



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

В.В. Борисовский

СВОЙСТВА ПАРОВ (теория и практика)

Учебное пособие
для студентов всех направлений
очной и заочной форм обучения

Рубцовск 2014

УДК 530.1

Борисовский В.В. Свойства паров (теория и практика): Учебное пособие для студентов всех направлений очной и заочной форм обучения/ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014.- 35 с.

Пособие представляет собой краткую теорию процессов испарения и конденсации при взаимных превращениях жидкостей и газов. Приведенные практические примеры из повседневной жизни, природы и техники рассматривают свойства паров в различных процессах образования.

Пособие предназначено для студентов всех направлений и может быть использовано старшеклассниками и преподавателями физики.

Рассмотрено и одобрено на заседании
НМС Рубцовского индустриального
института
Протокол № 6 от 01.09.2014г.

Рецензент:

к.т.н., доцент П.А. Люкшин

© Рубцовский индустриальный институт, 2014

Содержание

I. Пар и его свойства	4
2. Кипение	5
3. Насыщенный и ненасыщенный пар	5
4. Влажность воздуха	6
5. Относительная влажность	7
II. Вопросы и задачи	10
III. Подсказки	20
IV. Ответы	22

I. Пар и его свойства

Пар, вещество в газообразном состоянии, в условиях, когда оно может находиться в равновесии с тем же веществом, но в конденсированном состоянии (жидком или твердом), то есть пар – это газ, образующийся над поверхностью жидкости (или твердого тела) при ее (его) испарении. Явление же испарения состоит в том, что часть молекул жидкости (или твердого тела) покидает ее (его); срывается с ее поверхности. Эти-то покинувшие поверхность молекулы и образуют над ней пар, ничем не отличающийся от газа.

1.1. Испарение и конденсация пара

Явление перехода вещества в пар называется *парообразованием*. Этот процесс происходит путем испарения и кипения жидкости. Парообразование с открытой поверхности жидкости называется *испарением*. Испаряются также и твердые тела. Испарение твердых тел называется *возгонкой*, или *сублимацией*.

Парообразование происходит вследствие непрерывного хаотичного движения молекул, в результате которого молекулы, которые находятся вблизи поверхности, в процессе беспорядочного теплового движения приобретают кинетическую энергию, достаточную для совершения работы по преодолению сил молекулярного притяжения со стороны поверхностного слоя жидкости. При этом одновременно происходит и обратный процесс, так как некоторые молекулы пара, совершая беспорядочное движение, сталкиваясь друг с другом, попадают в сферу притяжения молекул жидкости и возвращаются в нее.

Таким образом, молекулы постоянно вылетают из жидкости и возвращаются в нее. Если преобладает первый процесс, то жидкость испаряется, если второй – пар конденсируется. Поскольку с поверхности вылетают наиболее быстрые молекулы, то при испарении жидкости без притока тепла извне средняя скорость хаотичного движения молекул уменьшается и, следовательно, жидкость охлаждается. Чтобы температура жидкости при испарении не менялась, необходимо подводить теплоту:

$$Q = r \cdot m, \quad (1.1)$$

где m – масса испаряющейся жидкости, r – удельная теплота испарения (парообразования).

Испарение жидкости происходит при любой температуре, но при более высокой температуре испаряется большее число молекул. Интенсивней происходит испарение с большей свободной поверхности.

При конденсации пара средняя скорость хаотичного движения молекул жидкости возрастает и жидкость нагревается. Количество теплоты, которое было затрачено на испарение жидкости, равно количеству теплоты, отдаваемой паром при его конденсации.

1.2. Кипение

Процесс испарения может происходить не только с поверхности жидкости, но и внутри жидкости. В воде (а также любой другой жидкости) всегда имеется некоторое количество растворенного воздуха или какого-либо газа. При нагревании жидкости растворенные в ней газы начинают выделяться в виде пузырьков. Внутри этих пузырьков и идет испарение. Заполненные воздухом и паром пузырьки, увеличиваются в размерах и становятся более многочисленными.

Когда пузырек делается достаточно большим, действующая на него выталкивающая (архимедова) сила со стороны воды заставляет его оторваться от дна. Поднимающийся пузырек, попадая в верхние, более холодные слои воды, уменьшается в размере, так как содержащийся в нем пар конденсируется. Давление стремительно падает, и пузырек захлопывается. Захлопывание происходит настолько быстро, что стенки пузырька, сталкиваясь, производят нечто вроде маленького взрыва. Множество таких микровзрывов создает характерный шум. Закипающая вода шумит. Такое кипение называется внутренним.

Когда вода прогреется достаточно по всему объему, поднимающиеся пузырьки уже не будут уменьшаться в размерах и достигают поверхности, выбрасывая пар во внешнее пространство. Шум при этом прекращается, и начинается «бульканье» - вода закипает.

Таким образом, *кипение – это переход жидкости в пар, происходящий с образованием пузырьков пара по всему объему жидкости или на поверхности сосуда*. При температуре 100°C давление водяного пара внутри пузырьков равно нормальному атмосферному давлению, поэтому кипение воды происходит при 100°C . При понижении внешнего давления (например, высоко в горах) температура кипения жидкости понижается, при повышении - увеличивается. Температура в процессе кипения не изменяется, пока вся вода не выкипит.

1.3. Насыщенный и ненасыщенный пар

Если жидкость находится в закрытом сосуде и вначале над ней нет пара, то до некоторого момента количество молекул, покидающих поверхность жидкости, превышает количество возвращающихся частиц, то есть количество пара над жидкостью будет увеличиваться. Пар, находящийся над жидкостью, в этом случае называется *ненасыщенным*, так как может происходить дальнейшее испарение в заполненное паром пространство. Через некоторое время в пространстве над жидкостью окажется столько молекул, что установится равновесие между количеством молекул, вылетающих из жидкости, и молекул, возвращающихся в нее. Такое равновесие называется *динамическим*, а пар над жидкостью – *насыщенным*.

