолютной температуры некоторого количества идеального газа в 2 раза давление газа увеличилось на 25%. Во сколько раз увеличился объем газа?

1.67. До какой температуры следует нагреть газ, чтобы его плотность уменьшилась в 2 раза по сравнению с его плотностью при температуре 273 К? Нагревание происходит при постоянном давлении.

1.68. При нагревании некоторой массы идеального газа его плотность уменьшилась вдвое. На сколько процентов увеличилась температура по шкале Кельвина, если давление в процессе нагревания не менялось?

1.69. Газ массой 12 г имеет объем 4 л при температуре 450 К. При какой температуре плотность газа будет равна 6 кг/м<sup>3</sup>, если давление поддерживать постоянным?

1.70. В баллоне находится газ при температуре 15 °С. Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40% его выйдет из баллона, а температура при этом понизится на 8 °С?

1.71. Из баллона со сжатым газом емкостью 0,01 м<sup>3</sup> вследствие неисправности вентиля вытекает газ. При температуре 7 °С давление газа было  $5 \cdot 10^5$  Па. Через некоторое время при температуре 17 °С давление осталось прежним. Сколько молей газа вытекло за это время?

1.72. При газовой сварке давление в баллоне со сжатым кислородом упало до  $5 \cdot 10^5$  Па. Какая часть кислорода израсходована, если первоначальное давление кислорода в баллоне  $10^5$  Па?

1.73. В баллон емкостью 10 л при температуре 290 К закачаны 5 моль водорода и 6 моль гелия. Определите давление смеси газов.

1.74. Баллон емкостью 2 л заполнен гелием при давлении  $12 \cdot 10^5$  Па, другой баллон емкостью 5 л заполнили аргоном при давлении  $2,2 \cdot 10^5$  Па. Какое давление установится в баллонах, если их соединить трубкой? Температура у газов равная и остается постоянной при смешивании.

1.75. Сосуд объемом 0,1 м<sup>3</sup> содержит 2 моль газа. Сосуд неизвестного объема, содержащий 6 моль газа при той же температуре, соединяют с первым сосудом. Вычислите неизвестный объем, если давление смеси газов оказалось 33,2 кПа при 300 К.

## 2. Основы термодинамики

Основные понятия и определения. Внутренняя энергия системы. Внутренняя энергия идеального газа. Работа и теплота как формы передачи энергии. Теплоемкость. Удельная теплоемкость. Уравнение теплового баланса. Первое начало термодинамики. Адиабатный процесс. Принцип действия тепловой машины. КПД теплового двигателя. Второе начало термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Холодильные машины. Тепловые двигатели. Охрана природы.

### *Алгоритм решения задач на «Основы термодинамики»*

Задачи об изменении внутренней энергии тел можно разделить на группы:

В задачах первой группы рассматривают такие явления, где в изолированной системе при взаимодействии тел изменяется лишь их внутренняя энергия без совершения работы над внешней средой.

1. Установить у каких тел внутренняя энергия уменьшается, а у каких – возрастает.

2. Составить уравнение теплового баланса ( $\Delta U = 0$ ), при записи которого в выражении  $Q = cm(t_2 - t_1)$ , для изменения внутренней энергии, нужно вычитать из конечной температуры тела начальную и суммировать члены с учетом получающегося знака.

3. Полученное уравнение решить относительно искомой величины.

4. Решение проверить и оценить критически.

В задачах второй группы рассматриваются явления, связанные с превращением одного вида энергии в другой при взаимодействии двух тел.

Результат такого взаимодействия: изменение внутренней энергии одного тела в следствие совершенной им или над ним работы.

1. Убедиться, что в процессе взаимодействия тел теплота извне к ним не подводится, т. е. действительно ли  $Q = 0$ .

2. Установить у какого из двух взаимодействующих тел изменяется внутренняя энергия и что является причиной этого изменения – работа, совершенная самим телом, или работа, совершенная над телом.

3. Записать уравнение  $Q = \Delta U + A$  для тела, у которого изменяется внутренняя энергия, учитывая знак перед  $A$  и КПД рассматриваемого процесса.

4. Если работа совершается за счет уменьшения внутренней энергии одного из тел, то  $A = -\Delta U$ , а если внутренняя энергия тела увеличивается за счет работы, совершенной над телом, то  $A = \Delta U$ .

5. Найти выражения для  $\Delta U$  и  $A$ .

6. Подставляя в исходное уравнение вместо  $\Delta U$  и  $A$  их выражения, получим окончательное соотношение для определения искомой величины.

