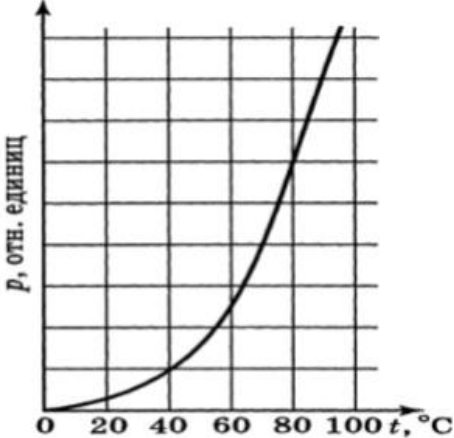
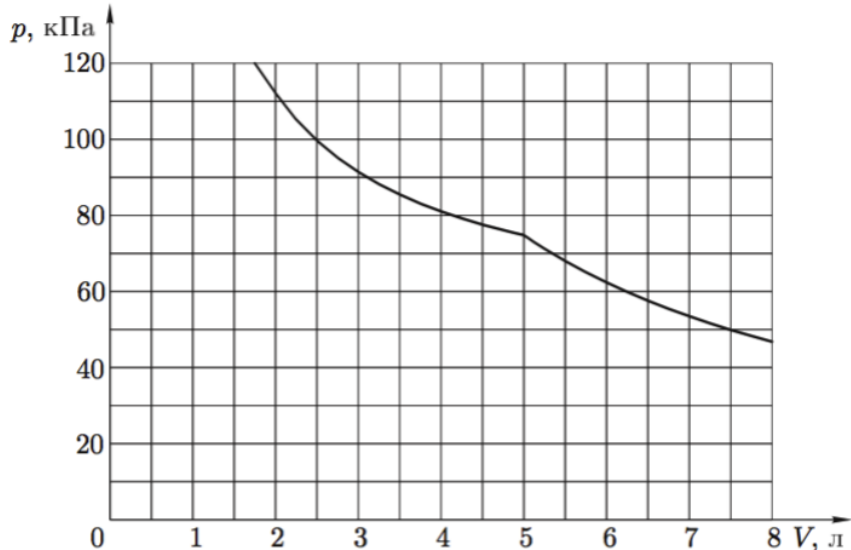


Водяные пары

1.	Летним днем перед грозой плотность влажного воздуха (масса пара и воздуха в 1 м^3) равна $\rho = 1140 \text{ г/м}^3$ при давлении $p = 100 \text{ кПа}$ и температуре $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите отношение парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе, к парциальному давлению сухого воздуха. Принять, что молярные массы воздуха и пара равны $M_{\text{в}} = 29 \text{ г/моль}$ и $M_{\text{п}} = 18 \text{ г/моль}$ соответственно. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/ (моль К)}$.
2.	В парной бани относительная влажность воздуха составляла $\phi_1 = 50\%$ при температуре $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. После того как температура воздуха уменьшилась до $t_2 = 97 \text{ }^\circ\text{C}$ и пар «осел», относительная влажность воздуха стала $\phi_2 = 45\%$. Какая масса воды выделилась из влажного воздуха парной, если ее объем $V = 30 \text{ м}^3$? Известно, что при температуре t_2 давление насыщенного пара на 80 мм рт.ст. меньше, чем при t_1 .
3.	В цилиндре под поршнем с пружиной заперты водяной пар и вода, масса которой $M = 1 \text{ г}$. Температура в цилиндре поддерживается постоянной и равной $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Когда из цилиндра выпустили часть пара массой $m = 7 \text{ г}$, поршень стал двигаться. После установления равновесия объем содержимого в цилиндре под поршнем оказался в 2 раза меньше первоначального. Какая масса пара была в цилиндре и какой объем он занимал в начале опыта? Поршень занимает положение равновесия у дна цилиндра, когда пружина не напряжена.
4.	В сосуде объемом $V_1 = 20 \text{ л}$ находятся вода, насыщенный водяной пар и воздух. Объем сосуда при постоянной температуре медленно увеличивают до $V_2 = 40 \text{ л}$, давление в сосуде при этом уменьшается от $p_1 = 3 \text{ атм}$ до $p_2 = 2 \text{ атм}$. Определите массу воды в сосуде в конце опыта, если общая масса воды и пара составляет $m = 36 \text{ г}$. Объемом, занимаемым жидкостью, в обоих случаях пренебречь.
5.	Жидкость и ее насыщенный пар находятся в цилиндре под поршнем при некоторой температуре. При медленном изобарическом нагреве температура системы повысилась до $100 \text{ }^\circ\text{C}$, а объем увеличился на 54% . На сколько градусов нагрели содержимое цилиндра, если масса пара вначале составляла $2/3$ от полной массы смеси? Начальным объемом жидкости по сравнению с объемом системы пренебречь.
6.	В сосуде находятся жидкость и ее насыщенный пар. В процессе изотермического расширения объем, занимаемый паром, увеличивается в $\beta = 3$ раза, а давление пара уменьшается в $\alpha = 2$ раза. Найдите отношение массы жидкости $m_{\text{ж}}$ к массе пара $m_{\text{п}}$, которые первоначально содержались в сосуде. Объемом, занимаемым жидкостью, пренебречь.
7.	В цилиндре под поршнем находится влажный воздух. В изотермическом процессе объем цилиндра уменьшается в $\alpha = 4$ раза, при этом давление под поршнем увеличивается в $\gamma = 3$ раза. Какая часть первоначальной массы пара сконденсировалась? В начальном состоянии парциальное давление сухого воздуха в $\beta = 3/2$ раза больше парциального давления пара.
8.	Замкнутый цилиндрический сосуд делится подвижным поршнем на 2 равные части. В одной из них находится воздух, а в другой – вода и пар. При медленном нагревании всего сосуда поршень начинает двигаться и в некоторый момент времени останавливается. В этот момент он делит объем сосуда на части в отношении $1:3$. Определите отношение массы воды к массе пара в начале опыта. Температуры в обеих частях сосуда всё время одинаковые. Объемом, занимаемым водой в одной из частей сосуда пренебречь.
9.	В герметичном цилиндре длиной $l = 1 \text{ м}$ и сечением $S = 10 \text{ см}^2$ находится тонкий поршень массой $M = 200 \text{ г}$, который может перемещаться вдоль цилиндра без трения. Первоначально ось цилиндра горизонтальна, а поршень