Ненасыщенный пар, как и газ, подчиняется законам идеальных газов. С увеличением количества пара над поверхностью жидкости при неизменной температуре давление его увеличивается. Давление будет максимальным тогда, когда пар становится при данной температуре насыщенным. Если при неизмен-

ной температуре объем, занимаемый насыщенным паром, уменьшить, то часть молекул перейдет в жидкость. При увеличении объема насыщенного пара концентрация его молекул уменьшится, и часть жидкости испарится. Таким образом, при любом изменении объема при неизменной температуре концентрация насыщенного пара останется постоянной независимо от объема. Так как давление газа пропорционально концентрации и температуре ($p = nkT$), давление насыщенного пара при постоянной температуре не зависит от объема. Давление и плотность насыщенного водяного пара при различных значениях температуры приведено в таблице 1.

Таблица 1

t, °С	p_n , кПа	ρ , г/м ³	t, °С	p_n , кПа	ρ , г/м ³
-20	0,106	0,9	13	1,493	11,4
-10	0,233	2,1	14	1,600	12,1
-5	0,400	3,2	15	1,707	12,8
-1	0,560	4,5	16	1,813	13,6
0	0,613	4,8	17	1,933	14,5
1	0,653	5,2	18	2,066	15,4
2	0,707	5,6	19	2,200	16,3
3	0,760	6,0	20	2,333	17,3
4	0,813	6,4	21	2,493	18,4
5	0,867	6,8	22	2,693	19,6
6	0,933	7,3	23	2,813	20,7
7	1,000	7,8	24	2,986	21,8
8	1,067	8,3	25	3,133	23,0
9	1,147	8,8	30	4,240	30,3
10	1,226	9,4	50	12,330	83,0
11	1,306	10,0	80	47,343	293,0
12	1,400	10,7	100	101,325	598,0

Интенсивность процесса испарения увеличивается с возрастанием температуры жидкости. Поэтому динамическое равновесие между испарением и конденсацией при повышении температуры устанавливается при больших концентрациях молекул газа.

1.4. Влажность воздуха

Несмотря на огромные поверхности океанов, морей, озер и рек, водяной пар в воздухе не является насыщенным: атмосфера – «открытый сосуд». Перемещение воздушных масс приводит к тому, что в одних местах нашей планеты в данный момент испарение преобладает над конденсацией, а в других, наоборот, преобладает конденсация. Содержание водяного пара в воздухе – его влажность – характеризуется рядом величин.

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Каждый из газов вносит свой вклад в суммарное давление, производимое воздухом на находящиеся в нем тела. Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называют **парциальным давлением (или упругостью)** водяного пара. Парциальное давление p водяного пара – один из показателей влажности воздуха. Его выражают в единицах давления – паскалях (Па).

За характеристику влажности воздуха может быть принята также плотность водяного пара ρ , содержащегося в воздухе. Эту величину называют **абсолютной влажностью** и из-за ее малости выражают в граммах на кубический метр. Абсолютная влажность показывает, сколько водяного пара в граммах содержится в 1 м^3 воздуха.

Абсолютная влажность и парциальное давление водяного пара связаны уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \quad \text{или} \quad p = \frac{\rho}{\mu} RT. \quad (1.2)$$

1.5. Относительная влажность

Знание парциального давления (упругости) водяного пара или абсолютной влажности ничего не говорит о том, насколько водяной пар в данных условиях далек от насыщения. А именно от этого зависит интенсивность испарения воды (или конденсация пара) и, следовательно, потеря влаги живыми организмами. От этого же зависит быстрота высыхания тканей, почвы, увядание растений и многое другое. Вот почему вводят величину, показывающую, насколько водяной пар при данной температуре близок к насыщению, - **относительную влажность**.

Относительной влажностью воздуха φ называют выраженное в процентах отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению p_n насыщенного пара при той же температуре:

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

Воспользовавшись уравнением (1.2), можно для относительной влажности получить еще одну формулу:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_n} \cdot 100\%, \quad (1.4)$$

где ρ – абсолютная влажность, ρ_n – плотность насыщенного водяного пара при данной температуре.

Таким образом, для определения относительной влажности необходимо знать парциальное давление или плотность пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, и давление или плотность насыщенного водяного пара при той же температуре. Давление и плотность насыщенного водяного пара при разных температурах находим по табл.1.

Для определения парциального давления и плотности водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, можно применить различные способы.

Один способ основан на определении точки росы. При охлаждении влажного воздуха при постоянном давлении его относительная влажность повышается, так как чем ниже температура, тем ближе парциальное давление пара в воздухе к давлению насыщенного пара. Температура t_p , до которой должен охладиться воздух, чтобы находящийся в нем водяной пар достиг состояния насыщения (при данной влажности воздуха и неизменном давлении), называется **точкой росы**.

Давление насыщенного водяного пара при температуре воздуха, равной точке росы, и есть парциальное давление водяного пара, содержащегося в атмосфере. При охлаждении воздуха до точки росы начинается конденсация паров: появляется туман, выпадает роса.

По точке росы можно определить влажность воздуха, так как она позволяет найти парциальное давление водяного пара и абсолютную влажность с помощью табл.1. Точку росы определяют с помощью прибора, называемого конденсационным гигрометром, который состоит из коробки с полированной поверхностью, термометра и охлаждающего коробку устройства. При охлаждении коробки по термометру замечают температуру, при которой появляются капельки росы на полированной поверхности. Это и есть точка росы, так как появление росы указывает, что водяной пар стал насыщенным.

Определение точки росы – наиболее точный способ измерения относительной влажности.

Действие гигрометра другого типа – волосного – основано на свойстве обезжиренного человеческого волоса удлиняться при увеличении относительной влажности. При помощи волосного гигрометра можно непосредственно измерять относительную влажность воздуха. Волосной гигрометр применяют в тех случаях, когда в определении влажности воздуха не требуется большой точности.

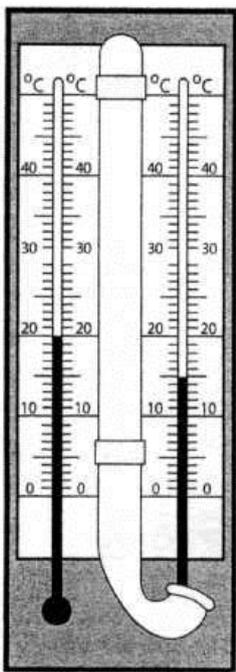


Рис. 1

Кроме конденсационного и волосного гигрометров для измерения относительной влажности применяется психрометр, который состоит из двух термометров. Резервуар одного из них остается сухим, и термометр показывает температуру воздуха. Резервуар другого окружен полоской ткани, конец которой опущен в воду (рис.1). Вода испаряется, и благодаря этому термометр охлаждается. Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идет испарение и тем меньше разность показаний термометра, окруженного полоской влажной ткани, и сухого термометра. При относительной влажности, равной 100%, вода вообще не будет испаряться и показания обоих термометров будут одинаковы. По разности температур термометров с помощью специальной таблицы 2, называемой психрометрической, можно определить относительную влажность. Психрометрами обычно

пользуются в тех случаях, когда требуется достаточно точное и быстрое определение влажности воздуха.