7. Полученное уравнение решить относительно искомой величины.

8. Решение проверить и оценить критически.

### ***Внутренняя энергия***

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T,$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot P \cdot V$$

### ***Работа газа***

$$A' = -A$$

### ***Работа внешних сил***

$$A' = P \cdot \Delta V, \text{ где } \Delta V = (V_2 - V_1) - \text{изменение объёма},$$

$$A' = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T, \text{ где } \Delta T = (T_2 - T_1) - \text{изменение температуры}$$

### ***Уравнение теплового баланса:***

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0.$$

### ***I начало термодинамики:***

$$\Delta U = A + Q,$$

$$\Delta U = Q - A'.$$

### ***Применение I начала термодинамики для изопроцессов:***

$$\underline{T = const:} \Delta U = 0 \text{ Дж}, \implies A' = Q.$$

**$P = \text{const}$ :**  $\Delta U = A + Q$ ,  $\Delta U = Q - A'$ .  
 **$V = \text{const}$ :**  $A' = P \cdot \Delta V$ ,  $A' = 0$ ,  $\implies \Delta U = Q$ .  
**адиабатный:**  $Q = 0$  Дж,  $\implies \Delta U = A$ .

### Тепловые машины

КПД тепловой машины (рисунок 2):

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} \cdot 100\%,$$

$$\eta = \frac{|Q_1 - Q_2|}{|Q_1|} \cdot 100\%, \quad \eta = \left(1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|}\right) \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%, \quad \eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \cdot 100\%$$

$Q_1$  – количество теплоты, полученное от нагревателя,

$Q_2$  – количество теплоты, отданное холодильнику,

$A' = (Q_1 - Q_2)$  – работа, совершённая рабочим телом (газом).



Рисунок 2

### Учебные задания для решения на практических занятиях.

2.1 Определите внутреннюю энергию одноатомного идеального газа в количестве 5 моль при температуре  $30^\circ\text{C}$ .

2.2 Какова температура идеального одноатомного газа, если известно, что внутренняя энергия 2 моль составляет 8310 Дж?

2.3 Кислород массой 160 г, температура которого  $27^\circ\text{C}$ , нагрели до  $37^\circ\text{C}$ . На сколько увеличилась внутренняя энергия газа? Молярная масса кислорода 32 г/моль.

2.4 На сколько градусов увеличилась температура 1 моль идеального одноатомного газа, если его внутренняя энергия увеличилась на 747 Дж?

2.5 Найдите массу гелия, если при повышении температуры на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  его внутренняя энергия увеличилась на  $2,5\text{ кДж}$ . Молярная масса гелия  $4\text{ г/моль}$ .

2.6 Определите внутреннюю энергию идеального одноатомного газа, имеющего объем  $20\text{ м}^3$ , при давлении  $5 \cdot 10^5\text{ Па}$ .

2.7 Каково давление одноатомного идеального газа, занимающего объем  $2\text{ л}$ , если его внутренняя энергия  $300\text{ Дж}$ ?

2.8 Гелий массой  $1\text{ кг}$  находится под давлением  $8 \cdot 10^4\text{ Па}$  и имеет плотность  $0,2\text{ кг/м}^3$ . Определите его внутреннюю энергию.

2.9 В колбе объемом  $12\text{ л}$  содержится  $3 \cdot 10^{22}$  молекул гелия. Какова средняя в расчете на одну молекулу кинетическая энергия, если давление газа в колбе  $10^5\text{ Па}$ ?

2.10 Найдите концентрацию молекул двухатомного идеального газа в сосуде вместимостью  $6\text{ л}$  при температуре  $290\text{ К}$ , если его внутренняя энергия  $420\text{ Дж}$ .

2.11 Некоторое количество идеального газа нагревается при постоянном давлении. Во сколько раз возрастет его внутренняя энергия при увеличении объема в  $2$  раза?

2.12 Идеальный газ сжимают поршнем и одновременно подогревают. Во сколько раз увеличится его внутренняя энергия, если объем газа уменьшить в  $5$  раз, а давление увеличить в  $7$  раз?

2.13 Найдите внутреннюю энергию смеси, состоящей из  $20\text{ г}$  гелия и  $10\text{ г}$  неона, при температуре  $300\text{ К}$ . Молярная масса гелия  $4\text{ г/моль}$ , молярная масса неона  $20\text{ г/моль}$ .

2.14 Некоторая масса гелия занимает объем  $4\text{ л}$ . На сколько увеличится внутренняя энергия гелия, если в процессе нагревания его давление увеличилось на  $104\text{ Па}$ ?

