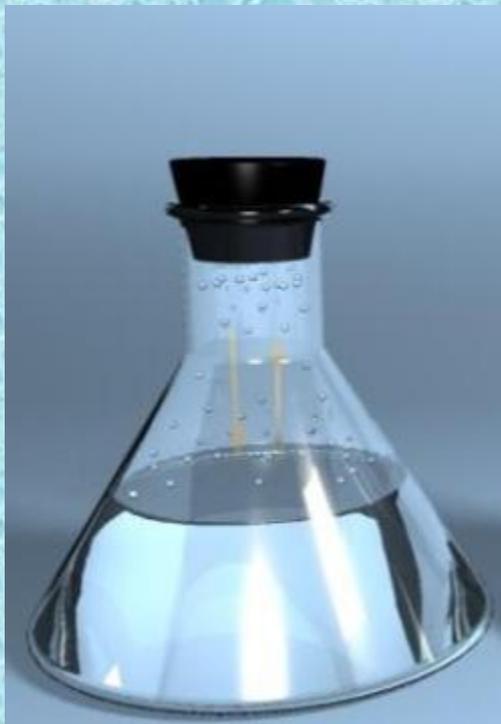


# Насыщенный пар.

## Влажность воздуха.



Вода занимает около 70,8 % земного шара.  
Живые организмы содержат от 50 до 99,7 % воды.  
В атмосфере находится около 13-15 тыс. куб. км воды.