Таблица 2

Показания сухого тер- мометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	81	63	45	28	11	-	-	-	-	-
1	100	83	65	48	32	16	-	-	-	-	-
2	100	84	68	51	35	20	-	-	-	-	-
3	100	84	69	54	39	24	10	-	-	-	-
4	100	85	70	56	42	28	14	-	-	-	-
5	100	86	72	58	45	32	19	6	-	-	-
6	100	86	73	60	47	35	23	10	-	-	-
7	100	87	74	61	49	37	26	14	-	-	-
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	-	-
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	-	-
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	-
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	-
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	-
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	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	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Люди весьма восприимчивы к влажности. От нее зависит интенсивность испарения влаги с поверхности кожи. При высокой влажности, особенно в жаркий день, испарение влаги с поверхности кожи уменьшается и поэтому затрудняется терморегуляция человеческого организма. В сухом воздухе, напротив, происходит быстрое испарение влаги с поверхности кожи, что приводит к вы-

сыханию оболочек дыхательных путей. Наиболее благоприятной для человека является относительная влажность от 40 до 60%.

II. Вопросы и задачи

1. **Сколько пара на Земле?** Воздух всегда соприкасается с какими-нибудь водоемами, а в них при любой температуре найдутся такие молекулы, которые сумеют покинуть жидкость и образовать водяной газ, называемый паром. Очевидно, что чем выше температура воздуха, тем интенсивнее испаряется вода и тем больше водяных паров может содержать единица объема воздуха. В каких широтах больше концентрация водяных паров и как концентрация меняется с высотой?

2. **Полезны или опасны водяные пары?** Хорошо известны полезные свойства воды. Все живые организмы, в том числе организм человека, состоят из воды на 60%. Вода широко используется в быту, промышленности, сельском хозяйстве, медицине. Вода особой чистоты необходима в производстве продуктов питания, полупроводников, люминофоров, в ядерной технике. Как применяют лечебные природные воды, содержащие повышенное количество минеральных солей, газов, некоторых химических элементов? А чем полезны и чем опасны для человека водяные пары?

3. **Испарение с поверхности деревянного изделия.** Из сырого дерева было изготовлено два совершенно одинаковых изделия; одно изделие было покрыто лаком, а второе – нет. Через некоторое время, после высыхания, изделие, покрытое лаком, сохранилось целым, а не покрытое лаком – растрескалось. Почему так произошло?

4. **Вес хлеба.** После выпечки хлеба был определен его вес. На следующий день, когда хлеб остыл, его вес оказался меньше. Почему свежее испеченный хлеб весит больше, чем тот же хлеб остывший?

5. **Сушка белья при осеннем дожде.** На улице весь день моросит холодный осенний дождь. Выстиранное белье, естественно, на улице высушить невозможно, поэтому его развесили в комнате. Высохнет ли белье быстрее, если открыть форточки в окнах?

6. **Купание в жаркий день.** Когда, купаясь в жаркий летний день, вы входите в воду, она кажется холоднее воздуха, а когда выходите из воды, то кажется холоднее воздух. Почему?

7. **Сосуд с пористыми стенками.** В жарких странах напитки помещают в сосуды с пористыми стенками. Почему?

8. **Тепловой удар.** Если вам приходилось в разгар лета заниматься на открытом воздухе какой-либо физической работой, то вы могли бы почувствовать, что ваше тело остается относительно прохладным. При большой физической нагрузке в организме вырабатывается значительное количество тепла – до 6000 Дж в час, и если тело каким-то образом не рассеивало бы это тепло, то его температура могла бы повышаться на 15⁰ в час. Конечно, это очень скоро привело бы к роковым последствиям. Как же рассеивается тепло?

Для одних физическая работа в полуденную жару – невыносимое испытание – жара изматывает вконец. Но некоторые люди способны делать это каждый день без особого утомления. Каким-то образом их организм приспособляется к работе в жару. Что конкретно происходит? Ведь тепло в организме вырабатывается столь же интенсивно, значит, должен как-то меняться механизм рассеяния избыточного тепла.

Следует также заметить, что высокая температура воздуха сравнительно легко переносится при низкой влажности. Почему жару гораздо труднее переносить при высокой влажности?

9. **Мороз при ветре.** В зимний безветренный день любой мороз переносится гораздо легче, чем при ветреной погоде. Не все отчетливо представляют себе причину такого явления. Более низкую температуру при ветре ощущают только живые существа, и человек в том числе. Термометр вообще не опускается ниже, когда его обдувает ветер. Так почему же при ветре человеку кажется, что на улице холоднее, чем на самом деле?

10. **Рыхлый снег – теплоизолятор.** Известно, что рыхлый снег хорошо предохраняет почву от промерзания, потому что в нем заключено много воздуха, который является плохим проводником тепла. Но ведь и к почве, не покрытой снегом, прилегают слои воздуха. Отчего же в таком случае она сильно промерзает?

11. **Вода и спирт при испарении.** Известно, что вода имеет гораздо большую теплоту парообразования, чем спирт. Следовательно, налитая на руку вода, испаряясь, должна сильнее охлаждать руку, чем налитый на руку спирт. В действительности происходит наоборот. В чем здесь дело?

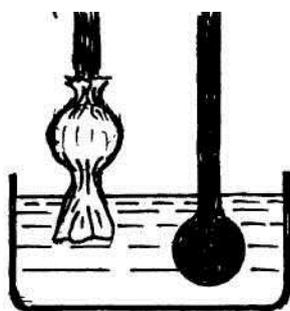


Рис. 2.

12. **Термометры в воде.** Температура предмета, погруженного в холодную воду, казалось бы, должна быть такой же, как и температура предмета, лишь смачиваемого водой той же температуры. На рис.2 изображено два термометра, один из которых погружен в воду, другой находится над водой, но остается влажным, так как его шарик обернут марлей, погруженной в ту же воду.