2.15 На сколько уменьшится внутренняя энергия идеального одноатомного газа в процессе его изобарного сжатия при давлении  $2 \cdot 10^5\text{ Па}$  от  $2,5\text{ л}$  до  $1,6\text{ л}$ ?

2.16 В изобарном процессе при давлении  $300\text{ кПа}$  температура одноатомного идеального газа увеличивается в  $3$  раза. Определите начальный объем газа, если его внутренняя энергия увеличилась на  $18\text{ кДж}$ .

2.17 При повышении температуры идеального газа на  $50\text{ К}$  его внутренняя энергия возрастает на  $200\text{ кДж}$ . На сколько градусов следует нагреть газ, чтобы его внутренняя энергия возросла на  $80\text{ кДж}$ , при тех же внешних условиях?

2.18 Найдите концентрацию молекул идеального одноатомного газа, занимающего объем 4 л при 300 К, если внутренняя энергия его равна 600 Дж.

2.19 Объем 160 г кислорода, температура которого 27 °С, при изобарном нагревании увеличился вдвое. На сколько увеличилась его внутренняя энергия? Молярная масса кислорода 32 г/моль.

2.20 На сколько уменьшится внутренняя энергия одноатомного идеального газа в сосуде, содержащем 20 моль газа при температуре 300 К, если из него выпустить 2 моль газа, а температуру понизить на 5 К?

2.21 При постоянном давлении 5 кПа объем газа увеличился от 5 л до 11 л. Какую работу совершил газ?

2.22 При изобарном расширении при давлении 54 кПа газ совершил работу 27 кДж. Насколько увеличился объем газа?

2.23 Определите давление газа, если он при изобарном расширении на 0,25 м<sup>3</sup> совершил работу в 1550 Дж.

2.24 Чему равна работа, совершенная газом при переходе из состояния 1 в состояние 2 в процессе, изображенном на рисунке 3?

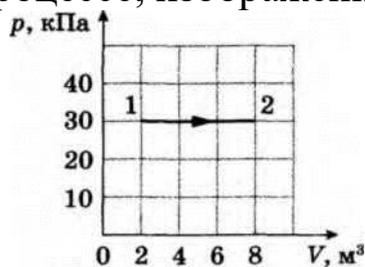


Рисунок 3

2.25 Идеальный газ изобарно увеличился в объеме в 3 раза при давлении  $3 \cdot 10^5$  Па. Определите первоначальный объем газа, если в процессе расширения он совершил работу 12,9 кДж.

2.26 Какую работу совершат 5 моль идеального газа при изобарном нагревании от 283 К до 293 К?

2.27 В цилиндре под поршнем находится 1 кг воздуха. Какая работа будет совершена газом при изобарном нагревании воздуха на 140 °С? Молярная масса воздуха 29 г/моль.

2.28 При изобарном нагревании некоторой массы кислорода на 200 К совершена работа 25 кДж увеличению объема. Определите массу кислорода. Молярная масса кислорода 32 г/моль.

2.29 Газ перешел из состояния 1 в состояние 2 в соответствии с процессом, изображенным в координатных осях  $p, V$  (рисунок 4). Найдите работу газа.

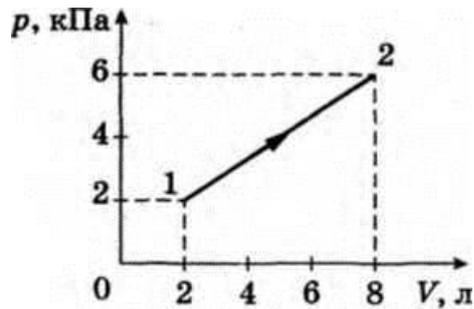


Рисунок 4

2.30 Некоторое количество идеального газа перешло из состояния 1 в состояние 4 (рисунок 5). Какую работу совершил газ?

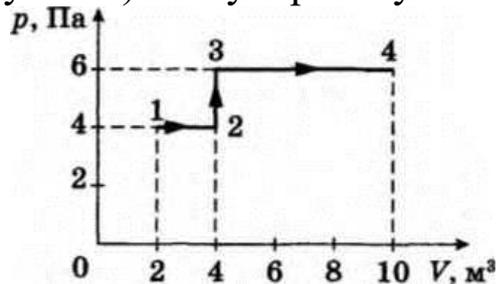


Рисунок 5

2.31 При изобарном нагревании 2 кг воздуха была совершена работа 3,4 кДж. На сколько градусов был нагрет воздух? Молярная масса воздуха 29 г/моль.