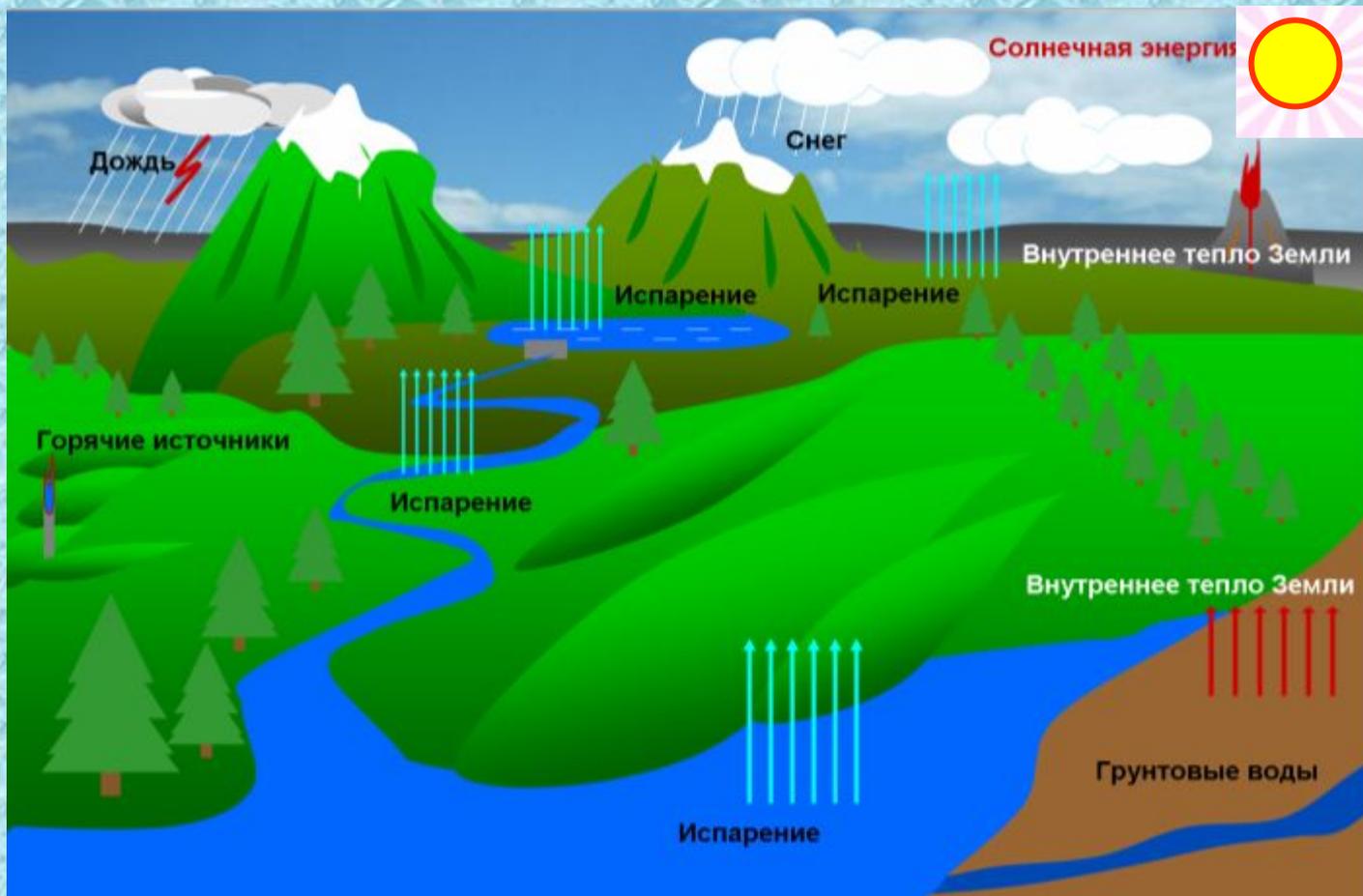


**Источники водяного пара** в атмосфере: испарение воды с поверхности океанов, морей, водоемов, влажной почвы, растений.

**Влажность** - это мера, характеризующая содержание водяных паров в воздухе.

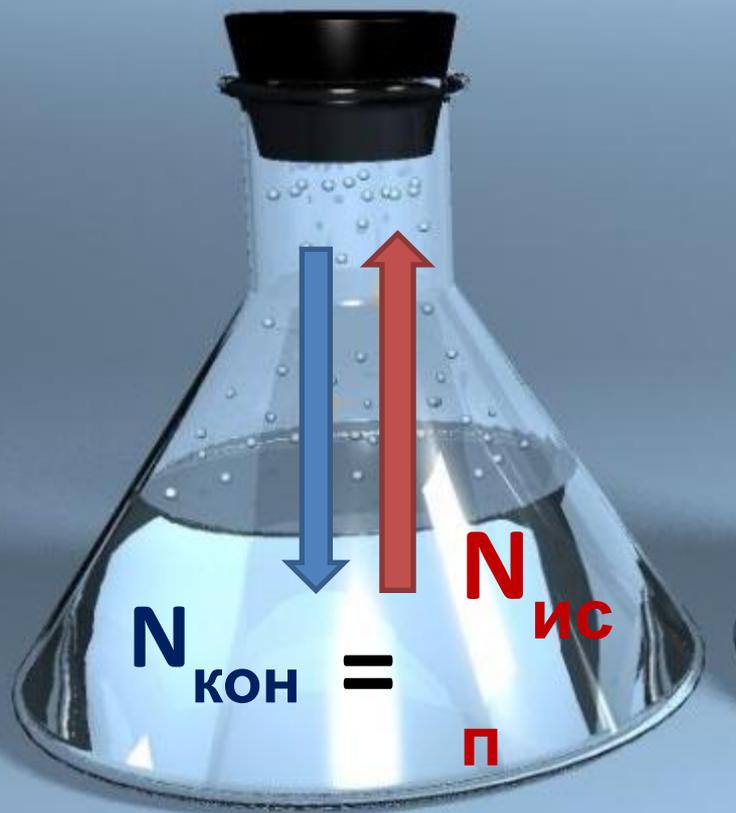


Важной характеристикой состояния атмосферы является влажность воздуха или, что то же самое, степень насыщения воздуха водяными парами.



Перемещение воздушных масс в атмосфере Земли приводит к тому, что в одних местах нашей планеты на данный момент испарение воды преобладает над конденсацией, а в других, наоборот, преобладает конденсация.

# Рассмотрим процессы, происходящие в закрытом сосуде



Пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называется

**НАСЫЩЕННЫМ**

Процесс испарения, скорость которого постепенно уменьшается

Процесс конденсации, скорость которого постепенно возрастает

С течением времени в сосуде устанавливается динамическое равновесие

(число молекул  $N_{\text{исп}}$ , покидающих жидкость в единицу времени, равно числу молекул  $N_{\text{кон}}$ , возвращающихся в жидкость)

В зависимости от количества паров, находящихся при данной температуре в атмосфере, воздух бывает различной степени влажности.

**Абсолютная влажность** ( $\rho$ ) показывает сколько граммов водяного пара содержится в воздухе объемом  $1 \text{ м}^3$  при данных условиях, т. е. плотность водяного пара.



Степень влажности воздуха выражается отношением содержания водяных паров в воздухе к их содержанию при насыщении воздуха при данной температуре. Поэтому правильнее говорить не просто о влажности, а об относительной влажности.

**Относительная влажность** ( $\varphi$ ) — это отношение плотности водяного пара ( $\rho$ ), содержащегося в воздухе, к плотности насыщенного пара ( $\rho_0$ ) при данной температуре, выраженное в процентах.

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

**Относительная влажность** показывает насколько близок или далёк водяной пар от насыщения.



# ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

## АБСОЛЮТНАЯ

$\rho$  - количество водяного пара, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> воздуха, т.е.

**ПЛОТНОСТЬ ВОДЯНОГО пара.**

$$\rho = \frac{MP}{RT}$$

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы другие газы отсутствовали, называют **парциальным давлением водяного пара**

## ОТНОСИТЕЛЬНАЯ

$\varphi$  - относительная влажность воздуха - показывает, как далек пар от насыщения (%)

$$\varphi = \frac{P_n}{P_{н.п.}} \cdot 100\%$$

отношение парциального давления **P** п водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению **P** н.п. насыщенного пара при той же температуре, выраженной в процентах.

# Точка росы



Сухость или влажность воздуха зависит от того, насколько близок его водяной пар к насыщению.

Если влажный воздух охладить, то находящийся в нем пар можно довести до насыщения, и далее он будет конденсироваться.



Признаком того, что пар насытился является появление первых капель сконденсировавшейся жидкости - **росы**.

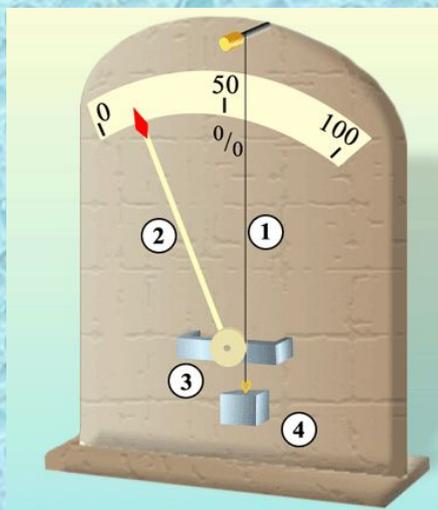


Температура, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным, называется **точкой росы**.