	<p>находится посередине цилиндра. По обе стороны от поршня находятся одинаковые количества $m = 0,4$ г воды и её паров при атмосферном давлении. Затем цилиндр переводят в вертикальное положение.</p> <p>а) На сколько при этом смещается поршень, если во всём цилиндре поддерживается температура $T = 100^\circ\text{C}$?</p> <p>б) Как изменится ответ а), если $m = 0,8$ г?</p>	
10.	<p>Одно колено высокой симметричной U-образной трубки, имеющей площадь поперечного сечения S, открыто в атмосферу, а второе — наглухо закрыто. Трубка заполнена жидкостью плотностью ρ, причём в открытом колене уровень жидкости доходит до краёв, а в закрытом — на h ниже из-за оставшегося под крышкой воздуха (рис.). Трубку нагревают от начальной комнатной температуры T_1 до температуры T_2 кипения жидкости при атмосферном давлении P_0. Найдите объём ΔV жидкости, вылившейся из открытого колена к моменту закипания, если известно, что уровень жидкости в закрытом колене остался выше горизонтального участка трубы. Испарением жидкости из открытого колена в процессе нагревания и давлением насыщенных паров жидкости при комнатной температуре можно пренебречь</p>	
11.	<p>Два закрытых сосуда ёмкостью $V_1 = 10$ литров и $V_2 = 20$ литров имеют жёсткие стенки и поддерживаются при одинаковой постоянной температуре 0°C. Сосуды соединены короткой трубкой с краном. Вначале кран закрыт. В первом сосуде находится воздух под давлением $p_1 = 2$ атм при относительной влажности $r_1 = 20\%$. Во втором сосуде находится воздух под давлением $p_2 = 1$ атм при относительной влажности $r_2 = 40\%$. Кран постепенно открывают так, что процесс выравнивания давлений в сосудах можно считать изотермическим. Найдите минимальную и максимальную относительную влажность воздуха в сосуде ёмкостью 10 литров.</p>	
12.	<p>На рисунке приведён график зависимости давления насыщенного пара некоторого вещества от температуры. Определённое количество этого вещества находится в закрытом сосуде постоянного объёма в равновесном состоянии, соответствующем точке А на рисунке. До какой температуры следует охладить эту систему, чтобы половина имеющегося в сосуде вещества сконденсировалась? Объёмом сконденсировавшегося вещества можно пренебречь по сравнению с объёмом сосуда.</p> 	