2.32 На сколько градусов нагрели 1 моль идеального газа при постоянном давлении, если газ совершил работу 166 Дж?

2.33 При изобарном нагревании 0,5 моль газа, первоначальная температура которого 27 °С, объем удвоился. Определите работу газа при расширении.

2.34 При изобарном нагревании от температуры 300 К до температуры 350 К газ совершил работу 100 Дж. Какую работу совершит этот газ при дальнейшем изобарном нагревании на 25 К?

2.35 При изобарном сжатии одноатомного идеального газа внешними силами была совершена работа 20 кДж. Как изменилась внутренняя энергия газа в этом процессе?

2.36 Газ совершил работу 48 Дж, а его внутренняя энергия выросла на 52 Дж. Какое количество теплоты было подведено к газу?

2.37 Чему равно изменение внутренней энергии газа, если ему сообщено 50 кДж теплоты и газ, расширяясь, совершил работу 30 кДж?

2.38 Внутренняя энергия газа увеличилась на 40 Дж при подведении к нему 65 Дж тепла. Определите работу, совершенную газом.

2.39 При изотермическом процессе газу передано 8 МДж теплоты. Определите работу, совершенную газом.

2.40 В процессе изохорного нагревания газ получил 15 МДж теплоты. Чему равно изменение внутренней энергии газа?

2.41 Газ при адиабатном процессе совершил работу  $4 \cdot 10^8$  Дж. Как изменилась его внутренняя энергия?

2.42 При расширении газа на  $0,5 \text{ м}^3$  при постоянном давлении 1,6 МПа ему передано 1,6 МДж теплоты. Определите изменение внутренней энергии.

2.43 Гелий массой 5 кг изохорно нагревают на  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определите количество теплоты, сообщенное газу. Молярная масса гелия  $4 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

2.44 При изобарном расширении двухатомный газ при давлении 100 кПа увеличил свой объем на  $5 \text{ м}^3$ . Определите количество теплоты, сообщенной этому газу.

2.45 В герметичном сосуде объемом 6,5 л содержится одноатомный идеальный газ при давлении  $10^5$  Па. Какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы давление в сосуде увеличилось в 3 раза?

2.46 Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль нагрели при постоянном давлении на 50 К. Какое количество тепла при этом было подведено к газу?

2.47 При изобарном нагревании 20 г водорода его объем увеличился в 2 раза. Начальная температура газа 300 К. Определите количество теплоты, сообщенное этому газу. Молярная масса водорода  $2 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

2.48 Идеальный одноатомный газ, количество вещества которого равно 1 моль, находящийся при температуре 300 К, изохорно охлаждается так, что его давление падает в 3 раза. Определите количество теплоты, отданное газом.

2.49 В теплоизолированном цилиндре с подвижным поршнем находится 2 моль гелия. Какую работу совершили над газом, если его температура повысилась на 100 К?

2.50 Чему равно давление газа, если известно, что при изобарном расширении на 2 л к газу подвели 125 Дж тепла, а его внутренняя энергия увеличилась на 75 Дж?

2.51 Идеальный одноатомный газ в теплоизолированном сосуде совершил работу 625 Дж, при этом его температура уменьшилась на 10 К. Сколько молей газа содержится в сосуде?

2.52 Сколько молей идеального одноатомного газа можно нагреть на 5 К, подведя к нему 41,5 Дж теплоты при постоянном давлении?

2.53 Одноатомному газу сообщили 15 кДж теплоты. При этом газ расширился при постоянном давлении. Определите работу расширения газа.

2.54 На сколько увеличится внутренняя энергия одноатомного идеального газа в процессе изобарного расширения, если газу сообщить при этом количество теплоты 30 кДж?

2.55 При изотермическом процессе газ совершил работу 200 Дж. На сколько увеличится внутренняя энергия газа, если ему сообщить при изохорном процессе теплоты вдвое больше, чем при изотермическом?

2.56 Для изобарного нагревания 800 моль одноатомного идеального газа на 500 К ему сообщили 9,4 МДж энергии. Вычислите работу газа.

2.57 Определите изменение внутренней энергии 0,5 моль газа при изобарном нагревании от 27 °С до 47 °С, если газу было сообщено 290 Дж энергии.

2.58 Одноатомный идеальный газ нагревается при постоянном давлении. Какая часть теплоты, полученной газом, идет на увеличение его внутренней энергии?