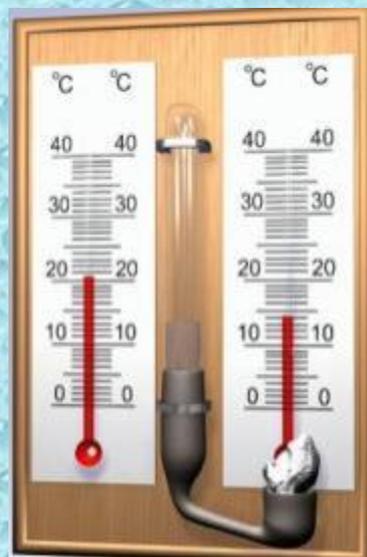


# Приборы для определения относительной влажности воздуха

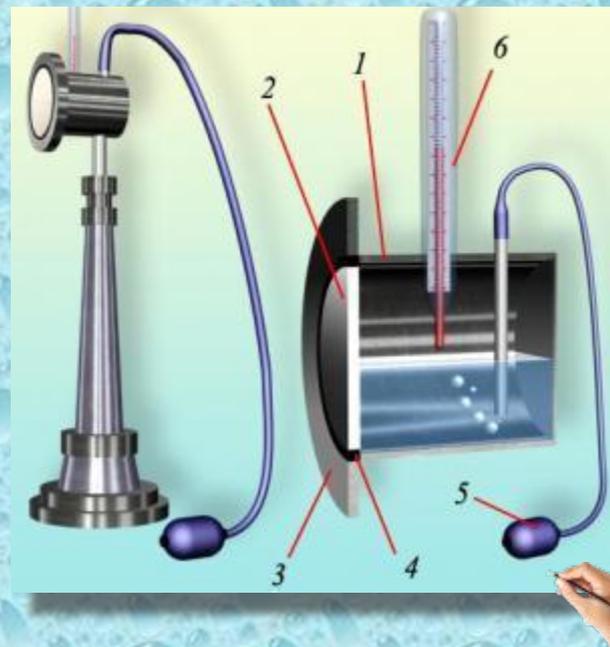
Волосной  
гигрометр



Психрометр



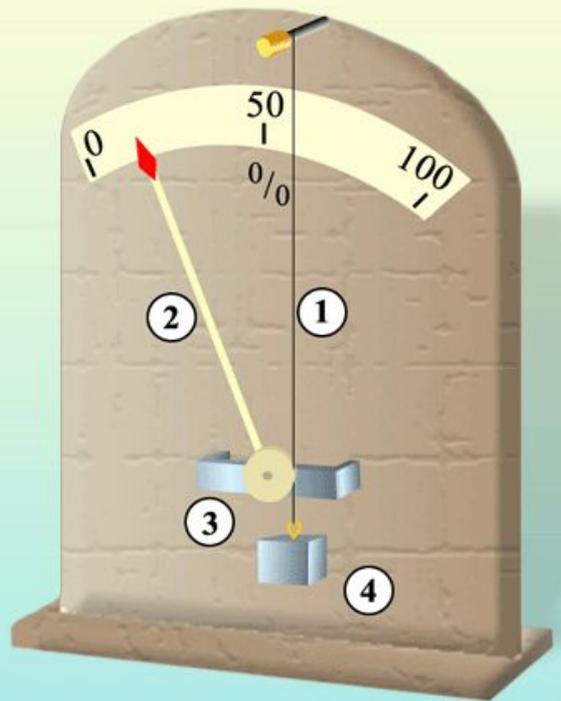
Конденсационный  
гигрометр



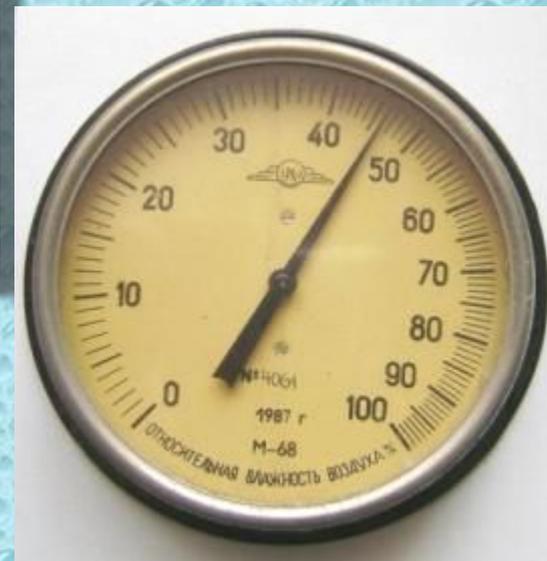
# Волосной гигрометр



- 1 - волос
- 2 - стрелка
- 3 - ролик
- 4 - груз

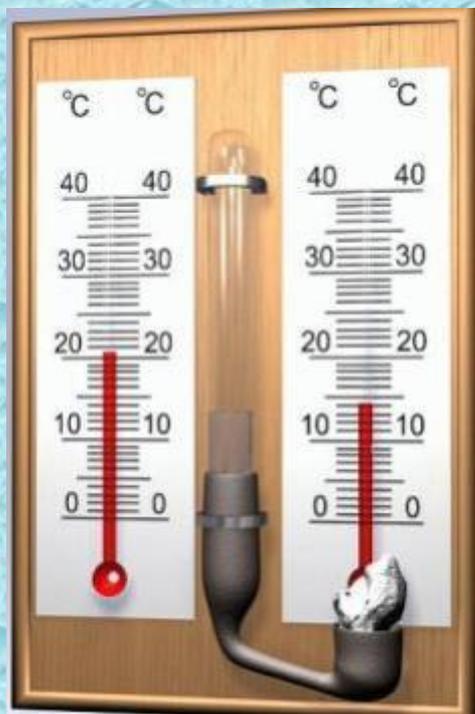


Принцип действия волосного гигрометра основан на свойстве обезжиренного волоса (человека или животного) **изменять свою длину в зависимости от влажности воздуха**, в котором он находится.



# Психрометр

В психрометре есть два термометра. Один - обычный, его называют **сухим**. Он измеряет температуру окружающего воздуха. Колба другого термометра обмотана тканевым фитилем и опущена в емкость с водой. Второй термометр показывает не температуру воздуха, а **температуру влажного фитиля**, отсюда и название **увлажненный термометр**.



Показания сухого термо- метра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометра, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	—	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—	—
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—	—
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37

Мокрый термометр служит для определения температуры предела охлаждения воздуха при испарении. По сухому термометру определяют температуру воздуха. Разность показаний сухого и мокрого термометров ( $t_y - t_m$ ) называется **психрометрической разностью**.