Почему же погруженный в воду термометр покажет всегда более высокую температуру?

13. **Ожог кожи в воде и в воздухе.** Ожог кожи наступает при соприкосновении ее со средой, имеющей достаточно высокую температуру. Так, если поместить руку на некоторое время в воду с температурой $55-60^{\circ}\text{C}$, то можно получить опасные ожоги. Почему же на воздухе человек может безболезненно переносить жару в $50-60^{\circ}\text{C}$ и даже выше и не получает при этом ожогов?

14. **Вода на полу.** На пол пролита вода. Для того, чтобы как можно быстрее высушить пол, воду растирают по полу. Почему в этом случае пол высыхает быстрее?

15. **Таяние мороженого.** Два одинаковых брикета мороженого положили на стол. На один из них направили прохладную струю воздуха от вентилятора. Какой брикет растает быстрее?

16. **Продукты высыхают в холодильнике.** В холодильнике поддерживается температура $4 \div 6^{\circ} \text{C}$, за исключением холодильной камеры. Если в холодильник положить продукты, содержащие влагу, в неупакованном виде, то через некоторое время они высохнут. Как это происходит?

17. **Кипение без нагревания.** Можно ли заставить воду кипеть без нагревания при комнатной температуре?

18. **Насос и кипящая вода.** Можно ли всасывающим водяным насосом поднять из емкости кипящую воду?

19. **Капля воды в докрасна раскаленной металлической чашке.** Если из сосуда с кипящей водой быстро вылить воду, а затем спустить в него несколько капель холодной воды, то эти капли быстро превратятся в пар. Если же раскалить докрасна металлическую чашку с гладкой блестящей внутренней поверхностью, изготовленную из небольшой, хорошо проводящей теплоту пластинки, то, вероятно, капли еще быстрее с шипением испарятся. Но как ни странно, вместо того, чтобы сразу превратиться в пар, вода остается в чашке в форме сплюсненного шара в течение нескольких минут, пока, наконец, медленно не испарится. Объясните это явление.

20. **Сосуд с водой в кипящей воде.** Известно, что при нормальном атмосферном давлении вода закипает при температуре 100°C . Опустим в кипящую воду сосуд с водой. Вода в нем нагревается до 100°C . Теперь она должна закипеть, но увы... Как бы долго мы ни ждали, вода в сосуде не закипит. Почему?

21. **Где быстрее закипит вода?** В две абсолютно одинаковые емкости налито равное количество воды при одной и той же температуре, но в одну из них – сырая вода, в другую – кипяченая. Если поставить обе емкости на огонь одинаковой силы, то в какой из них вода закипит быстрее?

22. **Разная температура кипения.** Как известно, температура кипения воды зависит от давления. Берут два сосуда с водой и ставят на огонь. В одном из них поверхность внутри гладкая, в другом – шероховатая. Вода в сосудах, по-видимому, закипит при одинаковой температуре, так как давление обоих одинаковое. В действительности это не так. В шероховатом сосуде вода закипает при более низкой температуре. Почему?

23. **Сварить яйцо на Марсе.** Вы прилетели на Марс и решили сварить яйца вкрутую на открытом пространстве. Можно ли это сделать, имея источник тепла и сосуд с водой?

24. **Кипение в невесомости.** Если попытаться вскипятить воду в космическом корабле, то как повлияет невесомость на этот процесс?

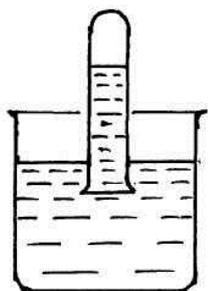


Рис. 3

25. **Уровень воды в пробирке.** Пробирка наполнена водой, затем открытым концом опущена в сосуд с водой (рис.3). Изменится ли уровень воды в пробирке, если установку нагреть до температуры кипения?

26. **Макароны в кипящей воде.** В кастрюле кипит вода, в которой варятся макароны. Кипит ли вода в трубках макарон?

27. **Клубы пара из носика чайника.** Из сильно кипящего чайника выбрасываются видимые клубы пара, которые появляются, однако, не у самого носика. Чем заполнен промежуток?

28. **Вылет пробки при встряхивании.** Бутылку из пластмассы примерно на 9/10 ее объема заполнили кипятком и закрыли пробкой. Если воду в бутылке встряхнуть, пробка может вылететь. Почему?

29. **Замерзание холодной и горячей воды.** В зимнее время горячая вода, выставленная в мороз на улицу, замерзает быстрее, чем холодная. Возможно, вам это покажется вздором, однако это не бабушкины сказки. Наполните несколько сосудов различной формы теплой и холодной водой и поставьте их в морозный день за окно или в морозилку холодильника. И не удивляйтесь, если в каком-нибудь из сосудов горячая вода замерзнет раньше, чем холодная. Попробуйте объяснить, почему.

30. **Иней на стеклах.** У человека, который носит очки, когда входит с мороза в помещение, сразу запотевают очки. Маска для подводного плавания быстро запотевают изнутри при погружении в воду. Автомобилисты часто жалуются на запотевание окон внутри непрогретых еще машин. Почему это происходит и как с этим бороться?

31. **Иней на растениях.** Растения начинают покрываться инеем. Способствует или препятствует охлаждению растений покрытие их инеем?

32. **Изморозь на стенах.** Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Количество водяного пара, содержащегося в одном кубическом метре воздуха (при прочих равных условиях), возрастает с понижением температуры. При более низких температурах может выпасть большее количество воды в виде росы (или изморози), чем при более высоких температурах.

Температура воздуха зимой на улице ниже, чем в комнате. Однако в некоторых старых помещениях кирпичные стены обмерзают со стороны комнаты, а не с улицы. Как объяснить такое противоречие? Почему иней редко появляется на стенах деревянных домов?

33. **Кувшин с квасом.** В жаркий июльский день два друга сидели за столом под развесистым деревом. К ним подошел мальчик, сын хозяина. Он держал в руках закрытый металлический кувшин с квасом.

- Почему ты налил только половину кувшина? – спросил отец.

- В подвале темно, - оправдывался сын.

Как мог узнать хозяин, сколько кваса в кувшине?

34. **Сильная струя пара.** Если в чайнике довести воду до кипения, а затем сделать огонь более сильным, то вода будет кипеть интенсивнее, то есть увеличится количество образующегося пара, который струйкой выбивается из-под крышки. Стоит выключить горелку, как из чайника вырывается более сильная струя пара. Отчего это происходит?

