

## 7 Реальные газы, жидкости и твердые тела.

### 7.1 Парообразование. Насыщенный пар. Влажность воздуха.

- 7.1.1<sup>0</sup> Почему температура воды в открытых водоемах почти всегда в летнюю погоду ниже температуры окружающего воздуха?
- 7.1.2<sup>0</sup> Как заставить воду кипеть без нагревания? Как заставить воду замерзнуть кипением?
- 7.1.3<sup>0</sup> Выполняется или нет закон Шарля, закон Гей-Люссака и закон Бойля-Мариотта для насыщенного пара?
- 7.1.4<sup>0</sup> Чем объяснить появление зимой инея на оконных стеклах? С какой стороны стекла он появляется?
- 7.1.5<sup>0</sup> Почему нагревание воздуха понижает его влажность?
- 7.1.6 Какую массу воды следует налить в сосуд емкостью 2 л, чтобы она полностью испарившись при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ , создала давление 100 кПа?
- 7.1.7 Определите абсолютную влажность воздуха, если парциальное давление пара в нем 14 кПа, а температура  $333\text{ K}$ .
- 7.1.8 Давление насыщенного водяного пара при температуре  $36^{\circ}\text{C}$  равно 44,6 мм.рт.ст. Какова масса при этой температуре  $1\text{ м}^3$  влажного воздуха при относительной влажности 80% и давлении 1 атм?
- 7.1.9 Относительная влажность в комнате при температуре  $16^{\circ}\text{C}$  составляет 65%. Как она изменится при понижении температуры на 4 К, если упругость водяного пара останется прежней?
- 7.1.10 В сосуде объемом 100 л при  $30^{\circ}\text{C}$  находится воздух с относительной влажностью 30%. Какой будет относительная влажность воздуха в сосуде, если в него ввести 1 г воды и испарить при этой температуре?
- 7.1.11 В комнате при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  относительная влажность воздуха 20%. Сколько нужно испарить воды для увеличения влажности до 50%, если объем комнаты равен  $40\text{ м}^3$ ?
- 7.1.12 Относительная влажность воздуха, заполняющего сосуд объемом  $0,7\text{ м}^3$ , при  $24^{\circ}\text{C}$  равна 60%. Сколько воды нужно испарить в этот объем для полного насыщения пара, если температура остается постоянной?
- 7.1.13 Влажный термометр психрометра показывает  $10^{\circ}\text{C}$ , а сухой  $14^{\circ}\text{C}$ . Найти относительную влажность и упругость водяного пара.
- 7.1.14 При  $4^{\circ}\text{C}$  сухой и влажный термометры психрометра давали одинаковые показания. Что покажет влажный термометр, если: а) температура повысилась до  $10^{\circ}\text{C}$ ; б) если она повысилась до  $16^{\circ}\text{C}$ ? Считать, что упругость водяного пара остается неизменной.
- 7.1.15 Найти относительную влажность воздуха в комнате при  $18^{\circ}\text{C}$ , если точка росы  $10^{\circ}\text{C}$ .

- 7.1.16** Относительная влажность воздуха вечером при  $16^{\circ}\text{C}$  равна 55%. Выпадет ли роса, если ночью температура понизится до  $8^{\circ}\text{C}$  ?
- 7.1.17** Днем при  $20^{\circ}\text{C}$  относительная влажность воздуха была 60%. Сколько воды в виде росы выделится из каждого кубического метра воздуха, если температура ночью понизилась до  $8^{\circ}\text{C}$  ?
- 7.1.18** Под легким поршнем в цилиндре сечением  $0,1\text{ м}^2$  находится 1 кг воды при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  . В воду опускают кусок раскаленного железа массой 1 кг. До какой температуры было нагрето железо, если поршень поднялся после этого на 64 см? Атмосферное давление нормальное, теплоотдачей и теплоемкостью цилиндра пренебречь.
- 7.1.19** К закрытому с обоих концов цилиндру объемом 1 л свободно ходит легкий поршень. Под поршнем находится 5 г воды, над поршнем - столько же азота. Вся система имеет температуру 373 К. На сколько изменятся объемы пара и газа, если всю систему охладить на 50 К?
- 7.1.20** До какой температуры надо нагреть запаянный шар, содержащий 17,5 г воды, чтобы шар разорвался, если известно, что стенки шара выдерживают давление не более 100 атм, а его объем 1 л?
- 7.1.21** В герметичном помещении размерами  $4 \times 5 \times 3$  м, в которой воздух имеет температуру  $10^{\circ}\text{C}$  и относительную влажность 30% включили увлажнитель воздуха производительностью 0,2 л/ч. Чему станет равна относительная влажность воздуха в комнате через 1,5 ч?
- 7.1.22** В закрытом цилиндре с перегородкой посередине с одной стороны находится сухой воздух, с другой влажный, относительная влажность которого составляет 50%. Какая влажность установится в цилиндре, если убрать перегородку?
- 7.1.23** Сосуд разделен тонкой перегородкой на две части, отношение объема которых  $\frac{V_2}{V_1} = 3$ . В первой части сосуда находится воздух с относительной влажностью  $\varphi_1 = 80\%$ . Если убрать перегородку, то относительная влажность воздуха в сосудах после установления равновесия будет равна 50%. Определите начальную влажность во втором сосуде, считая, что температура воздуха в частях сосуда одинакова и не изменилась после снятия перегородки.
- 7.1.24** В запаянной с одного конца трубке находится влажный воздух, отделенный от атмосферы столбиком ртути длиной  $l = 76$  мм. Когда трубка лежит горизонтально, относительная влажность этого воздуха  $\varphi_1 = 80\%$ . Какой станет относительная влажность воздуха, если трубку поставить вертикально, открытым концом вниз? Атмосферное давление считать нормальным и температуру неизменной.