**Порядок наблюдений по психрометру:**

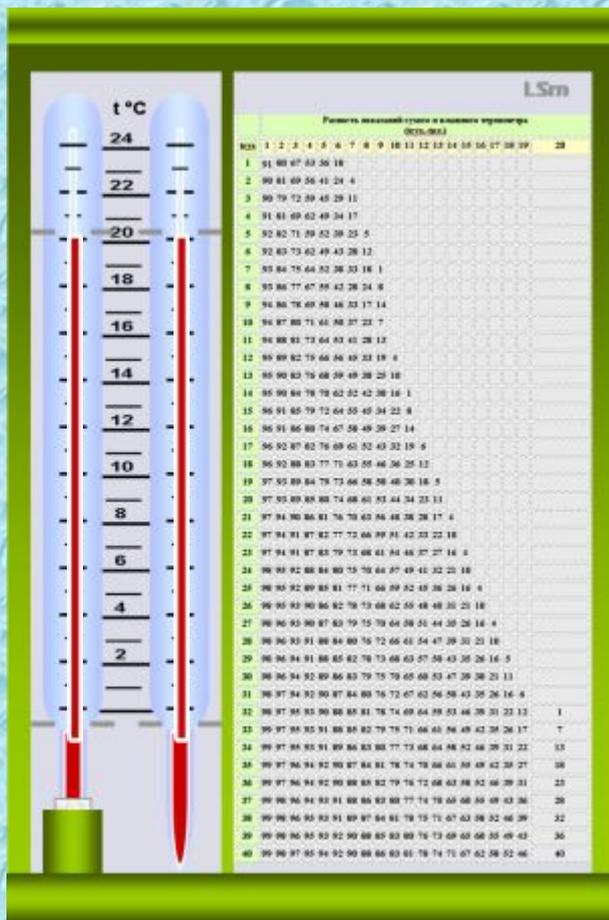
1. За 5 минут до срочного часа смачивают ткань на термометре. Для этого берут дистиллированную воду. За неимением таковой можно пользоваться чистой снеговой водой или использовать дождевую воду, предварительно пропущенную через фильтровальную бумагу или вату.

2. Через 4 минуты производят отсчет сухого и смоченного термометров психрометра.

**Наблюдения по психрометру при температуре воздуха около нуля имеют следующие особенности:**

1. Ткань в этом случае смачивают за 30 минут до наступления срока наблюдения.

2. После отсчета термометров определяется состояние ткани – «лед» или «вода». Для этой цели неотточенным концом карандаша или тонкой деревянной палочкой осторожно касаются лоскутка ткани на смоченном термометре и в зависимости от того, мягкая или твердая



Сухой термометр

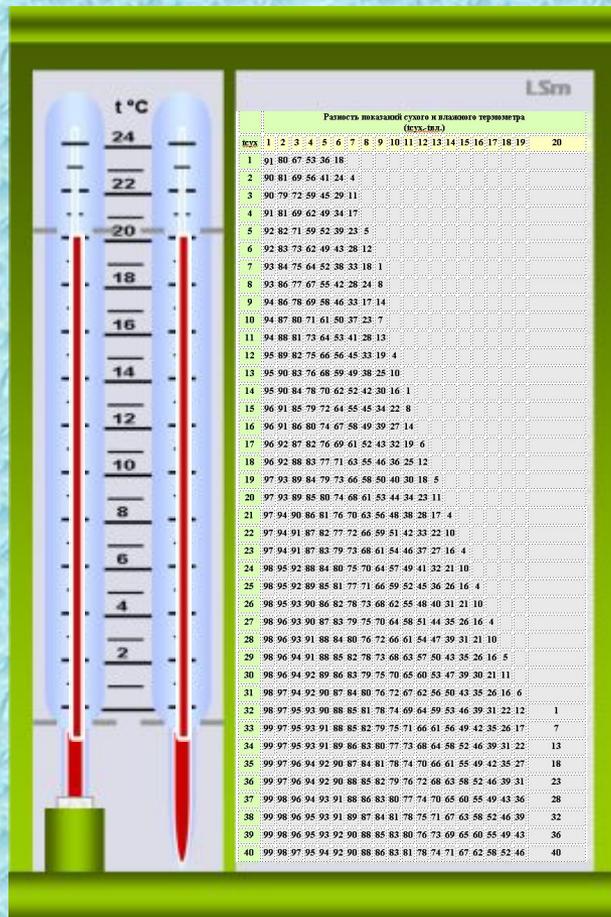
Влажный термометр

Марля

Сосуд с водой

Психрометрическая таблица

Относительную влажность воздуха  $\phi$  определяют психрометром, используя психрометрические таблицы (в которых влажность воздуха  $\phi$  находят на пересечении вертикальных и горизонтальных граф, соответствующих значениям  $t_c$  и  $t_c - t_M$ ).