35. **Замерзание в пруду и реке.** Наблюдая за замерзанием в пруду и в реке, можно обратить внимание на то, что в пруду вода замерзает раньше, чем в реке. Почему?

36. **Расплавить олово в воде.** Температура плавления олова равна 232°C . Можно ли расплавить кусок олова, лежащий в воде, ведь температура кипения воды 100°C . Оказывается, можно, но как?

37. **Замерзнет ли вода?** Одну бутылку с водой положили на лед при 0°C , а вторую опустили в воду при 0°C . Замерзнет ли вода в какой-нибудь бутылке?

38. **Направление ветра.** Известно, что летом днем с озера на берег дует прохладный ветерок – бриз. Ночью – все наоборот. Как влияют на эти направления ветра испарение и конденсация водяных паров?

39. **Давление в сообщающихся сосудах.** В сообщающиеся сосуды разных диаметров налита жидкость. После выравнивания уровней жидкости в сосудах широкий закрывают пробкой. Изменится ли при этом распределение уровней жидкости в сосудах?

40. **Ненасыщенный пар в насыщенный.** Какими способами ненасыщенный пар можно обратить в насыщенный?

41. **Увеличение плотности вещества при повышении температуры.** Любое вещество в твердом и жидком состояниях при увеличении температуры расширяется, т.е. увеличивается его объем при неизменной массе. Следовательно, при повышении температуры плотность твердых и жидких тел уменьшается. А при каком состоянии вещества возможно повышение плотности с ростом температуры?

42. **Насыщенный пар «пружинит» или нет?** В цилиндре под легким поршнем находится насыщенный водяной пар без воздуха. Будет ли этот газ «пружинить» при сжатии, то есть будет ли возвращаться поршень в исходное положение при сжатии?

43. **Вода и пар в U-образной трубке.** В запаянной U-образной трубке находится вода. Как узнать, есть ли воздух (или только насыщенный пар) над водой в трубке?

44. **Лимонадный туман.** При открывании бутылки с охлажденным лимонадом или шампанским сразу же после открытия у горлышка бутылки появляется облачко тумана. Чем это объясняется?

45. **Туман.** Туманы интересуют поэтов и художников, но особенно сильно туманы волнуют диспетчеров аэропортов, работников морских и речных портов, летчиков, капитанов кораблей, водителей автомашин - уменьшается при тумане видимость до нескольких метров, а иногда практически до нуля. И тогда временно закрывают аэропорты, встают на якоря суда, включаются сирены маяков.

Когда и где образуется туман? Все знают, туман образуется в низинах, оврагах, болотистых местах. Возникает он и над поверхностью морей, озер, рек. Туман может появиться утром, а может вечером после заката солнца. Иногда туман не прекращается целыми сутками.

Из огромного разнообразия туманов можно выделить несколько наиболее известных. В первую очередь – это утренний туман над хорошо прогреваемой за день поверхностью водоемов – прудов, озер, рек. Этот туман быстро исчезает с восходом солнца.

Туман может возникнуть в любое время суток, если холодный воздух переносится ветром в горизонтальном направлении и оказывается над поверхностью теплой воды. Или наоборот, теплый воздух переносится в горизонтальном направлении и оказывается над холодной водой.

Итак, что такое туман и как он возникает?

46. **Облака и тучи.** С давних времен человек знал: облака и тучи дают дождь, который так необходим посевам, травам, деревьям. Поэтому он считал, что боги облаков и дождевых туч – добрые боги. Он благодарил их, возносил им хвалу, сочинял в их честь гимны.

Красота и причудливость облаков, необычное сочетание форм и оттенков – все это всегда привлекало внимание, вызывало восхищение, будило воображение. Дети любят разглядывать облака и узнавать в них фигуры зверей, подчас диковинных, человеческие лица, те или иные предметы.

В толковом словаре В. Даля дано короткое и в то же время точное определение облака: «Облако – туман в высоте». Как и туман, облако представляет собой взвесь в воздухе капель воды. Наряду с водяными капельками в облаке могут находиться также мелкие кристаллики льда. Облако может и целиком состоять из таких кристалликов.

При всем сходстве с туманом облако все же существенно отличается от него. Это видно уже из того, что существует много видов облаков. На туман, строго говоря, похожи только слоистые облака; они образуются близко от поверхности Земли, и их толщина порядка 100÷1000 м.

Более мощные слои образуют слоисто-дождевые облака. Они темно-серые, плотные, иногда почти черные. Если слоистые облака, как правило, капельные, то слоисто-дождевые облака – смешанные: в нижней части они состоят из капелек воды, а в верхней – из кристалликов льда.

Как слоистые, так и слоисто-дождевые облака называют облаками нижнего яруса. Над ними могут находиться облака среднего яруса, к которым относятся высококучевые облака. Высота их нижней границы 2-5 км, толщина примерно такая же, как у слоистых облаков. Высококучевые облака состоят обычно целиком из ледяных кристалликов.

Еще более высоко образуются облака верхнего яруса – это перистые облака – переплетение нежных белых нитей, тонкие белые полосы, которые сливаясь, образуют силуэты деревьев, хвостов и крыльев птиц, рыбьих скелетов и т.п. Высота нижней границы перистых облаков 6-10 км. Все перечисленные виды облаков имеют примерно одинаковую толщину и сильно развиты в горизонтальном направлении, их протяженность может достигать 1000 км; эти облака называются облаками горизонтального развития. Время существования рассмотренных облаков измеряется сутками.

К облакам вертикального развития относятся кучевые облака хорошей погоды и кучево-дождевые облака. Нижняя граница этих облаков лежит в нижнем ярусе (на высоте около 1 км), а вершина попадает в верхний ярус. Толщина, или лучше сказать, высота этих облаков может достигать 10-15 км, а горизонтальная протяженность, то есть ширина, составляет от 1 до 10 км. Кучевые облака хорошей погоды обычно отделены одно от другого. Но возможны и довольно причудливые нагромождения облаков, но с характерной особенностью внешнего вида – вытянутость в вертикальном направлении, куполообразная вершина, обилие белых клубов («барашков»).

