



**Влажность.  
Решение задач.**

# Домашнее задание:

- Повторить формулы,
  - Выполнить конспект,
  - Решить задачи:
1. Какова относительная влажность, если температура воздуха равна  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а его точка росы равна  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
  2. При температуре воздуха  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  сухой и влажный термометры психрометра давали одинаковые показания. Что покажет влажный термометр, если температура воздуха повысится до  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Считайте, что давление водяного пара остается неизменным.
  3. В  $6\text{ м}^3$  воздуха при температуре  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится  $42\text{ г}$  водяного пара. Найдите относительную влажность воздуха.

# Этапы решения задач:

1. Прочесть задачу.
2. Написать «Дано».
3. Отделить дано горизонтальной чертой и написать что требуется «Найти» в задаче.
4. Посмотреть все ли единицы измерения нам даны в СИ , если нет , сделать колонку СИ и вписать переведенную единицу измерения.
5. Написать «Решение» в одну строку с «Дано» и «СИ»(если необходимо).
6. В решении указать формулы необходимые для решения задачи.
7. Вписать в формулы значения и выполнить вычисления.
8. Записать ответ.

# Проверка и разбор задач из домашнего задания

# ШПАРГАЛ

## КА

Название величины	Обозначение	Единица измерения	Формула
<i>Масса</i>	<i>m</i>	кг	$m = Q / L$
<i>Температура</i>	<i>t</i>	°C	
<i>Температура кипения</i>	<i>t<sub>кип</sub></i>	°C	
<i>Удельная теплоемкость</i>	<i>c</i>	Дж/кг°C	
<i>Удельная теплота парообразования</i>	<i>L</i>	Дж/кг	$L = Q / m$
<i>Кол-во теплоты при нагревании</i>	<i>Q</i>	Дж	$Q = cm(t_2 - t_1)$
<i>Кол-во теплоты при парообразовании</i>	<i>Q</i>	Дж	$Q = Lm$

# 1. Какую энергию нужно затратить, чтобы расплавить кусок свинца массой 8 кг, взятый при

Дано:

$$m = 8 \text{ кг}$$

$$t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} = 327 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 140 \text{ Дж/кг }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 0,25 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$$

$$Q - ?$$

Решение:

Определяем по условию задачи сколько процессов происходит. Согласно таблице температур плавления свинца ( есть в конце сборника задач Лукашика)  $327^\circ$ , значит до этой температуры необходимо нагреть свинец массой 8 кг.

Затем его нужно расплавить ,плавление происходит при постоянной температуре, в нашем случае  $327^\circ$ .

Все необходимые постоянные табличные величины берем из таблиц в задачнике.

Следовательно , имеем 2 процесса: нагревание и плавление . Энергия, которую нужно затратить будет складываться из энергии затраченной на нагревание и энергии затраченной на плавление, а именно:

1) Нагревание свинца от  $27^\circ\text{C}$  до  $327^\circ\text{C}$ .

$$Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t_1)$$

$$Q_1 = 140 \text{ Дж/кг} \cdot 8 \text{ кг}(327 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C}) = 336000 \text{ Дж}$$

2) Плавление меди.

$$Q_2 = \lambda m = 0,25 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} \cdot 8 \text{ кг} = 200000 \text{ Дж}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 336000 \text{ Дж} + 200000 \text{ Дж} = 536000 \text{ Дж} = \\ = 536 \text{ кДж}$$

Ответ: 536 кДж

## 2. Какое количество энергии требуется для превращения в пар спирта массой 200 г, взятого при температуре 18 °С?

Решение и рассуждение аналогично 1 задаче.

Сколько процессов? - 2. Какие – нагревание спирта до 78°, т.к. при данной температуре, согласно таблице, спирт превращается в пар; парообразование (т.е. превращение спирта в пар) при постоянной температуре 78°.

Энергия, которую нужно затратить будет складываться из энергии затраченной на нагревание и энергии затраченной на парообразование.

Все необходимые постоянные табличные величины берем из таблиц в задачнике.