— Сухой термометр

— Влажный термометр

— Марля

— Сосуд с водой

Разность показаний сухого и влажного термометра (t <sub>сух.</sub> -t <sub>вд.</sub> )																				
t <sub>сух.</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	91	80	67	53	36	18														
2	90	81	69	56	41	24	4													
3	90	79	72	59	45	29	11													
4	91	81	69	62	49	34	17													
5	92	82	71	59	52	39	23	5												
6	92	83	73	62	49	43	28	12												
7	93	84	75	64	52	38	33	18	1											
8	93	86	77	67	55	42	28	24	8											
9	94	86	78	69	58	46	33	17	14											
10	94	87	80	71	61	50	37	23	7											
11	94	88	81	73	64	53	41	28	13											
12	95	89	82	75	66	56	45	33	19	4										
13	95	90	83	76	68	59	49	38	25	10										
14	95	90	84	78	70	62	52	42	30	16	1									
15	96	91	85	79	72	64	55	45	34	22	8									
16	96	91	86	80	74	67	58	49	39	27	14									
17	96	92	87	82	76	69	61	52	43	32	19	6								
18	96	92	88	83	77	71	63	55	46	36	25	12								
19	97	93	89	84	79	73	66	58	50	40	30	18	5							
20	97	93	89	85	80	74	68	61	53	44	34	23	11							
21	97	94	90	86	81	76	70	63	56	48	38	28	17	4						
22	97	94	91	87	82	77	72	66	59	51	42	33	22	10						
23	97	94	91	87	83	79	73	68	61	54	46	37	27	16	4					
24	98	95	92	88	84	80	75	70	64	57	49	41	32	21	10					
25	98	95	92	89	85	81	77	71	66	59	52	45	36	26	16	4				
26	98	95	93	90	86	82	78	73	68	62	55	48	40	31	21	10				
27	98	96	93	90	87	83	79	75	70	64	58	51	44	35	26	16	4			
28	98	96	93	91	88	84	80	76	72	66	61	54	47	39	31	21	10			
29	98	96	94	91	88	85	82	78	73	68	63	57	50	43	35	26	16	5		
30	98	96	94	92	89	86	83	79	75	70	65	60	53	47	39	30	21	11		
31	98	97	94	92	90	87	84	80	76	72	67	62	56	50	43	35	26	16	6	
32	98	97	95	93	90	88	85	81	78	74	69	64	59	53	46	39	31	22	12	1
33	99	97	95	93	91	88	85	82	79	75	71	66	61	56	49	42	35	26	17	7
34	99	97	95	93	91	89	86	83	80	77	73	68	64	58	52	46	39	31	22	13
35	99	97	96	94	92	90	87	84	81	78	74	70	66	61	55	49	42	35	27	18
36	99	97	96	94	92	90	88	85	82	79	76	72	68	63	58	52	46	39	31	23
37	99	98	96	94	93	91	88	86	83	80	77	74	70	65	60	55	49	43	36	28
38	99	98	96	95	93	91	89	87	84	81	78	75	71	67	63	58	52	46	39	32
39	99	98	96	95	93	92	90	88	85	83	80	76	73	69	65	60	55	49	43	36
40	99	98	97	95	94	92	90	88	86	83	81	78	74	71	67	62	58	52	46	40

**Пример 1. Дано:** температура сухого термометра равна  $22^{\circ}\text{C}$ , мокрого -  $16^{\circ}\text{C}$ .  
Найти относительную влажность воздуха ( $\varphi$ ).

**Решение.** Определяем величину психрометрической разности  $(t_c - t_m) = 22^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C} = 6^{\circ}\text{C}$ .

Находим в таблице значение температуры сухого термометра  $22^{\circ}\text{C}$  и перемещаемся по горизонтали до пересечения со столбцом, соответствующим психрометрической разности  $6^{\circ}\text{C}$ .

Стоящая на этом пересечении цифра **54** и есть относительная влажность

Воздух в % сухого термометр а	Разность показаний сухого и влажного термометров, $^{\circ}\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_c$	Относительная влажность %										
12	100	89	78	68	57	48		29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49		31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51		34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52		36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54		37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55		39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56		41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58		43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59		44	37	30	24
<b>22</b>							<b>54</b>	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	

**Пример 2. Дано:** температура сухого термометра равна 24°C, относительная влажность воздуха 62%. Найти температуру мокрого термометра.

**Решение.** Находим по таблице значение температуры сухого термометра (24°C).

От найденного в таблице значения температуры по вертикали до заданной цифры относительной влажности 62%.

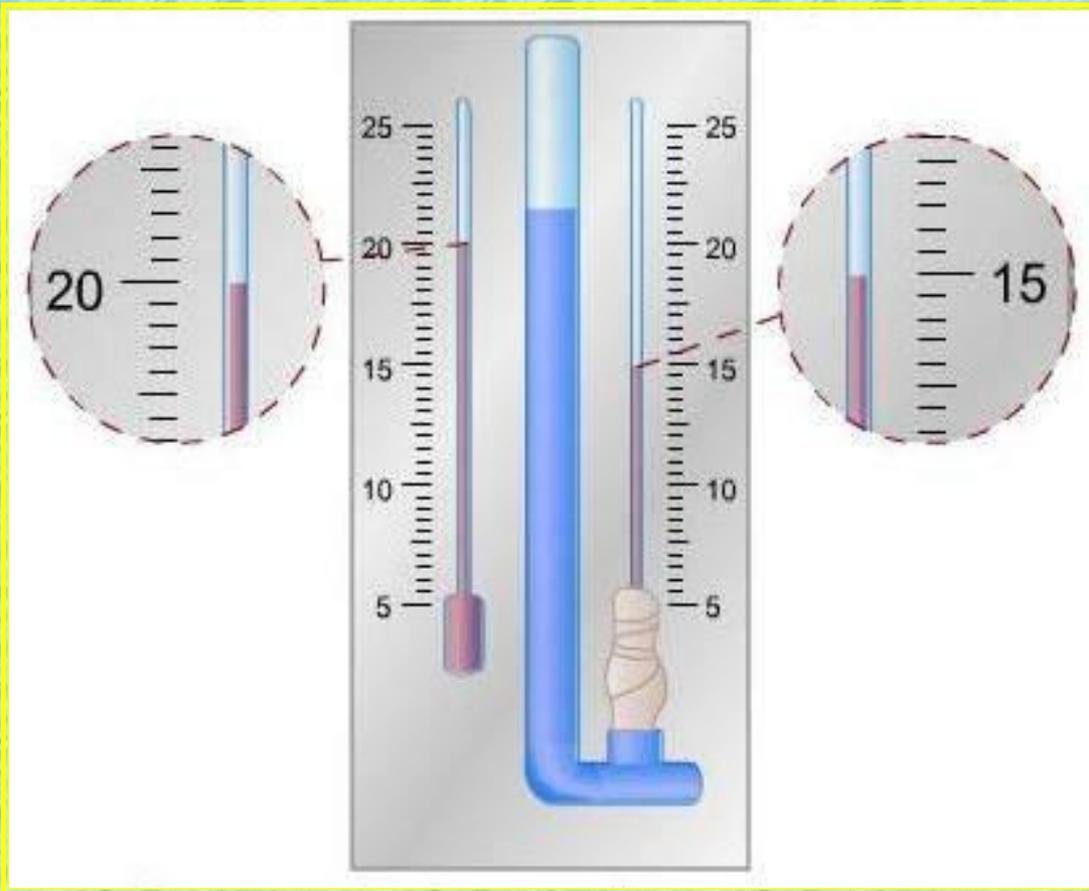
Психрометрическая разность равна 5°C.