## 7.2 Изотерма реального газа.

**7.2.1** Найдите размерности постоянных в уравнении Ван-дер-Ваальса.

**7.2.2** Какую долю объема газа составляет объем молекул: а) при давлении равном 1 атм; б) при давлении в 500 атм.

- 7.2.3** В сосуде объемом 20 л при температуре 27°C находится 0,05 кмоль углекислого газа. Поправки Ван-дер-Ваальса для углекислого газа равны  $a = 0,364 \text{ Н} \cdot \text{м}^4/\text{моль}^2$ ,  $b = 4,26 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$ . Определите давление газа.
- 7.2.4** Вычислите давление моля азота, находящегося в сосуде объемом 1 л при температуре 17°C. Решите задачу в двух приближениях, один раз считая его идеальным газом, другой - реальным, описываемым уравнением Ван-дер-Ваальса.
- 7.2.5** Какую температуру имеет моль азота, занимающий объем 11,5 л при давлении 200 кПа? Решите задачу: а) считая газ идеальным; б) считая газ реальным.
- 7.2.6** Сосуд, имеющий объем 0,5 л один раз заполняют кислородом, другой раз - углекислым газом. В обоих случаях давление газа равно 300 кПа. Газы взяты в количестве 2 моль. На сколько отличаются температуры газов? Считать газы: а) идеальными; б) реальными.

### 7.3 Сила и энергия поверхностного натяжения

- 7.3.1<sup>0</sup>** Чем объяснить, что соломенная кровля на крыше, состоящая из отдельных стебельков, между которыми имеется множество отверстий, надежно защищает от дождя?
- 7.3.2<sup>0</sup>** Вода легче песка. Почему же ветер может поднять тучи песка, но очень мало водяных брызг?
- 7.3.3<sup>0</sup>** Какое свойство жидкости используется при крашении, пайке, сварке?
- 7.3.4<sup>0</sup>** Почему волейбольная сетка сильно натягивается после дождя?
- 7.3.5<sup>0</sup>** Если на поверхность воды положить нитку и с одной стороны от нее капнуть эфиром, то нитка будет перемещаться. Почему это происходит? В какую сторону будет перемещаться нитка? Коэффициент поверхностного натяжения эфира  $\sigma = 0,017 \text{ Н/м}$ .
- 7.3.6** Обычная швейная игла имеет длину 3,5 см и массу около 0,1 г. Достаточно ли поверхностного натяжения воды для того, чтобы удерживать иглу на своей поверхности?
- 7.3.7** Соломинка длиной 8 см плавает на поверхности воды, при температуре 18°C. По одну сторону от соломинки наливают мыльный раствор и соломинка приходит в движение. В какую сторону? Какова сила, движущая соломинку?
- 7.3.8** Какую силу нужно приложить, чтобы оторвать проволочное кольцо массой 50 г от воды, если диаметр кольца 6 см?
- 7.3.9** Капля воды вытекает из вертикальной стеклянной трубки диаметром 1 мм. Найдите массу капли, если температура воды 20°C.
- 7.3.10** Для определения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва капли получили следующие данные: 318 капель жидкости имеют массу 5 г, диаметр шейки капли в момент отрыва равен  $7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ . Найдите по этим данным коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