Кучево-дождевые облака похожи на кучевые, но имеют более крупные размеры и более высокие. Внизу они темные, иногда почти черные. Вершина облака частично растекается в горизонтальном направлении, что придает облаку форму наковальни (рис.4). Кучево-дождевые облака смешанные: в нижней части капельные, в верхней ледяные. Они дают сильные ливни и град.

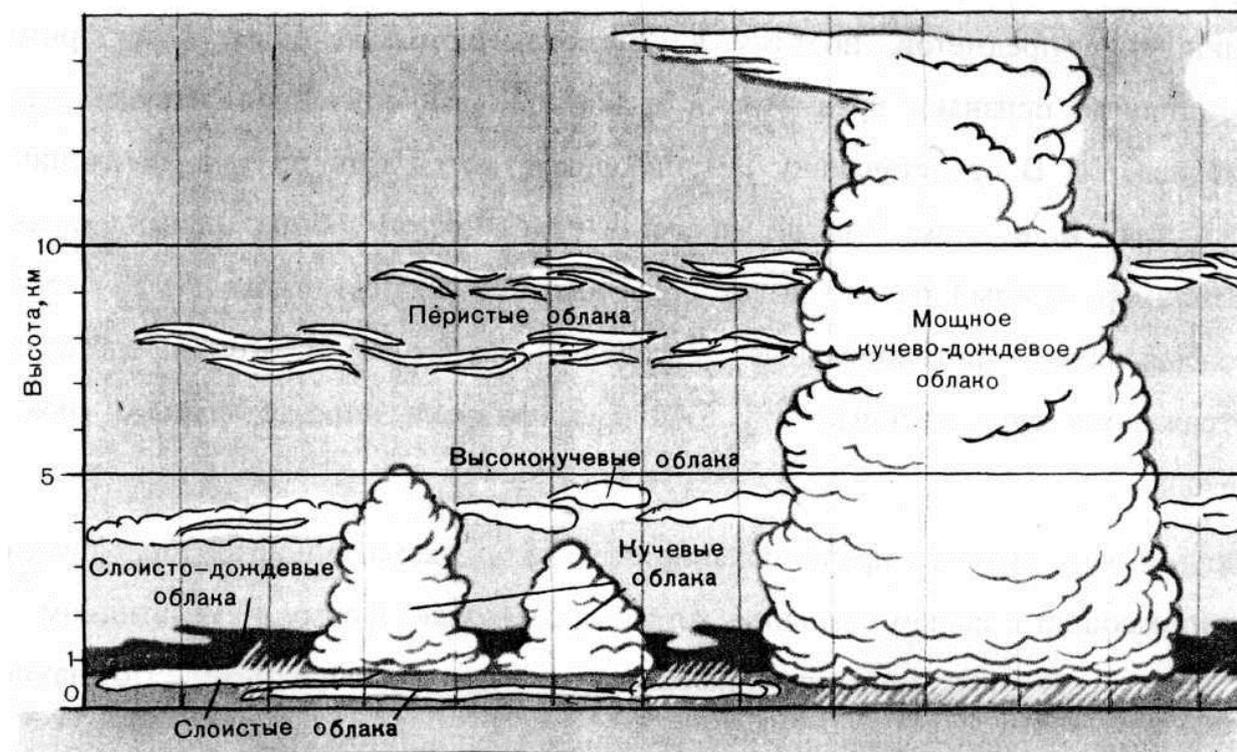


Рис. 4

Таким образом, в природе встречается шесть типов облаков – четыре типа облаков горизонтального развития (слоистые, слоисто-дождевые, высококучевые, перистые) и два типа облаков вертикального развития (кучевые и кучево-дождевые). На рис. 4 перечисленные типы облаков схематически изображены все вместе, что позволяет представить в целом структуру облачного покрова.

Облака переносятся ветрами на огромные расстояния, в результате чего осуществляется постоянный влагообмен между различными областями нашей планеты. Упрощенная схема влагообмена следующая: вода из моря попадает в облака, затем ветры переносят эти облака на материк, где они изливаются дождями, наконец, через реки вода возвращается обратно в море.

Все виды облаков мы рассмотрели, а теперь попробуйте объяснить, как они образуются.

47. **Осадки.** При определенных условиях из облаков выпадают осадки в виде дождя, снега или града. Дождь выпадает из слоисто-дождевых или кучево-дождевых облаков (см. «Облака и тучи»). В случае слоисто-дождевых облаков дождь идет, как правило, несколько часов, а то и целые сутки: такие «тихие» дожди очень хороши для полива огорода. Старые люди летом всегда причитали: «Царица Небесная, пошли нам тихий дождь, чтобы лейки не таскать». В случае кучево-дождевых облаков дождь, как правило, имеет характер кратковременного интенсивного ливня. Радиусы дождевых капель у земной поверхности мелкие для слоисто-дождевых облаков и крупные для кучево-дождевых.

Возникает вопрос: при каких условиях водяные капли и ледяные кристаллики перестают удерживаться в облаках и падают на Землю в виде дождя?

48. **Грозовая туча, молния, гром.** Огромная черная туча закрывает половину небосвода. Она надвигается, ширится, растет прямо на глазах и вот уже зловеще нависает над головой. Дует порывами сильный ветер, несутся по воздуху листья и обломанные ветки, поднимаются столбы пыли. Ярко вспыхивает молния, разрывая мгновенным ослепительным светом сгустившиеся сумерки. Оглушительно гремит гром. И вот обрушиваются сверху потоки воды.

Оставим в стороне настроения, которые вызывает гроза, и рассмотрим, как все происходит. Начинается все, как правило, следующим образом. С утра очень жарко и душно, стоит полная тишина. «Парит! Быть грозе» - уверенно предсказывают бывалые люди. Затем воздух становится влажным, в нем как бы разливается слабый туман. В вышине возникает, растет, постепенно темнеет кучево-дождевое облако (см. «Облака и тучи»), превращаясь в грозовую тучу, которая закрывает солнце, и все вокруг сразу становится мрачным, устрашающим. А через некоторое время, после полного созревания грозовой кучи, сверху из тучи устремляются к земле мощные потоки холодного воздуха. Потоки холодного воздуха ударяются о поверхность земли, и возникают пылевые вихри. После этого начинается сильный дождь, а иногда и град. Сверкают молнии, гремит гром. Туча заметно уменьшается, ее верхушка вытягивается в горизонтальном направлении. Дождь ослабевает, ветер стихает, еще немного – и в пролетах туч появляется солнце. Вся природа оживает. Остатки туч уходят вдаль. В воздухе появляется необычная свежесть.