Температура мокрого термометра равна  $t_M = 24^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}$

**= 19°C**

Показания сухого термометра t <sub>с</sub>	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
12	100	89	78	68	57		38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59		40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60		42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61		44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62		46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64		47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65		49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65		50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66		51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67		52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68		54	47	40	34	28
<b>24</b>						<b>62</b>	55	48	42	36	
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	

# Психрометр



Ответьте на следующие вопросы:

1. По психрометру определите, чему равна температура воздуха?

**Ответ: 20°C**

2. Какую температуру показывает влажный термометр?

**Ответ: 15°C**

3. Пользуясь «Психометрической таблицей», определите относительную влажность воздуха.

**Ответ: 59 %**

# Определить относительную влажность по следующим данным:

показания сухого термометра  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$

показания влажного термометра  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Значение влажности  
влияет на:**

**Самочувствие  
человека**

**Предсказание  
погоды в  
метеорологии**

**Течение процессов в  
ткацком, кондитерском,  
печатном и других  
производствах**

**Хранение произведений  
искусства, книг,  
музыкальных  
инструментов**



# Зона комфорта для человека.

влажность

Для понижения

- Кондиционеры
- Осушители

60%

Для человека  
благоприятная  
относительная влажность  
воздуха 40 – 60%.



Зона комфорта

Для повышения

- Увлажнители

40%

20 °  
С

25 °  
С

температура



# Интересные явления, связанные с водяным паром в воздухе.

**Облака** — взвешенные в атмосфере продукты конденсации водяного пара, видимые на небе с поверхности земли.

Облака состоят из мельчайших капель воды и/или кристаллов льда (называемых *облачными элементами*). Капельные облачные элементы наблюдаются при температуре воздуха в облаке выше  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; от  $-10$  до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  облака имеют смешанный состав (капли и кристаллы), а при температуре в облаке ниже  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  — кристаллические.



# Интересные явления, связанные с водяным паром в воздухе.

**Туман** – атмосферное явление, скопление в воздухе мельчайших продуктов конденсации водяного пара (при температуре воздуха выше  $-10^{\circ}$  это мельчайшие капельки воды, при  $-10...-15^{\circ}$  – смесь капелек воды и кристалликов льда, при температуре ниже  $-15^{\circ}$  – кристаллики льда, сверкающие в солнечных лучах или в свете луны и фонарей).

Относительная влажность воздуха при туманах обычно близка к 100 % (по крайней мере, превышает 85-90 %).



# Интересные явления, связанные с водяным паром в воздухе.

**Роса** – вид атмосферных осадков, образующихся на поверхности земли, растениях, предметах, крышах зданий, автомобилях и других предметах.

Из-за охлаждения воздуха водяной пар конденсируется на объектах вблизи земли и превращается в капли воды. Это происходит обычно ночью. В пустынных регионах роса является важным источником влаги для растительности.



# Интересные явления, связанные с водяным паром в воздухе.

**Иней** – один из видов нарастающих твёрдых атмосферных осадков. Представляет собой тонкий слой кристаллического льда различной мощности. Кристаллы инея при слабых морозах имеют форму шестиугольных призм, при умеренных – пластинок, а при сильных – тупоконечных игл. Иней образуется путём десублимации водяного пара из воздуха на различных поверхностях.



# Интересные явления, связанные с водяным паром в воздухе.

## Эффект Прандтля – Глоерта

явление, заключающееся в возникновении облака позади объекта, летящего на околосвуковой скорости в условиях повышенной влажности воздуха. Чаще всего наблюдается у самолётов. При очень высокой влажности этот эффект возникает также при полётах на меньших скоростях.



# Интересные явления, связанные с водяным паром в воздухе.

**Паргелий** (от др.-греч. пара- и ἥλιος «солнце» – ложное солнце) – один из видов гало, выглядит как светлое радужное пятно на уровне солнца. Возникает вследствие преломления солнечного света в анизотропно ориентированных кристалликах льда, парящих в атмосфере.



# Подумайте!

1. Является ли насыщенным пар над поверхностью туалетной воды в закрытом флаконе при постоянной температуре?

2. Что легче: сухой воздух объемом 1 куб.м или влажный воздух тоже объемом 1 куб.м?

3. Почему может возникнуть ощущение изнурительной жары при температуре воздуха  $25^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 80–90%, в то время как при температуре  $30^{\circ}\text{C}$  и влажности 30% самочувствие может быть хорошим?

