

# Тема: «Влажность воздуха»

*Для подготовки учащихся  
11 классов при сдаче ЕГЭ*

**Цель:** повторение основных понятий, графиков и формул, связанных с влажностью воздуха и рассмотрение примеров решения задач, взятых из материалов по подготовке к ЕГЭ и из вариантов ЕГЭ.



# Основные понятия

Динамическое равновесие

Насыщенный

Ненасыщенный пар

Парциальное давление

водяного пара

**Абсолютная влажность**

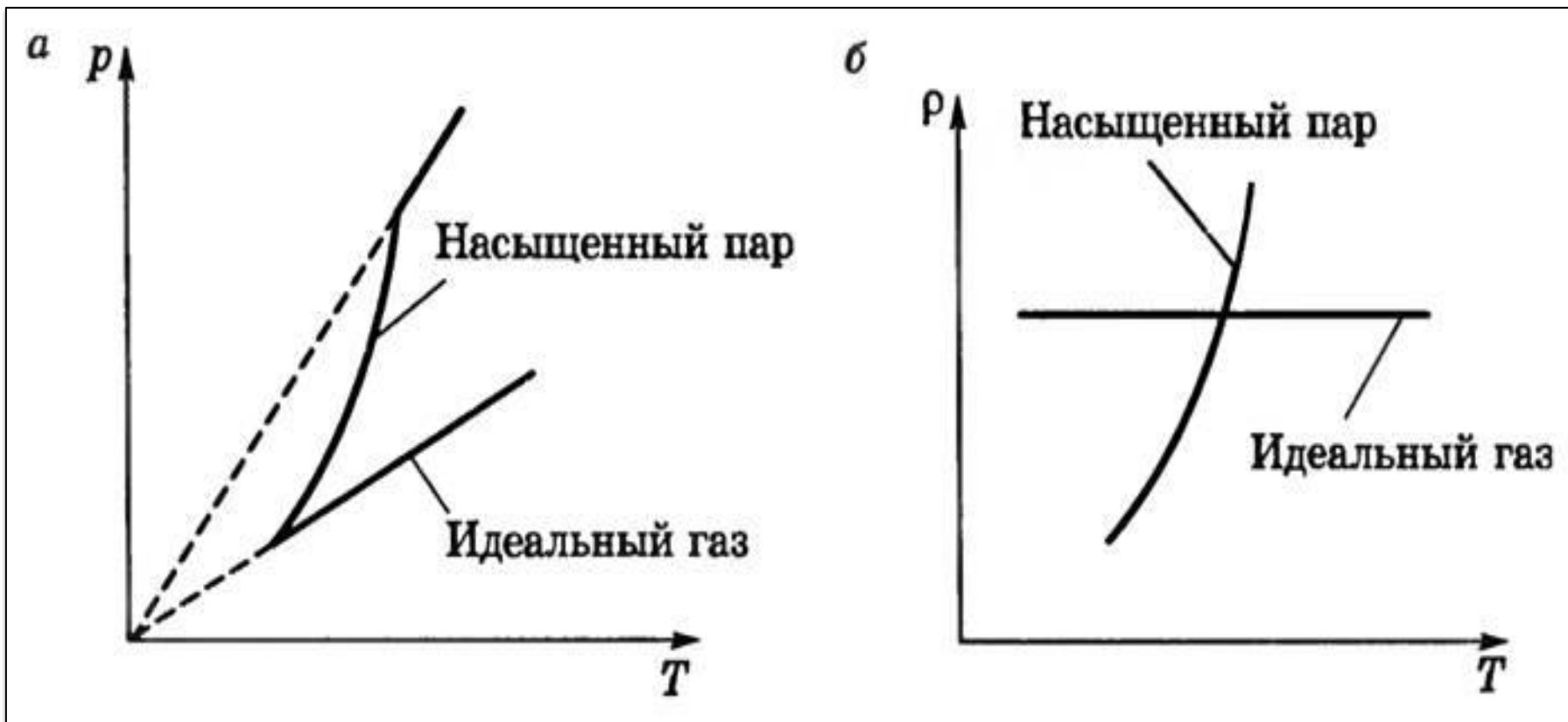
**Относительная влажность**

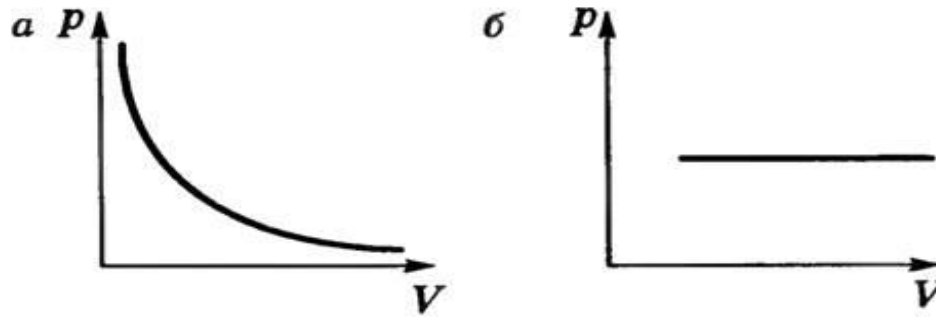
Точка росы

# Водяной пар в воздухе

- В результате испарения воды с многочисленных водоемов (морей, озер, рек и др.), а также с растительных покровов в атмосферном воздухе всегда содержится **водяной пар**. От количества водяного пара, содержащегося в воздухе, зависит погода, самочувствие человека, функционирование многих его органов, жизнь растений, а также сохранность технических объектов, архитектурных сооружений, произведений искусств. Поэтому очень важно следить за влажностью воздуха, уметь измерять ее.
- Водяной пар в воздухе обычно является **ненасыщенным**.  
**Ненасыщенный пар**- это пар, который не находится в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью.
- **Динамическое равновесие** - число молекул, вылетающих из жидкости за 1 с равно числу молекул, возвращающихся обратно, т.е. плотность пара над жидкостью становится постоянной.
- **Насыщенный пар** – пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью.
- Воздух, содержащий водяные пары, называют **влажным**. Для характеристики содержания водяного пара в воздухе вводят ряд величин: абсолютную влажность, упругость водяного пара и относительную влажность.

Давление и плотность  
насыщенного пара быстро  
возрастают с увеличением  
температуры (рис. 1, а, б)





- Опыт показывает, что при нагревании жидкости уровень жидкости в закрытом сосуде понижается. Следовательно, масса и плотность пара возрастают. ***Более сильное увеличение давления насыщенного пара по сравнению с идеальным газом (закон Гей-Люссака не применим к насыщенному пару) объясняется тем, что здесь происходит рост давления не только за счет роста средней кинетической энергии молекул (как у идеального газа), но и за счет увеличения концентрации молекул;***
- ***при постоянной температуре давление и плотность насыщенного пара не зависят от объема.*** На рисунке 2 для сравнения приведены изотермы идеального газа (а) и насыщенного пара (б).
- Опыт показывает, что при ***изотермическом расширении*** уровень жидкости в сосуде понижается, при сжатии — повышается, т.е. ***изменяется число молекул пара так, что плотность пара остается постоянной.***