2.59 Один моль одноатомного идеального газа совершает одинаковые работы в изобарном и изотермическом процессах. Определите отношение количества теплоты, сообщенного в изобарном процессе, к количеству теплоты в изотермическом процессе.

2.60 КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно, равен 80%. Во сколько раз абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника?

2.61 Идеальный газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в 4 раза больше абсолютной температуры холо-

дильника. Какая часть теплоты, полученной от нагревателя, отдается холодильнику?

2.62 Тепловая машина совершает работу 200 Дж, при этом холодильнику передается 300 Дж энергии. Определите КПД тепловой машины.

2.63 За некоторое время идеальная тепловая машина получила от нагревателя 60 кДж тепла и отдала холодильнику 50 кДж. Определите температуру нагревателя, если температура холодильника 300 К.

2.64 В идеальном тепловом двигателе абсолютная температура нагревателя в 3 раза выше, чем температура холодильника. Нагреватель передал газу 60 кДж тепла. Какую работу совершил газ?

2.65 В идеальной тепловой машине за счет каждых 103 Дж тепла, полученных от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определите температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.

2.66 Идеальный газ совершил за цикл, состоящий из двух изотерм и двух адиабат, работу 600 Дж. Температура нагревателя 500 К, температура холодильника 300 К. Определите количество теплоты, отданное газом холодильнику за цикл.

2.67 В цилиндре двигателя газ, для нагревания которого сжигается 2 кг нефти с удельной теплотой сгорания  $4,3 \cdot 10^7$  Дж/кг, расширяясь, совершил работу 36 МДж. Чему равен КПД двигателя?

2.68 В идеальной тепловой машине рабочим веществом является пар с начальной температурой 710 К и температурой отработанного пара 350 К. Определите полезную мощность машины, если от нагревателя пар получает 142 кДж теплоты в минуту.

2.69 КПД теплового двигателя 20%. В процессе усовершенствования двигателя удалось уменьшить в 2 раза количество теплоты, отдаваемое за цикл холодильнику, не меняя при этом количество теплоты, получаемое от нагревателя. Определите новое значение КПД двигателя.

### 3. Свойства паров и жидкостей.

Испарение и конденсация. Насыщенный пар и его свойства. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Точка росы. Кипение. Зависимость температуры кипения от давления. Перегретый пар и его использование в технике.

Характеристика жидкого состояния вещества. Поверхностный слой жидкости. Энергия поверхностного слоя. Явления на границе жидкости с твердым телом. Капиллярные явления.

#### **Нагревание (охлаждение)**

$Q = c \cdot m \cdot \Delta t^\circ$ , где  $c$  – удельная теплоёмкость.

#### **Плавление (кристаллизация)**

$Q = \pm \lambda \cdot m$ , где  $\lambda$  – удельная теплота плавления.

#### **Парообразование (конденсация)**

$Q = \pm r \cdot m$ , где  $r$  – удельная теплота парообразования.

#### **Сгорание**

$Q = q \cdot m$ , где  $q$  – удельная теплота сгорания .

**При плавлении (кристаллизации), парообразовании (конденсации)  $t^\circ = const !!!$**

#### **Относительная влажность воздуха:**

$$\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100 \% , \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100 \%$$

#### **Поверхностное натяжение**

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{U_{нов}}{S}$$

#### **Высота $h$ , на которую поднимается жидкость**

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

#### **Коэффициент объемного расширения:**

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta t}$$

**При увеличении объёма тел уменьшается их плотность:**

$\rho = \rho_0 / (1 + \beta \cdot \Delta t)$ , где  $V$  и  $V_0$  - объёмы, а  $\rho$  и  $\rho_0$  - плотности соответственно при температурах  $t$  и  $t_0$

Учебные задания для решения на практических занятиях.

Молярная масса пара (воды) 18 г/моль.

3.1. Определите относительную влажность воздуха при 18 °С, если парциальное давление водяного пара 1,25 кПа, а давление насыщенного водяного пара при 18 °С составляет 2,07 кПа.

3.2. Какое значение имеет относительная влажность воздуха, если его абсолютная влажность 10,6 г/м<sup>3</sup>, а плотность насыщенного водяного пара при той же температуре составляет 16,3 г/м<sup>3</sup>?

3.3. Чему равно парциальное давление водяного пара в воздухе при 16 °С и влажности 70% ? Давление насыщенного пара при 16 °С равно 1,81 кПа.

3.4. Найдите абсолютную влажность воздуха, если парциальное давление насыщенного пара 14 кПа, а температура 60 °С.