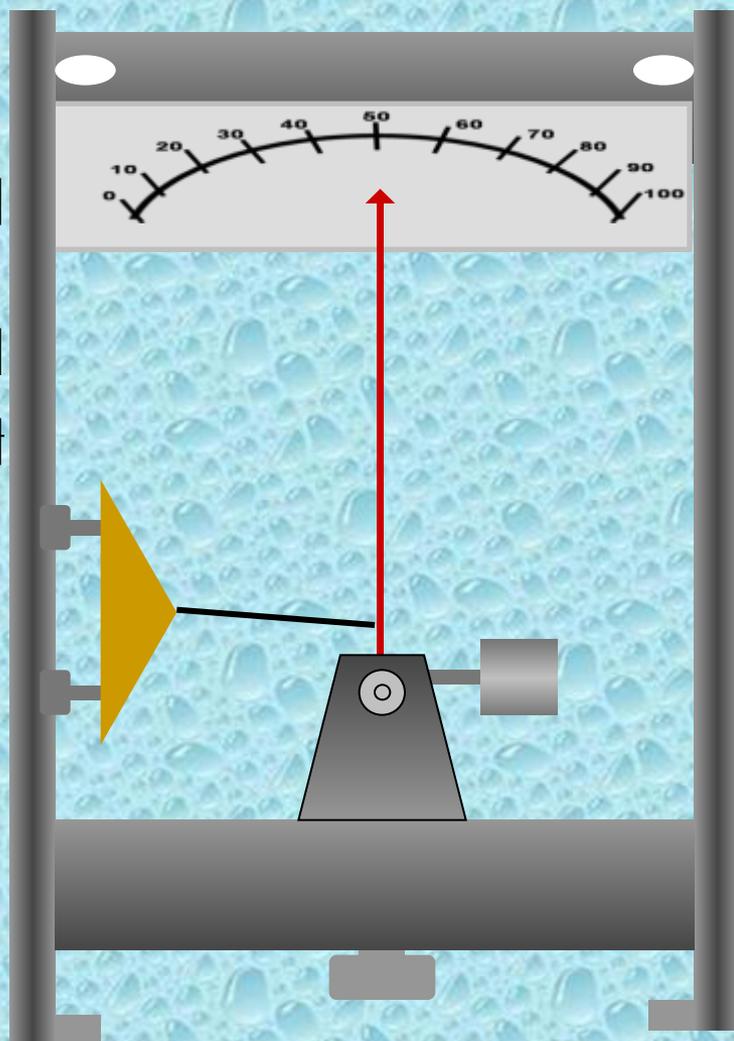
# Итоги урока

Газ, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью, называют насыщенным паром этой жидкости. Давление, при котором газ переходит в жидкое состояние при данной температуре, называют давлением насыщенного пара.

Давление насыщенного пара увеличивается с ростом температуры, причем зависимость эта, в отличие от идеального газа, нелинейная. Когда ненасыщенный пар охлаждается до определенной температуры, называемой точкой росы, пар становится насыщенным. При дальнейшем охлаждении насыщенного пара происходит его конденсация.

Относительная влажность воздуха определяется отношением парциального давления содержащегося в воздухе водяного пара к давлению насыщенного пара при той же температуре.

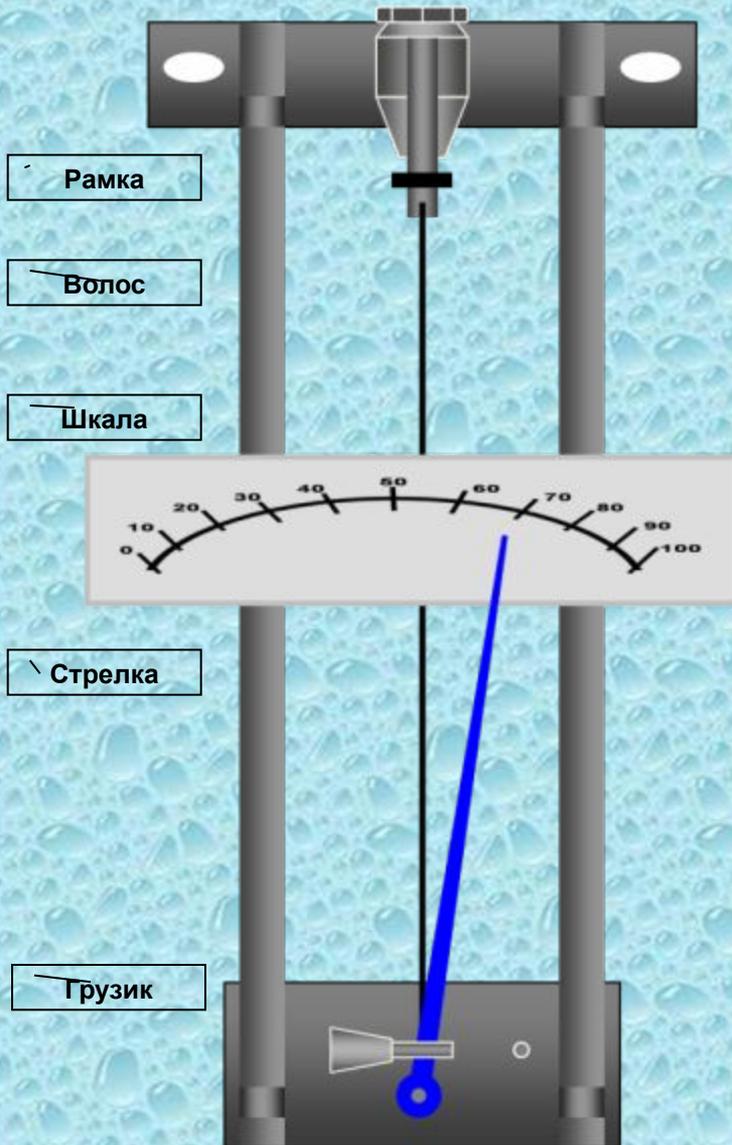
# Пленочный гигрометр



**Пленочный гигрометр** имеет чувствительный элемент из органической пленки, которая растягивается при повышении влажности и сжимается при понижении. Изменение положения центра пленочной мембраны передаётся стрелке.

# Волосной гигрометр

Действие **волосного гигрометра** основано на свойстве обезжиренного волоса человека или животного (обычно конский волос) изменять свою длину при изменении влажности воздуха, что позволяет измерять относительную влажность от 30 до 100 %. Волос натянут на металлическую рамку. К концу волоса прицеплен груз, при изменении длины он поворачивает блок со стрелкой. Конiec стрелки показывает относительную влажность по шкале.