# Абсолютной влажностью $\rho$

- воздуха называют величину, численно равную массе водяного пара, содержащегося в  $1 \text{ м}^3$  воздуха (т.е. **плотность водяного пара** в воздухе при данных условиях).
- **Упругость** водяного пара  $p$  — это парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе.
- **Парциальное давление** -
- В СИ единицами абсолютной влажности и упругости являются соответственно килограмм на кубический метр (**кг/м<sup>3</sup>**) и паскаль (Па).
- Иногда используются внесистемные единицы грамм на кубический метр ( $\text{г/м}^3$ ) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).  
 $1 \text{ г/м}^3 = 0,001 \text{ кг/м}^3$ .
- По величине абсолютной влажности нельзя судить **о степени** влажности воздуха, так как при одинаковой в нем массе водяного пара, но большей температуре, воздух будет суше, а при меньшей температуре будет влажнее.
- Абсолютная влажность и упругость водяного пара связаны между собой уравнением состояния (уравнением Менделеева-Клапейрона)

$$pV = (m/M)RT \Rightarrow p = (\rho/M)RT$$

# Относительной влажностью воздуха $\varphi$

- называют отношение абсолютной влажности воздуха  $\rho$  к плотности  $\rho_0$  насыщенного водяного пара при той же температуре, выраженное в %.

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

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\% = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%$$

*Здесь  $\rho$  – абсолютная влажность при некоторой температуре,  $\rho_0$  - плотность насыщенного водяного пара при той же температуре и  $p$  - давление водяного пара в воздухе при данной температуре (его также называют абсолютной влажностью, или парциальным давлением водяного пара в воздухе),  $p_0$  - давление насыщенного водяного пара при той же температуре.  $\rho_0$  и  $p_0$  - можно найти для каждой температуры по таблице( слайд 7 и 8).*

Если при данной температуре абсолютная влажность воздуха будет равна плотности насыщенных водяных паров, то воздух очень сырой, т.е. его влажность будет равна 100%. Влажность воздуха не может быть больше 100%.

# Значение плотности насыщенного пара $\rho_0$ при данном давлении и температуре

<i>Температура, °C</i>	<i>Давление (абсолютное) Па</i>	<i>Плотность кг/м<sup>3</sup></i>
0	588	0,00484
5	873	0,00680
10	1226	0,00940
15	1707	0,01283
20	2335	0,01729
25	3169	0,02304
30	4248	0,03036
35	5621	0,03960
40	7377	0,05114
45	9584	0,06543



*Давление и плотность насыщенного водяного пара  
при различных температурах.*

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$
-5	0,40	3,2	19	2,20	16,3
0	0,61	4,8	20	2,33	17,3
1	0,65	5,2	21	2,48	18,3
2	0,71	5,6	22	2,64	19,4
3	0,76	6,0	23	2,81	20,6
4	0,81	6,4	24	2,99	21,8
5	0,88	6,8	25	3,17	23,0
6	0,93	7,3	26	3,359	24,4
7	1,0	7,8	27	3,559	25,8
8	1,06	8,3	28	3,786	27,2
9	1,14	8,8	30	4,27	30,3
10	1,23	9,4	40	7,37	51,2
11	1,33	10,0	50	12,3	83,0
12	1,40	10,7	60	19,9	130
13	1,49	11,4	70	31,0	198
14	1,60	12,1	80	47,3	293
15	1,71	12,8	90	70,1	424
16	1,81	13,6	100	101,325	589
17	1,93	14,5			
18	2,07	15,4			

# ТОЧКА РОСЫ

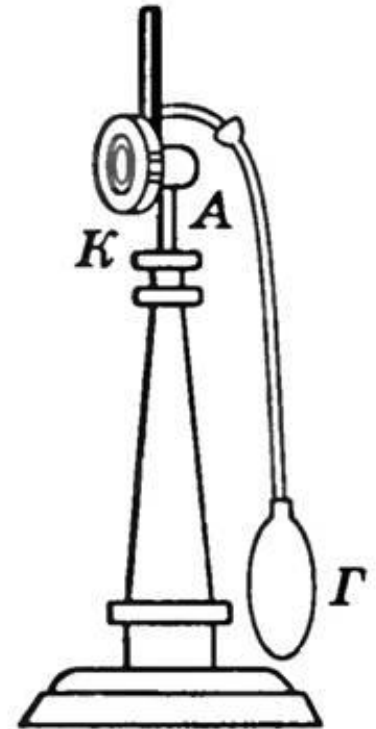
- **Температура**, при которой пар, находящийся в воздухе, **становится насыщенным**, называется *точкой росы*, потому что, если водяной пар охладить ниже точки росы, то выпадет роса, то есть насыщенный водяной пар начнет конденсироваться. По плотности насыщенного водяного пара, приведенного в таблице, можно найти соответствующую этой плотности точку росы.
- *выпадение росы под утро,*
- *запотевание холодного стекла, если на него подышать,*
- *образование капли воды на холодной водопроводной трубе,*
- *сырость в подвалах домов.*