*Дано:*

$$m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$$

$$t_1 = 18 \text{ °С}$$

$$t_{\text{кип}} = 78 \text{ °С}$$

$$c = 2500 \text{ Дж/кг °С}$$

$$L = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

---

$$Q - ?$$

*Решение:*

1) Нагревание спирта от 18 °С до 78 °С.

$$Q_1 = cm(t_{\text{кип}} - t_1)$$

$$Q_1 = 2500 \text{ Дж/кг °С} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot (78 \text{ °С} - 18 \text{ °С}) = 30000 \text{ Дж}$$

2) Парообразование.

$$Q_2 = Lm = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 0,2 \text{ кг} = 180000 \text{ Дж}$$

$$3) Q = Q_1 + Q_2 = 30000 \text{ Дж} + 180000 \text{ Дж}$$

$$Q = 210000 \text{ Дж}$$

$$Q = 210 \text{ кДж}$$

*Ответ:* 210 кДж

**Какое количество теплоты необходимо сообщить воде массой 10 г, взятой при температуре 0 °С, для того, чтобы нагреть ее до температуры кипения и испарить?**

Решение и рассуждение аналогично 1 и 2 задачам.

Сколько процессов? - 2. Какие – нагревание воды до 100°, т.к. при данной температуре, согласно таблице, вода превращается в пар; испарение (т.е. превращение воды в пар) при постоянной температуре 100°.

Энергия, которую нужно затратить будет складываться из энергии затраченной на нагревание и энергии затраченной на парообразование.

Все необходимые постоянные табличные величины берем из таблиц в задачнике.

Дано:

$$m = 10 \text{ г} =$$

$$= 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$t_1 = 0^\circ\text{С} \quad t_2 = 100^\circ\text{С}$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$Q = ?$$

Решение:

Вода сначала нагревается от 0 до 100°С —  $Q_1$ , затем превращается в пар при 100°С —  $Q_2$ .

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad Q_1 = cm(t_2 - t_1); \quad Q_2 = Lm;$$

$$Q = cm(t_2 - t_1) + Lm.$$

$$Q = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 100^\circ\text{С} + 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \times \\ \times 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж} + 23 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 27,2 \text{ кДж}.$$



# Основные принципы решения задач по теме «Влажность»:

1. Следует помнить, что абсолютная влажность- это, собственно, плотность водяного пара в данных обстоятельствах (по условию задачи). Все необходимые табличные величины берем из таблиц в задачнике.
2. Плотность и давление насыщенного пара – это табличные значения.

## ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

характеризуется количеством водяных паров, находящихся при данной температуре в атмосфере

## ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

показывает, близок или далек водяной пар, находящийся в воздухе от насыщения

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

$\varphi$  – относительная влажность воздуха

$\rho$  – плотность водяного пара (абсолютная влажность воздуха)

$\rho_0$  – плотность насыщенного пара при той же температуре

при  $\downarrow t$  влажного воздуха  $\Rightarrow$  пар насыщенный

дальше  $\downarrow t \Rightarrow$  пар конденсируется  $\Rightarrow$  туман, роса

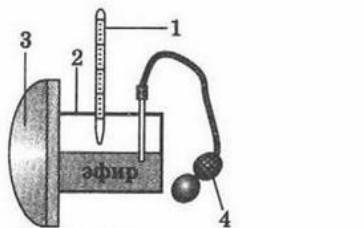
## ТОЧКА РОСЫ

температура, при которой пар, находящийся в воздухе становится насыщенным

## ПРИБОРЫ

### ГИГРОМЕТР

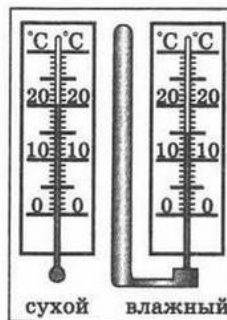
**конденсационный**  
продуваем воздух через коробку  
 $\Downarrow$   
испарение эфира  
 $\Downarrow$   
охлаждение коробки  
 $\Downarrow$   
появление росы на полированной пов-ти  
термометр  $\rightarrow$  точка росы