3.5. Относительная влажность воздуха при 25 °С составляет 50%. Плотность насыщенного пара при данной температуре 23 г/м<sup>3</sup>. Найдите абсолютную влажность воздуха.

3.6. В комнате объёмом 150 м<sup>3</sup> при 25 °С содержится 2,07 кг водяного пара. Определите относительную влажность воздуха. Плотность насыщенного пара при 25 °С равна 23 г/м<sup>3</sup>.

3.7. Сколько молекул водяного пара содержится в комнате объёмом 100 м<sup>3</sup> при температуре 20 °С и относительной влажности 20%? Плотность насыщенного пара при 20 °С равна 17,3 г/м<sup>3</sup>.

3.8. Плотность паров воды в помещении при температуре 27 °С равна 10 г/м<sup>3</sup>. Определите относительную влажность в помещении, если давление насыщенных паров при 27 °С равно 3,55 кПа.

3.9. В комнате объёмом 120 м<sup>3</sup> при 15 °С относительная влажность воздуха 60%. Определите массу водяного пара в комнате, если давление насыщенного водяного пара при 15 °С равно 1705 Па.

3.10. Вечером температура воздуха была 16 °С, относительная влажность 65%. Ночью температура воздуха понизилась до 4°С.

Сколько водяного пара сконденсировалось из  $4 \text{ м}^3$  воздуха? Плотность насыщенного пара при  $16 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $13,6 \text{ г/м}^3$ , при  $4^\circ\text{C}$  -  $6,4 \text{ г/м}^3$ .

3.11. Определите, какая масса росы выпадет, если при  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  изотермически сжать влажный воздух объемом  $2 \text{ м}^3$  с относительной влажностью  $60\%$ , уменьшив его объем в 5 раз. Плотность насыщенного пара при  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $9,4 \text{ г/м}^3$ .

3.12. В сосуде вместимостью  $100 \text{ л}$  при температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  находится воздух с относительной влажностью  $30\%$ . Какой будет относительная влажность воздуха в сосуде, если в него ввести воду массой  $1 \text{ г}$ ? Плотность насыщенного пара при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $23 \text{ г/м}^3$ .

3.13. Парциальное давление водяного пара в воздухе, заполняющем некоторый сосуд, при  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $4 \text{ кПа}$ . Найдите относительную влажность воздуха после понижения температуры до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Давление насыщенного пара при  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $20 \text{ кПа}$ .

3.14. В комнате объемом  $150 \text{ м}^3$  поддерживается температура  $293\text{K}$ , а точка росы равна  $283\text{K}$ . Определите относительную влажность воздуха. Давление насыщенного пара при  $293 \text{ K}$  равно  $2,33 \text{ кПа}$ , при  $283 \text{ K}$  -  $1,23 \text{ кПа}$

3.15. На какую высоту поднимется вода по почвенному капилляру диаметром  $75 \text{ мкм}$ , если вода полностью смачивает почву? Коэффициент поверхностного натяжения воды  $73 \text{ мН/м}$ , плотность воды  $103 \text{ кг/м}^3$ .

3.16. Чему равен коэффициент поверхностного натяжения спирта, если в капиллярной трубке диаметром  $1 \text{ мм}$  он поднялся на  $11 \text{ мм}$ ? Плотность спирта  $790 \text{ кг/м}^3$ .

3.17. Определите внутренний диаметр капиллярной трубки, если вода в ней поднимается над открытой поверхностью на  $12 \text{ мм}$ . Коэффициент поверхностного натяжения воды  $73 \text{ мН/м}$ , плотность воды  $103 \text{ кг/м}^3$ .

3.18. В капиллярной трубке, находящейся на поверхности Земли, вода поднялась на  $24 \text{ мм}$ . На какую высоту поднялась бы вода в этой же трубке на Луне, если ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше, чем на поверхности Земли?

3.19. Во сколько раз высота подъема воды в стеблях риса со средним диаметром капилляров 0,02 мм больше, чем в почве с капиллярами диаметром 0,3 мм?

3.20. Во сколько раз высота подъема воды в капилляре больше, чем высота подъема керосина при прочих равных условиях? Коэффициент поверхностного натяжения воды 73 мН/м, керосина - 24 мН/м; плотность воды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность керосина 800 кг/м<sup>3</sup>.

3.21. Вода в капиллярной трубке поднялась на 28 мм. На сколько миллиметров опустится ртуть в той же трубке? Коэффициент поверхностного натяжения воды 73 мН/м, ртути - 490 мН/м; плотность воды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>, плотность ртути 13 600 кг/м<sup>3</sup>.