# Приборы для измерения влажности

## ВОЗДУХА

### 1. *Конденсационный гигрометр*

представляет собой металлическую коробку *A*, передняя стенка *K* которой хорошо отполирована (рис. )  
Внутри коробки наливают легко испаряющуюся жидкость — эфир — и вставляют термометр.  
Пропуская через коробку воздух с помощью резиновой груши *Г*, вызывают сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки. По термометру замечают температуру, при которой появляются капельки росы на полированной поверхности стенки *K*. Давление в области, прилегающей к стенке, можно считать постоянным, так как эта область сообщается с атмосферой и понижение давления за счет охлаждения компенсируется увеличением концентрации пара. Появление росы указывает, что водяной пар стал насыщенным. Зная температуру воздуха и точку росы, можно найти парциальное давление водяного пара и относительную влажность.



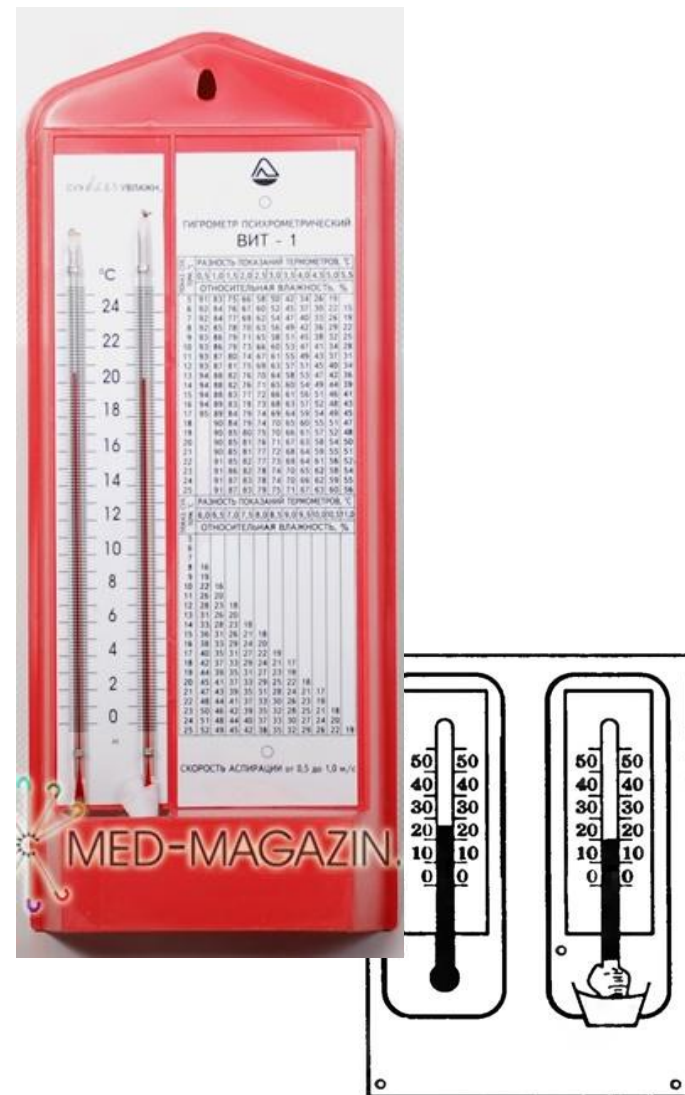
# Конденсационный гигрометр



- В конденсационном гигрометре **М. И. Гольцмана** температура **металлического зеркала**, измеряемая **электрически**, может быть понижена до  **$-150^{\circ}\text{C}$**  с помощью обтекающего его **жидкого кислорода** или жидкого воздуха.
- Воздух просасывается через прибор и проходит мимо зеркала, где и происходит конденсация.