- 1 – термометр
- 2 – металлическая коробка
- 3 – полированная поверхность
- 4 – резиновая груша

**волосной**  
изменение  $\varphi$   
 $\Downarrow$   
изменение длины человеческого волоса  
 $\Downarrow$   
стрелка на шкале указывает  $\varphi$

### ПСИХРОМЕТР



по разности показаний термометров

$\Downarrow$   
по таблице  $\rightarrow \varphi$

### БОЛЬШОЕ ЗНАЧЕНИЕ $\varphi$ :

- при исследовании явлений атмосферы
- в библиотеках, музеях

$\varphi = 40-70\%$  – норма для жилых помещений

днем  $\uparrow t \Rightarrow \uparrow p \Rightarrow \downarrow \varphi$

ночью  $\downarrow t \Rightarrow \downarrow p \Rightarrow \uparrow \varphi$

# **Табличные значения**

**Они же имеются в сборнике  
задач**

**Давление  $p$  и плотность  $\rho$  насыщенных паров воды  
при различных температурах  $t$**

$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho,$ $\text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho,$ $\text{г/м}^3$
	кПа	мм рт. ст.			кПа	мм рт. ст.	
0	0,611	4,58	4,84	17	1,94	14,53	14,5
1	0,656	4,92	5,22	18	2,06	15,48	15,4
2	0,705	5,29	5,60	19	2,19	16,48	16,3
3	0,757	5,68	5,98	20	2,34	17,54	17,3
4	0,813	6,10	6,40	21	2,48	18,6	18,3
5	0,872	6,54	6,84	22	2,64	19,8	19,4
6	0,934	7,01	7,3	23	2,81	21,1	20,6
7	1,01	7,57	7,8	24	2,99	22,4	21,8
8	1,07	8,05	8,3	25	3,17	23,8	23,0
9	1,15	8,61	8,8	30	4,24	31,8	30,3
10	1,23	9,21	9,4	40	7,37	55,3	51,2
11	1,31	9,84	10,0	50	12,3	92,5	83,0
12	1,40	10,52	10,7	60	19,9	149,4	130
13	1,50	11,23	11,4	70	31,0	233,7	198
14	1,59	11,99	12,1	80	47,3	355,1	293
15	1,70	12,79	12,8	90	70,1	525,8	424
16	1,81	13,63	13,6	100	101,3	760,0	598

## Психрометрическая таблица

Показание сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С					
	0	1	2	3	4	5
	Относительная влажность, %					
15	100	90	80	71	61	52
16	100	90	81	71	62	54
17	100	90	81	72	64	55
18	100	91	82	73	65	56
19	100	91	82	74	65	58
20	100	91	83	74	66	59
21	100	91	83	75	67	60
22	100	92	83	76	68	61
23	100	92	84	76	69	61
24	100	92	84	77	69	62
25	100	92	84	77	70	63
26	100	92	85	78	71	64
27	100	92	85	78	71	65
28	100	93	85	78	72	65
29	100	93	86	79	72	66
30	100	93	86	79	73	67

Пример. Сухой термометр показывает 22 °С, влажный – 19 °С. Разность показаний термометров 3 °С. Значение относительной влажности (в процентах) находят на пересечении строки, начинающейся числом 22, и столбца, в головке которого стоит число 3, т.е. относительная влажность равна 76%.



# Заддаачи



# Задача 1.

При 24 градусах парциальное давление пара в комнате 1,62 кПа. Определить влажность воздуха.

Эта задача относится к самым простым в решении. Достаточно помнить формулу для определения влажности через давление и выбрать из таблицы значение для давления насыщенных паров при указанной в условии температуры.