13.	<p>В герметично закрытом сосуде находится влажный воздух, температура которого равна $t_1 = 75^\circ\text{C}$, а относительная влажность $\phi_1 = 25\%$. Воздух в сосуде начинают охлаждать. При какой температуре t_2 внутренние стенки сосуда запотеют? График зависимости давления насыщенного водяного пара в относительных единицах от температуры приведен на рисунке.</p>	
14.	<p>В цилиндре под поршнем находится смесь воздуха и паров некоторой жидкости. Смесь изотермически сжимают. На рисунке представлена экспериментальная зависимость давления в сосуде от объёма в этом процессе. Чему равны давление насыщенных паров жидкости p_n при данной температуре и внутренняя энергия смеси при объёме цилиндра более 5 л? Примечание. Считать воздух идеальным двухатомным газом, а пары жидкости — идеальным трёхатомным газом.</p>	
15.	<p>Горизонтальный цилиндр с поршнем заполнен воздухом, содержащим пары воды. В исходном состоянии его объём $V_0 = 1$ л, давление $p_0 = 10^5$ Па, температура $T_0 = 30^\circ\text{C}$. Если закрепить поршень и охлаждать цилиндр при постоянном объёме, то при $T_1 = 10,5^\circ\text{C}$ в нём выпадает роса. Можно поступить по-другому: оставить поршень свободным и охлаждать воздух из исходного состояния при постоянном давлении p_0. При какой температуре T_2 выпадет роса в этом случае? Зависимость давления насыщенных паров воды от температуры показана на графике.</p>	

16.	<p>В герметичный сосуд, содержащий сухой воздух при температуре $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ и некотором давлении, впрыснули немного воды и стали медленно нагревать содержимое. Определите давление воздуха в сосуде до впрыскивания воды, если к тому моменту, когда вся вода испарилась, давление воздуха составляло 46% от общего давления в сосуде. Начальный объем воды составил $1/1100$ от объема сосуда. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31\text{ Дж/(моль К)}$, молярная масса воды $M = 18\text{ г/моль}$, плотность воды $\rho = 1\text{ г/см}^3$.</p>
17.	<p>Вода и водяной пар находятся в цилиндре под поршнем при температуре $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом вода занимает 0,1% объема цилиндра. При медленном изотермическом увеличении объема вода начинает испаряться. К моменту, когда она вся испарилась, пар совершил работу $A = 177\text{ Дж}$, а объем, который он занимал, увеличился на $\Delta V = 1,25\text{ л}$. Найдите давление, при котором производился опыт. Сколько воды и пара было в цилиндре в начальном состоянии?</p>
18.	<p>В цилиндре под поршнем находится смесь $\nu_{\text{ж}}$ молей жидкости и $\nu_{\text{п}}$ молей ее насыщенного пара при температуре T. К содержимому цилиндра подвели количество теплоты Q при медленном изобарическом процессе, и температура внутри цилиндра увеличилась на ΔT. Найдите изменение внутренней энергии содержимого цилиндра. Объемом, занимаемым жидкостью, пренебречь.</p>
19.	<p>В цилиндре под поршнем находится один моль ненасыщенного пара при температуре T. Пар сжимают в изотермическом процессе так, что в конечном состоянии половина его массы сконденсировалась, а объем пара уменьшился в $k = 4$ раза. Найдите молярную теплоту конденсации пара, если в указанном процессе от системы жидкость– пар пришлось отвести количество теплоты Q ($Q > 0$). Пар можно считать идеальным газом.</p>
20.	<p>В теплоизолированный сосуд, содержащий газообразный азот при температуре $T_1 = 300\text{ К}$ и давлении $p_1 = 1\text{ атм}$, впрыснули азот при $T = 77\text{ К}$ (температура кипения жидкого азота при атмосферном давлении). После того как жидкий азот испарился, в сосуде установилась температура $T_2 = 150\text{ К}$, а давление уменьшилось до $p_2 = 0,72\text{ атм}$. Найдите молярную теплоту испарения жидкого азота. Молярная теплоемкость жидкого азота при постоянном объеме составляет $C_v = 20,8\text{ Дж/(моль К)}$</p>
21.	<p>Найдите для воды молярную теплоту парообразования L_2 при температуре T_2, зная молярную теплоту парообразования L_1 при температуре T_1. Считать, что молярная теплоемкость воды C в интервале температур $T_1 < T < T_2$ постоянна,</p>