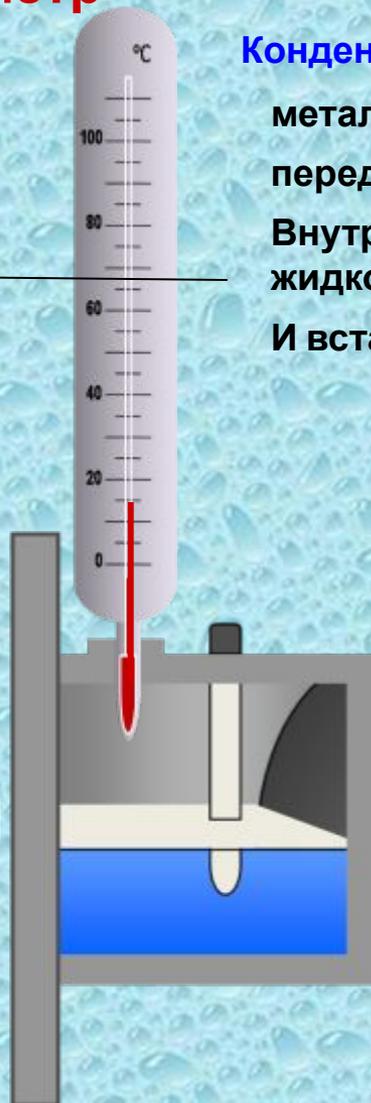
# Конденсационный гигрометр

Конденсационный гигрометр представляет собой:  
металлическую коробку,  
передняя стенка которой хорошо отполирована.  
Внутри коробки наливают легко испаряющуюся  
жидкость — эфир.  
И вставляют термометр.

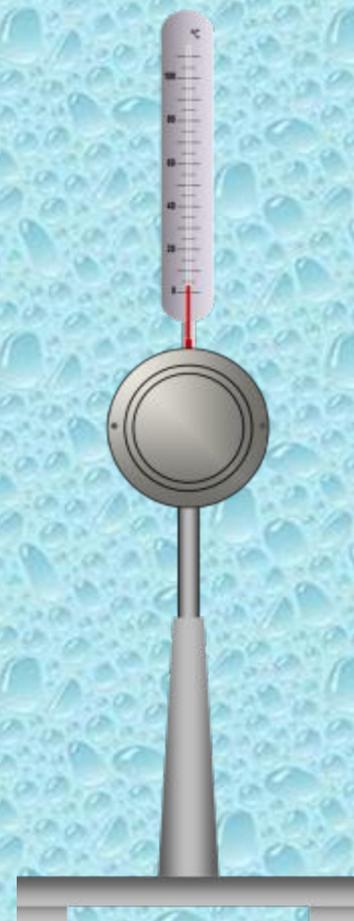
Термометр

Металлическая коробка

Передняя стенка коробки



Легко испаряющаяся  
жидкость



**Предупреждение!!! В школе использование эфира запрещено!!!**

По термометру замечают температуру, при которой появляются капельки росы на полированной поверхности стенки.

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.

Пропуская через коробку воздух с помощью резиновой груши, вызывают сильное испарение эфира и быстрое охлаждение коробки.

**Появление росы указывает, что водяной пар стал насыщенным. Зная температуру воздуха и точку росы, можно найти парциальное давление водяного пара и относительную влажность.**



**Предупреждение!!! В школе использование эфира запрещено.**

Зная точку росы, можно определить давление водяных паров и абсолютную и относительную влажность воздуха.

Например, точка росы равна 10° С, а температура воздуха равна 20 °С. Из таблицы находим, что при 10 °С давление насыщенного пара равно 9,21 мм рт. ст., а в 1 м<sup>3</sup> содержится 9,4 г воды в виде пара. При 20°С давление насыщенного пара было бы равно 17,54 мм рт. ст. Следовательно, относительная влажность воздуха равна  $\varphi = (9,21 : 17,54) \cdot 100 = 52,6 \%$ .

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

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{ мм рт. ст.}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{ мм рт. ст.}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$
-30	0,28	0,33	12	10,52	10,7
-28	0,35	0,41	14	11,99	12,1
-26	0,43	0,51	16	13,63	13,6
-24	0,52	0,60	18	15,48	15,4
-22	0,64	0,73	20	17,54	17,3
-20	0,77	0,88	22	19,83	19,4
-18	0,94	1,05	24	22,38	21,8
-16	1,13	1,27	26	25,21	24,4
-14	1,36	1,51	28	28,35	27,2
-12	1,63	1,80	30	31,82	30,3
-10	1,95	2,14	32	35,66	33,9
-8	2,32	2,54	34	39,90	37,6
-6	2,76	2,99	36	44,56	41,8
-4	3,28	3,51	38	49,69	46,3
-2	3,88	4,13	40	55,32	51,2
0	4,58	4,84	50	92,5	83,0
2	5,29	5,60	60	149,4	130
4	6,10	6,40	70	233,7	198
6	7,01	7,3	80	355,1	293
8	8,05	8,3	90	525,8	424
10	9,21	9,4	100	760,0	



## Практическая работа «Определение относительной влажности воздуха в кабинете физики с помощью психрометра.

**Цель работы:** определить относительную влажность воздуха в кабинете.

**Оборудование:** термометр демонстрационный, термометр лабораторный, стакан с водой комнатной температуры, кусок марли, психрометрическая таблица.

**Указания к работе.**

1. С помощью демонстрационного термометра измерьте температуру воздуха в классе ( $t_{\text{сух}}$ ).
2. Оберните резервуар термометра лабораторного марлей так, чтобы кончик ткани свободно свисал вниз, и закрепите его ниткой.
3. Держа термометр за его верхний край, опустите свисающую часть ткани в воду. Вода должна смочить ткань. При этом резервуар термометра должен оставаться выше уровня воды в стакане.
4. Наблюдая за показаниями термометра, запишите самое низкое показание термометра, это значит  $t_{\text{влаж}}$ .
5. Результаты измерений занесите в таблицу.

$t_{\text{сухого}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{влажного}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{сухого}} - t_{\text{влажного}}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, $\varphi$ , %

6. С помощью психрометрической таблицы определите относительную влажность воздуха в классе.

7. Соответствует ли полученное значение СанПиН?