**Давление  $p$  и плотность  $\rho$  насыщенных паров воды  
при различных температурах  $t$**

$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho, \text{г/м}^3$
	кПа	мм рт. ст.			кПа	мм рт. ст.	
0	0,611	4,58	4,84	17	1,94	14,53	14,5
1	0,656	4,92	5,22	18	2,06	15,48	15,4
2	0,705	5,29	5,60	19	2,19	16,48	16,3
3	0,757	5,68	5,98	20	2,34	17,54	17,3
4	0,813	6,10	6,40	21	2,48	18,6	18,3
5	0,872	6,54	6,84	22	2,64	19,8	19,4
6	0,934	7,01	7,3	23	2,81	21,1	20,6
7	1,01	7,57	7,8	24	2,99	22,4	21,8
8	1,07	8,05	8,3	25	3,17	23,8	23,0
9	1,15	8,61	8,8	30	4,24	31,8	30,3
10	1,23	9,21	9,4	40	7,37	55,3	51,2
11	1,31	9,84	10,0	50	12,3	92,5	83,0
12	1,40	10,52	10,7	60	19,9	149,4	130
13	1,50	11,23	11,4	70	31,0	233,7	198
14	1,59	11,99	12,1	80	47,3	355,1	293
15	1,70	12,79	12,8	90	70,1	525,8	424
16	1,81	13,63	13,6	100	101,3	760,0	598



Дано:

$$t = 24^{\circ} \text{C}$$

$$\rho_{\text{пар}} = 1,62 \text{ кПа}$$

$\varphi$  — ?

Решение:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} * 100\%$$

$$\rho_0 = 2,99 \text{ кПа}$$

$$\varphi = \frac{1,62 \text{ кПа}}{2,99 \text{ кПа}} * 100\% = 54\%$$

Ответ: 54%

## Задача 2.

Определите относительную влажность воздуха в помещении вместимостью  $90 \text{ м}^3$  при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , если масса водяного пара в помещении  $3 \text{ кг}$ .

В этой задаче тоже все просто. Решаем ее через формулу плотностей. Плотность данного пар мы легко найдем (причем она будет называться абсолютной влажностью).

И так же легко найдем в таблице плотность насыщенных паров при  $20$  градусах.

**Давление  $p$  и плотность  $\rho$  насыщенных паров воды  
при различных температурах  $t$**

$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho, \text{г/м}^3$
	кПа	мм рт. ст.			кПа	мм рт. ст.	
0	0,611	4,58	4,84	17	1,94	14,53	14,5
1	0,656	4,92	5,22	18	2,06	15,48	15,4
2	0,705	5,29	5,60	19	2,19	16,48	16,3
3	0,757	5,68	5,98	20	2,34	17,54	17,3
4	0,813	6,10	6,40	21	2,48	18,6	18,3
5	0,872	6,54	6,84	22	2,64	19,8	19,4
6	0,934	7,01	7,3	23	2,81	21,1	20,6
7	1,01	7,57	7,8	24	2,99	22,4	21,8
8	1,07	8,05	8,3	25	3,17	23,8	23,0
9	1,15	8,61	8,8	30	4,24	31,8	30,3
10	1,23	9,21	9,4	40	7,37	55,3	51,2
11	1,31	9,84	10,0	50	12,3	92,5	83,0
12	1,40	10,52	10,7	60	19,9	149,4	130
13	1,50	11,23	11,4	70	31,0	233,7	198
14	1,59	11,99	12,1	80	47,3	355,1	293
15	1,70	12,79	12,8	90	70,1	525,8	424
16	1,81	13,63	13,6	100	101,3	760,0	598

Дано:

$$t=20^{\circ} \text{C}$$

$$V=90 \text{ м}^3$$

$$M= 3 \text{ кг}$$

$\varphi$ —?

Решение:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{3 \text{ кг}}{90 \text{ м}^3} \approx 0,03 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx 30 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} * 100\%$$

$$\varphi = \frac{30 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}}{17,3 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}} * 100\% \approx 173\%$$

Ответ: 173%, нормальная влажность составляет 45-60%, при большей влажности вещи начинают отсыревать, теплообмен нарушается и тд., поэтому полученная влажность воздуха слишком велика, чтобы быть комфортной для человека.

## Задача 3.

При температуре  $23^{\circ}\text{C}$  относительная влажность воздуха  $60\%$ . Определите массу росы, выпавшей из воздуха объёмом  $1\text{ км}^3$ , при понижении температуры на  $10\text{ К}$ .