	<p>а водяной пар является идеальным газом с молярной теплоёмкостью при постоянном объеме $C_V = 3R$. Молярной теплотой парообразования при некоторой температуре T называется количество теплоты, необходимое для превращения одного моля воды в пар в двухфазной системе «вода — насыщенный пар» при постоянной температуре T.</p>	
22.	<p>Водяной пар массой $m = 1$ г находится в теплоизолированной камере объёмом $V = 39$ л при температуре $T = 300$ К. В той же камере имеется вода, масса которой меньше массы пара. В процессе адиабатного сжатия температура пара возрастает на $\Delta T = 1$ К, а часть воды испаряется. На сколько увеличится при этом масса пара в камере? Удельная теплота испарения воды $L = 2,37 \cdot 10^6$ Дж/кг; пар считать идеальным газом с молярной теплоёмкостью $C_V = 3R \approx 25$ Дж/(моль \cdot К); теплоёмкостью воды пренебречь. Известно также, что при малых изменениях температуры ΔT насыщенного пара его давление изменяется на $\Delta p = k\Delta T$, где $k = 2 \cdot 10^2$ Па/К.</p>	
23.	<p>Теплоизолированная труба разделена на два отсека неподвижной перегородкой П с многочисленными тончайшими отверстиями (порами) и закрыта с обоих концов подвижными и теплоизолированными поршнями А и В. В начальный момент между поршнем А и перегородкой находится при температуре $t_1 = 95^\circ \text{C}$ вода, масса которой $m = 1$ кг. На поршень А действует давление $p_1 = 10^3$ атм, а поршень В прижат к перегородке П атмосферным давлением p_2. Вода под давлением поршня А начинает очень медленно просачиваться сквозь перегородку (рис.). Определите долю воды, испарившейся к моменту окончания процесса продавливания. Удельную теплоёмкость воды считайте постоянной и равной $c_v = 4,2$ кДж/(кг \cdot К), а удельную теплоту парообразования $\lambda = 2260$ кДж/кг. Считать, что удельный объём воды не зависит от давления и температуры, а оба поршня перемещаются без трения.</p> 	
24.	<p>Герметичный сосуд состоит из двух одинаковых шаров объёмом $V = 5$ м³ каждый и тонкой вертикальной трубки (рис.). Поршень в трубке делит сосуд на две части: в нижней — воздух при постоянной температуре, а в верхней — вода и пар, причём площадь свободной поверхности воды в верхнем шаре $S = 3$ см². При каких температурах T_0 воды и пара возможна такая ситуация, что при малых изменениях ΔT_0 этой температуры поршень смещается в одну и ту же сторону от положения равновесия независимо от знака ΔT_0? Примечание. Если при некоторой температуре T давление насыщенного пара p, то их малые изменения связаны уравнением Клаузиуса $\Delta p = \lambda p \Delta T / (RT^2)$,</p>	

Водяные пары

	где молярная масса $\mu = 18$ г/моль, удельная теплота парообразования $\lambda = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль \cdot К).	
25.	В покоем сосуда объёмом $V = 31$ л с очень жёсткими и совершенно не проводящими тепло стенками находятся воздух при нормальных условиях и вода в количестве $m = 9$ г. Сосуд практически мгновенно приобретает скорость u и движется поступательно. После установления теплового равновесия воздух в сосуде имеет влажность $g = 50\%$. Найдите скорость u . Удельная теплота парообразования воды $L = 2,5$ МДж/кг, удельная теплоёмкость воды $C = 4200$ Дж/(кг \cdot К), давление насыщенных паров воды при нормальных условиях $p = 600$ Па, удельная теплоёмкость воздуха при постоянном объёме $c_v = 720$ Дж/(кг \cdot К), средняя молярная масса воздуха $\mu = 0,029$ кг/моль.	
26.	На рисунке (см. отдельный лист) представлен график зависимости давления от температуры при изохорном нагревании для смеси воздуха и воды. Известно, что на одно маленькое деление по оси ординат приходится 20 торр (одна атмосфера равна 760 торр). Определите: 1) Температуру и давление в точках А и В. 2) Температуру, при которой испарилось 40% воды. Не забудьте описать метод получения результатов.	

9. Зависимость давления p и плотности ρ насыщенного водяного пара от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$
-5	0,40	3,2	14	1,60	12,1
0	0,61	4,8	15	1,71	12,8
1	0,65	5,2	16	1,81	13,6
2	0,71	5,6	17	1,94	14,5
3	0,76	6,0	18	2,07	15,4
4	0,81	6,4	19	2,20	16,3
5	0,88	6,8	20	2,33	17,3
6	0,93	7,3	21	2,49	18,3
7	1,0	7,8	25	3,17	23,0
8	1,06	8,3	50	12,3	83,0
9	1,14	8,8	60	19,9	129,4
10	1,23	9,4	70	31,0	195,7
11	1,33	10,0	80	47,3	290,2
12	1,40	10,7	90	70,0	417,6
13	1,49	11,4	100	101,3	588,3