3.22. Сообщающиеся сосуды представляют собой капилляры диаметром 0,6 мм и 0,1 мм. Найдите разность уровней воды в капиллярах. Коэффициент поверхностного натяжения воды 73 мН/м, плотность воды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

3.23. Для определения коэффициента поверхностного натяжения воды в нее опустили две стеклянные трубки с радиусами внутреннего канала 0,25 мм и 0,5 мм. Вода поднялась в первой трубке на 30 мм выше, чем во второй. Вычислите коэффициент поверхностного натяжения воды. Плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>.

3.24. Найдите массу воды, поднявшейся по капиллярной трубке диаметром 0,5 мм. Коэффициент поверхностного натяжения воды 73 мН/м, плотность воды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

3.25. Чему равна избыточная потенциальная энергия мыльного пузыря диаметром 50 мм? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора 40 мН/м.

3.26. Рамка, охватывающая поверхность в 40 см<sup>2</sup>, затянута мыльной пленкой. Насколько уменьшится энергия пленки при сокращении ее площади в 2 раза? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора 40 мН/м.

#### 4. Свойства твердых тел

Характеристика твердого состояния вещества. Упругие свойства твердых тел. Закон Гука. Механические свойства твердых тел. Тепловое расширение твердых тел и жидкостей. Плавление и кристаллизация.

##### **Закон Гука:**

*при малых деформациях механическое напряжение  $\sigma$  прямо пропорционально относительному удлинению  $\varepsilon$ .*

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon|, \quad \text{где } E \text{ – модуль упругости или модуль Юнга.}$$

##### **Механическое напряжение:**

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

##### **Относительное удлинение:**

$$\varepsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

##### **Тепловое расширение твердых тел**

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta l}{l_0}.$$

##### **Зависимость длины твердого тела от температуры:**

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T).$$

$$\beta = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta V}{V_0}, \quad \text{где } \Delta V = V - V_0, \quad V \text{ и } V_0 \text{ – объемы тела при температурах } T \text{ и } T_0 \text{ соответственно.}$$

$$V = V_0(1 + \beta \Delta T).$$

**Между температурными коэффициентами линейного и объемного расширения существует связь**

$$\beta = 3\alpha$$

Учебные задания для решения на практических занятиях.

4.1. Определите относительное удлинение стержня длиной 5 м, если под действием груза он растянулся так, что его абсолютное удлинение составило 1,25 мм.

4.2. Под действием некоторой силы длина стержня изменилась от 80 см до 80,2 см. Определите абсолютное и относительное удлинение.

4.3. Медная проволока площадью сечения  $2 \text{ мм}^2$  разорвалась под действием силы 440 Н. Каков предел прочности меди?

4.4. При какой наибольшей площади поперечного сечения стальная проволока разорвется под действием силы 9 кН? Предел прочности стали  $4 \cdot 10^8 \text{ Па}$ .

4.5. Определите относительное укорочение при сжатии бетона, если нормальное механическое напряжение  $8 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Модуль Юнга бетона 40 ГПа.

4.6. Под действием какой силы, направленной вдоль оси стержня, в нем возникнет механическое напряжение  $15 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ ? Диаметр стержня 0,4 см.

4.7. Какую силу надо приложить к стальной проволоке длиной 2 м для растяжения ее на 1 мм? Площадь сечения проволоки  $0,5 \text{ мм}^2$ . Модуль Юнга стали  $2,2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ .

4.8. Сечение какой площади должен иметь медный стержень длиной 5 м, чтобы при нагрузке 480 Н он удлинился не более чем на 1 мм? Модуль Юнга меди  $2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ .

4.9. К стальному стержню сечением  $1 \text{ см}^2$  подвешен груз массой 2 т. Каково относительное удлинение стержня? Модуль Юнга для стали  $2,2 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ . Массой стержня пренебречь.

4.10. Определите механическое напряжение у основания свободно стоящей мраморной колонны высотой 10 м. Плотность мрамора  $2700 \text{ кг/м}^3$ .

4.11. Какое удлинение получит стальная проволока длиной 1,8 м и диаметром 0,5 мм под действием груза в 15 Н? Модуль Юнга  $2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ . Массой проволоки пренебречь.

4.12. К стальному стержню сечением  $2 \text{ см}^2$  подвешен груз массой 5 т. Каким запасом прочности обладает стержень, если его предел прочности  $12,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ ? Массой стержня пренебречь.

## **Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Дмитриева В. Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для СПО / В. Ф. Дмитриева. - 4-е изд., стер. - Москва: Академия, 2017. - 448 с. : ил. - (Профессиональное образование).