- 7.3.11** С помощью пипетки отмерили 152 капли минерального масла. Их масса оказалась равной 1820 мг. Найдите коэффициент поверхностного натяжения масла, если диаметр шейки пипетки 1,2 мм.
- 7.3.12** Пробковый кубик с ребром, равным 2,0 см, плавает на поверхности воды. Считая смачивание полным, определить глубину погружения кубика в воду.
- 7.3.13<sup>0</sup>** Как изменится температура жидкости, если увеличить ее свободную поверхность? Жидкость теплоизолирована, испарением пренебречь.
- 7.3.14** Определить свободную энергию поверхностного слоя капли воды массой 42,5 мг и радиусом 2,16 мм.
- 7.3.15** Определить свободную энергию поверхности мыльного пузыря, радиус которого 12 мм.
- 7.3.16** Проволочная рамка затянута мыльной пленкой. Какую работу нужно совершить, чтобы растянуть пленку, увеличив ее поверхность на  $6 \text{ см}^2$  с каждой стороны?
- 7.3.17** Какую работу нужно совершить, чтобы разделить сферическую каплю воды, температура которой 293 К, на две одинаковые сферические капли массой по 18,1 мг?
- 7.3.18** Десять маленьких капель ртути радиусом  $r_0 = 1 \text{ мм}$  осторожно объединили в одну большую каплю. На сколько изменится при этом температура ртути?
- 7.3.19** Какую работу нужно совершить, чтобы надуть мыльный пузырь радиусом 4 см? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора  $\sigma = 0,04 \text{ Н/м}$ .
- 7.3.20** Два мыльных пузыря радиусами  $R_1$  и  $R_2$  сливаются в один пузырь радиусом  $R_3$ . Найдите коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки, если атмосферное давление  $p_0$ .
- 7.3.21** Проволочная рамка с подвижной горизонтальной перекладиной, расположенная вертикально, затянута мыльной пленкой. Определить поверхностное натяжение мыльного раствора, если медная перекладина, имеющая диаметр 1,08 мм, находится в равновесии.
- 7.3.22** Для определения коэффициента поверхностного натяжения воды была использована пипетка с диаметром выходного отверстия 2 мм. Масса капель оказалась равной 1,9 г. Каким по этим данным получается значение коэффициента поверхностного натяжения воды?
- 7.3.23** Из капельницы накапали равные массы сначала холодной воды при  $8^\circ\text{C}$ , затем горячей воды при  $80^\circ\text{C}$ . Как и во сколько раз изменился коэффициент поверхностного натяжения воды, если в первом случае образовалось 40, а во втором 48 капель? Плотность воды считать оба раза одинаковой.
- 7.3.24** Тонкое проволочное кольцо диаметром 34 мм, подвешено на пружине, опускают в сосуд с водой. Какое значение коэффициента поверхностного натяжения получено, если пружина растянулась на 31 мм? Жесткость пружины  $0,5 \text{ Н/м}$ . На сколько растянулась бы пружина, если бы в сосуд вместо воды был налит керосин  $\sigma = 24 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .
- 7.3.25** Какую работу нужно совершить, чтобы каплю воды радиусом 1 мм разделить на один миллион мелких одинаковых капель?

**7.3.26** В дне чайника имеется круглое отверстие диаметром 0,1 мм. До какой высоты можно налить воду в чайник, чтобы она не выливалась через отверстие?

## 7.4 Капиллярные явления

**7.4.1** На какую высоту может подняться вода в капиллярной трубке диаметром 2 мкм?

**7.4.2** Найдите массу воды, поднявшейся по капиллярной трубке диаметром 0,5 мм.

**7.4.3** Найти значение лапласовского давления создаваемого поверхностью: а) пузырька воздуха диаметром 18 мм, находящегося под водой; б) мыльного пузыря диаметром 20 мм.

**7.4.4** Две длинные стеклянные пластинки, параллельные друг другу, погружены в вертикальном положении в смачивающую жидкость. Расстояние между пластинами  $10^{-3}$  м, их ширина 0,15 м. На какую высоту поднимется жидкость между пластинками? С какой силой притягиваются пластинки? Смачивание считать полным. Решить задачу для случая, когда жидкость - вода.

**7.4.5** Две трубки с внутренними диаметрами 1 и 3 мм вставлены одна в другую. Внешний диаметр тонкой трубки 2 мм. Если трубки опустить в воду, то разность уровней в канале тонкой трубки и промежутке между трубками равна 6 мм. Определите по этим данным коэффициент поверхностного натяжения воды.

**7.4.6** В двух капиллярных трубках разного диаметра, опущенных в воду, установилась разность уровней 2,6 см. При опускании этих же трубок в спирт разность уровней оказалась 1 см. Зная коэффициент поверхностного натяжения воды, найдите коэффициент поверхностного натяжения спирта.