# Относительную влажность определяют с помощью психрометра

2. Психрометр состоит из двух термометров, шарик одного из них обмотан тканью, нижние концы которой опущены в сосуд с дистиллированной водой (рис. 3). Сухой термометр регистрирует температуру воздуха, а влажный — температуру испаряющейся воды. Но при испарении жидкости ее температура понижается. Чем суше воздух (меньше его относительная влажность), тем интенсивнее испаряется вода из влажной ткани и тем ниже ее температура. Следовательно, разность показаний сухого и влажного термометров (так называемая психрометрическая разность) зависит от относительной влажности воздуха. Зная эту разность температур, определяют относительную влажность воздуха по специальным психрометрическим таблицам.





# Волосной гигрометр

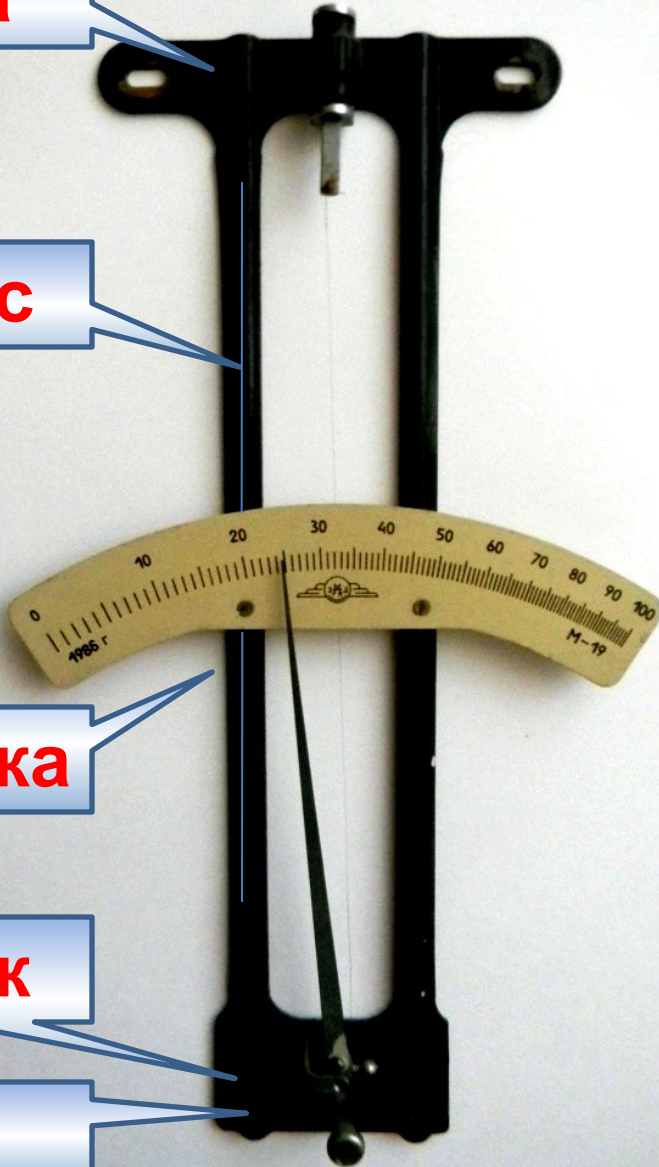
Рама

Волос

Стрелка

Ролик

Груз



- **Принцип действия** волосного гигрометра основан на **свойстве** обезжиренного **волоса** (человека или животного) **изменять свою длину в зависимости от влажности воздуха**, в котором он находится.
- **Волос** натянут на **металлическую рамку**.
- Изменение длины **волоса** передаётся **стрелке**, перемещающейся вдоль шкалы.
- Волосной гигрометр **в зимнее время** являются **основным** прибором для измерения влажности воздуха **вне помещения**.