2. Дмитриева, В. Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для СПО / В. Ф. Дмитриева. - 3-е изд., стер. - Москва: Академия, 2017. - 448 с. - URL: <http://www.academia-moscow.ru/reader/?id=294470>

### **б) дополнительная литература:**

1 Физика. Задачи, качественные вопросы, тесты. : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / А. В. Славов [и др.] ; под ред. А. В. Славова. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. - URL:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010044.html>

2 Физика. Задачи, качественные вопросы, тесты. : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2 / В. Л. Чудов, [и др.] ; под ред. В.Л. Чудова. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. - URL:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010082.html>

3 Бордовский Г. А. Общая физика. В 2 т. Т. 1 : учебное пособие для СПО / Г. А. Бордовский, Э. В. Бурсиан. — 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. — 242 с. — (Профессиональное образование). — URL: [www.biblio-online.ru/book/6F75BAA2-0360-4A74-8744-FBBC28C8FDC2](http://www.biblio-online.ru/book/6F75BAA2-0360-4A74-8744-FBBC28C8FDC2).

4 Бордовский Г. А. Общая физика. В 2 т. Т. 1 : учебное пособие для СПО / Г. А. Бордовский, Э. В. Бурсиан. — 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2018. — 299 с. — (Профессиональное образование). — URL: [www.biblio-online.ru/book/FC1465B9-FE4C-423D-BDB7-A69F86CC12A9](http://www.biblio-online.ru/book/FC1465B9-FE4C-423D-BDB7-A69F86CC12A9).

5 Трофимова Т. И. Руководство к решению задач по физике : учебное пособие для СПО / Т. И. Трофимова. — 3-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. — 265 с. — (Профессиональное образование). — URL:

[www.biblio-online.ru/book/65C1CD78-22C0-4A48-B45E-0FF2AC9E3A7A](http://www.biblio-online.ru/book/65C1CD78-22C0-4A48-B45E-0FF2AC9E3A7A) (дата обращения: 10.04.2019).

**в) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

1 Электронный каталог : сайт / Научно-техническая библиотека СибГИУ. - Новокузнецк, [199 - ]. - URL:<http://libr.sibsiu.ru>.

2 Электронная библиотека // Научно-техническая библиотека СибГИУ : сайт. - Новокузнецк, [200 - ]. - URL:<http://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей.

3 Академия, изд. центр (Москва). Электронные учебники / ООО «Образовательно-издательский центр «Академия». - Москва, [200 - ]. - URL:<http://www.academia-moscow.ru>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей.

4 Университетская библиотека ONLINE : электронно-библиотечная система / ООО «Директ-Медиа». - Москва, [200 - ]. - URL: <http://www.biblioclub.ru>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5 ЛАНЬ : электронно-библиотечная система / ООО «ЭБС ЛАНЬ». - Санкт-Петербург, [200 - ]. - URL:<http://e.lanbook.com>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей.

6 Консультант студента. Электронная библиотека технического ВУЗа : электронно-библиотечная система /ООО «Политехресурс». - Москва, [200 - ]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей.

7 ЭБС ЮРАЙТ : электронно-библиотечная система / ООО «Электронное издательство Юрайт». - Москва, [200 - ]. - URL: <http://www.biblio-online.ru>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей.

8 Электронно-библиотечная система eibrary / ООО «РУНЭБ». - Москва, [200 - ]. -URL:<http://eibrary.ru>. - Режим доступа: по подписке.

**г) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:** ABBYY FineReader 11, Kaspersky Endpoint Security, «Программное обеспечение «Рукоконтекст», 7-Zip, Microsoft Office 2010, Microsoft Office 2007, Microsoft Windows 7.

**д) базы данных и информационно-справочные системы:**

1 Техэксперт: информационно-справочная система / ООО «Группа компаний «Кодекс». - Кемерово, [200 - ]. - Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

2 КонсультантПлюс: справочно-правовая система / ООО «Информационный центр АНВИК». - Новокузнецк, [199 - ]. - Режим доступа: компьютерная сеть библиотеки Сиб. гос. индустр. ун-та.

3 Система ГАРАНТ : электронный периодический справочник / ООО «Правовой центр «Гарант». - Кемерово, [200 - ]. - Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

4 Электронный реферативный журнал (ЭлРЖ) : база данных / ВИНТИ РАН. - Москва, [200 - ]. - Режим доступа: компьютерная сеть библиотеки Сиб. гос. индустр. ун-та.