Запишите самостоятельно Дано и оформите решение к задаче.

Физика этой задачи достаточно проста: сначала в воздухе содержалась некоторая масса пара  $m_1$ . Потом температура упала. Плотность паров осталась той же, а вот плотность насыщенных паров уменьшается с температурой. И при  $(23-10=13)$   $13$  градусах она составляет  $11,4\text{ г/м}^3$ .

## Давление $p$ и плотность $\rho$ насыщенных паров воды при различных температурах $t$

$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p$		$\rho, \text{г/м}^3$
	кПа	мм рт. ст.			кПа	мм рт. ст.	
0	0,611	4,58	4,84	17	1,94	14,53	14,5
1	0,656	4,92	5,22	18	2,06	15,48	15,4
2	0,705	5,29	5,60	19	2,19	16,48	16,3
3	0,757	5,68	5,98	20	2,34	17,54	17,3
4	0,813	6,10	6,40	21	2,48	18,6	18,3
5	0,872	6,54	6,84	22	2,64	19,8	19,4
6	0,934	7,01	7,3	23	2,81	21,1	20,6
7	1,01	7,57	7,8	24	2,99	22,4	21,8
8	1,07	8,05	8,3	25	3,17	23,8	23,0
9	1,15	8,61	8,8	30	4,24	31,8	30,3
10	1,23	9,21	9,4	40	7,37	55,3	51,2
11	1,31	9,84	10,0	50	12,3	92,5	83,0
12	1,40	10,52	10,7	60	19,9	149,4	130
13	1,50	11,23	11,4	70	31,0	233,7	198
14	1,59	11,99	12,1	80	47,3	355,1	293
15	1,70	12,79	12,8	90	70,1	525,8	424
16	1,81	13,63	13,6	100	101,3	760,0	598

Значит, в некоторый момент времени влажность достигнет точки росы и начнется процесс конденсации. При этом влажность достигнет 100 %.

$$\varphi = \frac{\rho_1}{\rho_{\text{нас23}}}$$

$$\rho_{\text{нас23}} = 20,6 \frac{\text{Г}}{\text{М}^3}$$

$$\rho_1 = \varphi \cdot \rho_{\text{нас}23}$$

$$\rho_1 = 0,6 \cdot 20,6 \frac{\text{Г}}{\text{М}^3} = 12,36 \frac{\text{Г}}{\text{М}^3}$$

Если мы внимательно рассмотрим таблицу, то увидим, что наша плотность соответствует примерно 14,5 градусам Цельсия. То есть при такой температуре влажность становится 100% и начинает выпадать роса.



Однако температуре  $13^{\circ}\text{C}$   
соответствует

$$\rho_{\text{нас } 13} = 11,4 \text{ кг/м}^3$$

ПЛОТНОСТЬ

Вот до этой плотности воздух и будет  
«выжимать» росу и влажность будет  
оставаться 100 %.

Отсюда легко найти массу этого воздуха:

$$m_2 = \rho_{\text{нас } 13} \cdot V$$

Точно так же легко найти массу воды, которая изначально пребывала в воздухе:

$$m_1 = \rho_1 \cdot V$$

$$m_1 = 12,36 \frac{\Gamma}{\text{М}^3} \cdot 10^9 \text{М}^3 = 12,36 \cdot 10^6 \text{КГ}$$

$$m_2 = 11,4 \frac{\Gamma}{\text{М}^3} \cdot 10^9 \text{М}^3 = 11,4 \cdot 10^6 \text{КГ}$$

Искомая масса воды в виде росы будет  
равна:

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

$$\begin{aligned}\Delta m &= 12,36 \cdot 10^6 \text{ кг} - 11,4 \cdot 10^6 \text{ кг} \\ &= 0,96 \cdot 10^6 \text{ кг} = 960000 \text{ кг}\end{aligned}$$

Как это ни покажется странным, это  
960 тонн воды.

Ответ: 960т.