# При решении задач следует помнить

- законы идеального газа для изопроцессов можно применять лишь к парам, далеким от насыщения.
- Уравнение Менделеева - Клапейрона для насыщенного пара можно применить лишь в конкретном случае – например, по известной плотности насыщенного пара определить давление насыщенного пара.
- Если задана температура, то по таблице можно найти его давление и плотность.
- Если известна температура ненасыщенного пара  $T$  и его точка росы  $T_p$ , то с помощью таблиц можно определить абсолютную и относительную влажность при температуре  $T$ , так как при температуре  $T_p$  пар

## *изобарное охлаждение*

- При *изобарном охлаждении* до температуры  $t_p$  пар становится насыщенным. При охлаждении ниже точки росы начинается конденсация паров: появляется туман, выпадает роса, запотевают окна. Точка росы позволяет определить упругость водяного пара  $p_1$ , находящегося в воздухе при температуре  $t_1$ .
- Точку росы определяют с помощью гигрометров.



# Формулы

1. Уравнение Ван-дер-Ваальса (реальный газ)

$$\left(p + \frac{a\nu^2}{V^2}\right) (V - b\nu) = \nu RT.$$

2. Влажность воздуха  $\varphi = \frac{p}{p_0} 100\% = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%$

3. Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T.$$

1. Парциальное давление водяного пара в воздухе при  $19^{\circ}\text{C}$  было  $1,1\text{кПа}$ . Найти относительную влажность воздуха.
2. Относительная влажность воздуха при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  составляет  $60\%$ . Найти парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе.

• **Обобщенный алгоритм решения задачи**

1. Используя, таблицу «Зависимость давления насыщенного пара от температуры», запишите давление насыщенного пара при данной температуре.
2. Выразите все единицы в системе СИ.
3. Запишите формулу влажности воздуха.
4. При необходимости выразите из нее неизвестную величину.
5. Подставьте числовые данные в формулу, получите числовой результат.
6. Проанализируйте полученный результат.

1. В комнате объемом  $40\text{ м}^3$  температура воздуха равна  $20^\circ\text{C}$ , его относительная влажность составляет  $20\%$ . Сколько надо испарить воды, чтобы влажность достигла  $50\%$ ?

• ***Обобщенный алгоритм решения задач***

1. Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона и выразите из него массу пара.
2. Используя формулу влажности, найдите парциальное давление в первом случае и определите начальную массу пара.
3. Используя формулу влажности, найдите парциальное давление во втором случае и определите конечную массу пара.
4. Сделайте вычисления.
5. Проанализируйте результат.

1. В помещении объемом  $60\text{ м}^3$  при температуре  $20^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха составляет 30%. Какова будет влажность воздуха, если испарить 200г воды?

• *Обобщенный алгоритм решения задач.*

1. Запишите формулу влажности.
2. Выразите парциальное давление для первого значения влажности.
3. Используя уравнение Менделеева-Клапейрона определите первоначальную массу водяного пара в воздухе.
4. Изменив массу, снова примените уравнение Менделеева-Клапейрона для нахождения парциального давления во втором случае.
5. Определите влажность.
6. Проанализируйте результат.



Рассмотрим задачи:

## 1.ГИА-2010-15

1. В двух комнатах квартиры показания сухих термометров психрометра одинаковы, а показания влажных — отличаются от показаний сухого и различаются между собой. Если показания влажного термометра выше в первой комнате, то влажный платок
- 1) высохнет быстрее в первой комнате
  - 2) высохнет быстрее во второй комнате
  - 3) высохнет за одно и то же время в обеих комнатах
  - 4) не высохнет в первой комнате, если показания психрометра в ней не изменятся

№ 2.ЕГЭ 2005 г., ДЕМО) А13  
и № 3.ЕГЭ 2006 г., ДЕМО) А10.