Кстати, о некоторых предосторожностях, которые необходимо соблюдать во время сильной грозы. В доме необходимо отключить все электроприборы и отойти от окон. На улице – не прикасаться к металлическим предметам, не стоять под одиночными деревьями.

Что происходит во время грозы, мы рассмотрели, а как происходит образование грозовой тучи, молнии и грома?

49. **Усиление образования облаков.** Обычно при похолодании воздуха образование облаков усиливается. Почему же в хорошую погоду облака «тают» к вечеру, хотя в это время становится холоднее?

50. **Белый след самолета.** Почему за самолетом возникает видимый белый след? Почему это происходит не всегда? Если пристально взглядеться в след, можно заметить, что в действительности он состоит из двух и более тонких полосок, которые затем расплываются и становятся неразличимыми. Почему вначале образуется несколько следов? Как объяснить существование просвета между самолетом и началом следа?

51. **Как разгоняют облака?** Наиболее плотные облака, защищающие нас от солнечного света и содержащие много влаги, находятся, как правило, на высоте 2-3 км и содержат много мельчайших ($10 \div 100$ мкм) капелек переохлажденной воды и кристалликов льда при температуре меньше -10^0 С. Иногда возникает острая необходимость эти облака убрать, хотя бы и в виде дождя. Правда, в некоторых случаях и дождь будет полезен. Каким образом можно разогнать облака?

52. **Туман в теплице.** Наиболее эффективной технологией выращивания растений является метод зеленого черенкования, которым можно размножить различные растения – розы, хризантемы, виноград, многие плодовые и ягодные культуры и даже помидоры. Чтобы растение хорошо прижилось, необходима высокая влажность воздуха. Почему?

53. **Изменение абсолютной влажности.** В состав атмосферы кроме кислорода и азота входят пары воды. О количестве водяных паров в воздухе судят по абсолютной влажности, которая измеряется количеством водяного пара в 1 м³ воздуха или парциальным давлением водяных паров в воздухе.

Чтобы судить о том, насколько далек воздух от насыщения водяными парами при данной температуре, вводится понятие относительной влажности. Относительная влажность – это отношение абсолютной влажности к количеству пара в 1 м³ насыщенного воздуха при данной температуре; выражается в процентах.

При каких условиях может происходить уменьшение относительной влажности при росте абсолютной влажности?

54. **Влажность в течение суток.** Летом в течение суток количество водяных паров в атмосфере, то есть абсолютная влажность, практически не меняется. А в какое время суток относительная влажность воздуха будет больше при одной и той же абсолютной влажности?

55. **Звук во влажном воздухе.** Как влажность воздуха влияет на скорость звука?

56. **Какая влажность лучше?** Интересуясь прогнозом погоды, мы редко обращаем внимание на влажность воздуха, считая, что главное – это температура и осадки. Однако значения относительной влажности тоже бывают очень важны. Излишне сухой воздух с малой относительной влажностью делает сухими слизистые оболочки легких и носоглотки, увеличивается риск инфекций и кровотечений. Чересчур влажный воздух создает в помещении идеальные условия для роста плесени и размножения так называемых пылевых клещей, что может вызвать аллергию у лиц, склонных к этим заболеваниям. Кроме того, высокая влажность может стать причиной тепловых ударов (см. «Тепловой удар»). Попробуйте оценить, какая влажность будет комфортной для жизнедеятельности человека.

57. **Жара при высокой влажности.** В жаркий летний день при высокой влажности человек переносит жару гораздо труднее, чем при низкой влажности. Почему?

58. **Ветер и самочувствие человека.** В тихую погоду мороз переносится лучше, чем в ветреную. Ветер усиливает испарение кожи и охлаждает ее. Следовательно, и в пустыне в жару ветер должен приносить прохладу. Опыт же показывает, что в жарких пустынях при ветре людям становится жарче. Почему?

59. **Измерение влажности на расстоянии.** Чтобы предсказывать погоду, надо знать, откуда и куда движется влажный воздух. Для этого надо уметь определять влажность воздуха на расстоянии. Как это можно сделать?

III. Подсказки

1. Температура зависит от широты и высоты над поверхностью Земли.
2. Образующийся в атмосфере водяной пар, с одной стороны, задерживает инфракрасное излучение Земли, а с другой стороны – образовавшиеся из пара облака отражают часть солнечного излучения.
3. При покрытии деревянного изделия лаком или краской испарение воды происходит медленнее, чем с изделия, не покрытого лаком.
4. Происходит испарение влаги.
5. Давление насыщенного водяного пара зависит от температуры; чем выше температура, тем больше давление.
6. Вода медленнее нагревается, чем воздух. При испарении воды уменьшается ее температура и давление.
7. При испарении жидкости с поверхности поверхность охлаждается.
8. Тепло рассеивается при испарении, а подводится к коже потоком крови.
9. При испарении воды происходит отбор тепла от испаряемой поверхности.
10. Движущийся воздух тепло «отнимает», покоящийся – изолирует.
11. Спирт имеет значительно большую скорость испарения, чем вода.
12. Через материал, всасывающий воду, происходит усиленное испарение воды с отводом тепла.
13. Испарение при высокой температуре приводит к понижению температуры тела.
14. Скорость испарения зависит от площади поверхности жидкости.
15. Вентилятор ускоряет процесс обмена воздуха.
16. Холодный воздух рядом с испарителем циркулирует по холодильнику, нагревается, опускаясь вниз, и отбирает тепло у продуктов.
17. Температура кипения меняется при изменении давления на поверхность жидкости.
18. Для работы всасывающего насоса необходимо создать разрежение воздуха.
19. При быстром испарении образуется паровая подушка, которая плохо проводит тепло.
20. Подводимое к емкости тепло идет на испарение в ней воды.
21. В сырой и кипяченой воде разное количество растворенного воздуха.
22. В шероховатом сосуде пузырьки газа образуются при более низкой температуре.
23. На Марсе разреженная атмосфера.
24. В невесомости отсутствует конвекция в воздухе.
25. При температуре кипения воды, равной 100°C , давление насыщенного пара равно атмосферному.
26. В воде внутри макарон нет подвода тепла от более нагретого тела.
27. Ненасыщенный пар прозрачный, насыщенный, частично-конденсированный – белый.