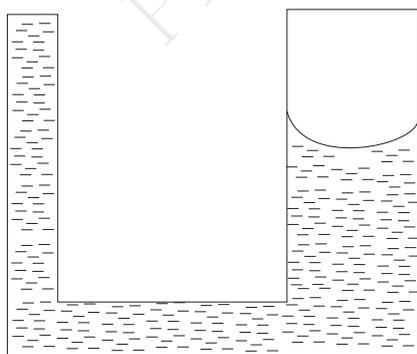


Рис. 1:

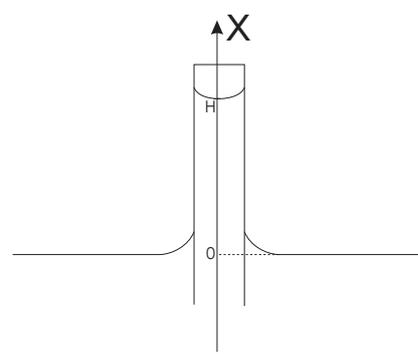


Рис. 2:

**7.4.7** Вертикально расположенный стеклянный капилляр длиной  $l$  запаян с верхнего конца. Если нижний конец капилляра привести в соприкосновении с поверхностью воды, то вода поднимется в нем на высоту  $h$ . Атмосферное давление нормальное. Чему равен диаметр капилляра?

**7.4.8** В дне стеклянного цилиндра имеется отверстие диаметром 1,0 мм. Диаметр дна цилиндра 10 см. Какой может быть максимальная масса ртути в цилиндре, чтобы она не вытекала через отверстие?

- 7.4.9 Как будет меняться разность уровней в сообщающихся капиллярах на рисунке (см. Рис.1) при нагревании жидкости?
- 7.4.10 Капилляр помещен в стакан с водой (см. Рис.2). Расстояние от поверхности воды до точки, расположенной сразу под искривленной поверхностью  $H$ . Атмосферное давление  $p_0$ . Построить график зависимости давления внутри капилляра от координаты  $x$ .

## 7.5 Тепловое расширение твердых тел

- 7.5.1 Длина железнодорожного рельса при температуре  $30^\circ\text{C}$  равна 12,015 м. Определить длину рельса при 273 К и 238 К.
- 7.5.2 При температуре 293 К отмерено 450 м медной и столько же стальной проволоки. Какова будет разность их длин при температуре 373 К?
- 7.5.3 При любых температурах разность длин стержней из алюминия и меди равна 12 см. Определить их длины при  $0^\circ\text{C}$ .
- 7.5.4 Стальной прокат режут на полосы сразу после выхода из прокатного стана при температуре  $900^\circ\text{C}$ . Определить длину полос в горячем состоянии, если при их охлаждении до  $20^\circ\text{C}$  их длина оказалась равна 15,0 м.
- 7.5.5 При  $20^\circ\text{C}$  чугунное колесо трамвайного вагона имеет диаметр 1150 мм, а предназначенный для него стальной бандаж - диаметр 1145 мм. До какой температуры следует нагреть бандаж, чтобы зазор между ним и колесом был 1 мм?
- 7.5.6 Предложите простейшую схему электрической цепи, в которой с помощью биметаллической пластинки (сталь-медь) можно ограничить потребление электрической энергии.
- 7.5.7 Биметаллическая пластинка составлена из двух полосок - цинка и стали одинаковой длины и толщины при температуре 273 К. Определить радиус кривизны изгиба пластинки при ее нагревании на 100 К. Толщина биметаллической пластинки 0,4 мм с нагреванием изменяется пренебрежимо мало.
- 7.5.8 На сколько увеличится площадь медного листа, если его температуру повысить на 100 К? Размер листа при 273 К равен 1,2x0,5 м.
- 7.5.9 При  $0^\circ\text{C}$  алюминиевая пластинка имеет размер 150x80 мм. Вычислить площадь пластинки при температуре  $600^\circ\text{C}$ .
- 7.5.10 На сколько увеличится объем свинцового шара при нагревании от 20 до  $100^\circ\text{C}$ , если начальный объем шара  $1800\text{ см}^3$ .
- 7.5.11 Сколько теплоты нужно израсходовать, чтобы стальной рельс площадью поперечного сечения  $20\text{ см}^2$  удлинился от нагревания на 6 мм?
- 7.5.12 На нагревание стального бруса размерами 60 см x 20 см x 5 см израсходовано 1680 кДж теплоты. На сколько увеличился объем бруса?
- 7.5.13 Объем керосина при нагревании увеличился на  $20\text{ см}^3$ . Какое количество теплоты было при этом израсходовано?