2. Парциальное давление водяного пара в воздухе при  $20^{\circ}\text{C}$  равно  $0,466\text{ кПа}$ , давление насыщенных водяных паров при этой температуре  $2,33\text{ кПа}$ . Относительная влажность воздуха равна

1.  $10\%$

2.  $20\%$

3.  $30\%$

4.  $40\%$

3. При какой влажности воздуха человек легче переносит высокую температуру воздуха и почему?

1. при низкой, так как при этом пот испаряется быстро

2. при низкой, так как при этом пот испаряется медленно

3. при высокой, так как при этом пот испаряется быстро

4. при высокой, так как при этом пот испаряется медленно

## 4.ЕГЭ 2007 г., ДЕМО) А12

4. При одинаковой температуре  $100^{\circ}\text{C}$  давление насыщенных паров воды равно  $10^5$  Па, аммиака —  $59 \cdot 10^5$  Па и ртути — 37 Па. В каком из вариантов ответа эти вещества расположены в порядке убывания температуры их кипения в открытом сосуде?

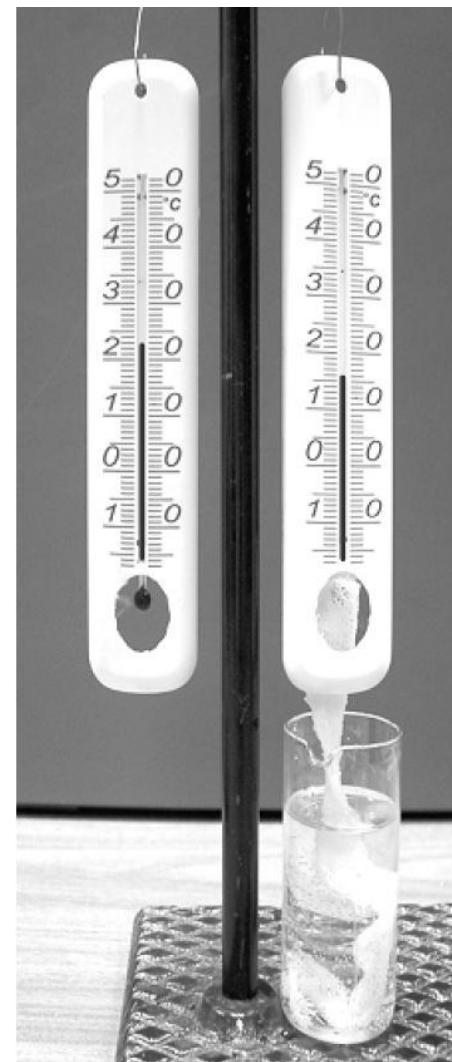
1. вода  $\rightarrow$  аммиак  $\rightarrow$  ртуть
2. аммиак  $\rightarrow$  ртуть  $\rightarrow$  вода
3. вода  $\rightarrow$  ртуть  $\rightarrow$  аммиак
4. ртуть  $\rightarrow$  вода  $\rightarrow$  аммиак



5. ЕГЭ 2008 г., ДЕМО) А11. На фотографии представлены два термометра, используемые для определения относительной влажности воздуха. Ниже приведена психрометрическая таблица, в которой влажность указана в процентах.

Психрометрическая таблица

t сух. терм	Разность показаний сухого и влажного термометров								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44



Относительная влажность воздуха в помещении, в котором проводилась съемка, равна

1. 37%
2. 40%
3. 48%
4. 59%

# Источники

- <http://fizika-doma.ru/>
- <http://fizika.hut.ru/designation.php>
- <http://www.physbook.ru/index.php/>
- ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА. Класс!ная физика для любознательных //[Электронный ресурс]//  
[http://class-fizika.narod.ru/8\\_16.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_16.htm);