28. При встряхивании увеличивается площадь испарения и повышается давление пара.
29. Количество воды в сосудах зависит от скорости испарения.
30. На холодных стеклах наблюдается конденсация пара.
31. При конденсации пара (образование инея) и замерзании воды на растениях выделяется тепло.
32. Внутри помещения в зимнее время влажность воздуха выше, чем снаружи.
33. На холодной части оседает роса.
34. В холодном воздухе пар конденсируется в туман.
35. В реке вода постоянно циркулирует, в пруду – нет.
36. Температура кипения воды зависит от внешнего давления.
37. Тела при охлаждении выделяют тепло.
38. При испарении воды давление воздуха повышается, при конденсации – понижается.
39. В закрытом сосуде давление пара при испарении достигает насыщения.
40. Насыщение воздуха водяными парами зависит от давления и температуры.
41. Плотность насыщенного газа зависит от температуры.
42. Уменьшение замкнутого объема над жидкостью приводит к конденсации.
43. Давление насыщенного пара при данной температуре не зависит от объема, а воздуха – зависит.
44. При быстром расширении газа происходит охлаждение и конденсация водяного пара.
45. Водяной пар при повышении температуры конденсируется.
46. Влажный воздух, поднимающийся вверх, попадая в холодные слои атмосферы, начинает конденсироваться.
47. При хаотичном движении мелкие капельки сливаются в более крупные и начинают падать вниз. Град образуется в облаках на большой высоте.
48. Сильно нагретый влажный воздух поднимается вверх на большую высоту.
49. Вечером в хорошую погоду при охлаждении воздух опускается и опускаются облака и превращаются в невидимый пар.
50. Горячие водяные пары вылетают из сопла турбины в окружающую среду.
51. При образовании из мельчайших капель более тяжелых может пойти дождь.
52. Растения без корневой системы получают влагу и питание через листья.
53. Повышение температуры воздуха в атмосфере происходит быстрее, чем увеличение температуры в водоемах.
54. Относительная влажность меняется в зависимости от температуры окружающей среды.

55. Скорость распространения звука в среде зависит от ее плотности.
56. При испарении влаги происходит охлаждение, при большой влажности будет затруднен отвод тепла от тела человека.
57. При высокой влажности затруднен отвод тепла при испарении.
58. Температура воздуха в пустынях больше, чем температура тела человека.
59. Водяные пары сильно поглощают инфракрасное излучение.

IV. Ответы

1. Испарение воды с поверхности водоемов зависит, в первую очередь, от температуры; чем выше температура воздуха, тем интенсивнее идет испарение воды и тем больше ее содержание над поверхностью земли и больше влажность воздуха. Например, концентрация водяных паров в тропических широтах в сто раз выше, чем у полюсов. Если бы весь пар, находящийся в воздухе, внезапно вылился дождем, то вблизи экватора выпало бы 50 мм осадков, а вблизи полюсов – только 1 мм. При этом в среднем на поверхности земли образовался бы слой воды 25 мм. Известно, что за год в среднем выпадает 1 м осадков, поэтому «кругооборот воды в природе» совершается примерно 40 раз в году. Концентрация (давление) водяных паров падает с удалением от поверхности Земли гораздо быстрее, чем для остальных газов. Происходит это из-за того, что при подъеме уменьшается температура воздуха, а значит, понижается и его способность удерживать влагу. На высоте 5 км температура воздуха уже около -20°C , поэтому почти половина всей влаги атмосферы находится в самом нижнем слое атмосферы, имеющем толщину 1,5 км, и менее 5% висит над нами на высоте, большей 5 км. Относительная влажность воздуха тоже падает с высотой, составляя в среднем 60-80% у поверхности и 20-40% на высоте 9 км.

2. Водяные пары, находящиеся в атмосфере в результате испарения с открытых водоемов, опасны тем, что относятся к так называемым парниковым газам. В отличие от остальных молекул воздуха (N_2 , O_2 и CO_2), молекула воды асимметрична и имеет постоянный дипольный момент, что делает ее спектр поглощения очень сложным и дает возможность поглощать инфракрасное излучение в широком спектре частот. Это значит, что водяные пары, находясь в атмосфере, свободно пропускают через себя солнечное излучение с длиной волны в области около 0,6 мкм, но задерживают инфракрасное (тепловое) излучение Земли с длиной волны около 11 мкм.

Парниковый эффект водяного пара сравним по величине с парниковым эффектом углекислого газа. Многие, однако, считают, что если бы парникового эффекта водяных паров не было, то наша планета никогда бы не отогрелась от космического холода, температура на ее поверхности составляла бы всего около 30 К (-243°C) и жизни на ней, конечно, не было бы. Но в последнее время концентрация водяных паров в тропосфере неуклонно возрастает, и больше всего – в тропических широтах, где каждые 10 лет она увеличивается на 13%. Происходит это из-за постоянного нагревания нашей планеты.

Полезен же водяной пар тем, что образующиеся из него облака отражают часть солнечного излучения, таким образом борясь с глобальным потеплением, не говоря о том, что образуются дождевые облака.

3. Если деревянное изделие, выточенное из сырого дерева, покрыть лаком, то через пленку лака пары воды испаряются очень медленно и дерево просыхает равномерно по всему объему и не растрескивается. Если же изделие не покрыто лаком, то испарение воды с поверхности происходит быстро и она высыхает, а внутренний объем остается сырым, при этом возникают напряжения и изделие растрескивается.

4. Свежеиспеченный хлеб через некоторое время остывает и черствеет. При этом происходит испарение влаги, и вес хлеба становится меньше.

5. Мокрое белье станет сухим, если с его поверхности испарятся все молекулы воды. Чтобы понять, как это происходит, рассмотрим возникающие процессы при испарении с поверхности воды.

При любой температуре, если вода находится в закрытом сосуде, покидающие жидкость молекулы остаются в этом случае в пространстве над жидкостью, накапливаются там во все большем количестве, и создают давление пара, которое растет. Наряду с процессом испарения происходит и обратный процесс – возвращение молекул в жидкость (конденсация). Число конденсирующихся молекул зависит от давления пара, которое по мере испарения жидкости растет. Поэтому накопление пара над жидкостью непременно приведет к тому, что число конденсирующихся молекул станет равным числу молекул, покидающих жидкость. Устанавливается, как говорят, динамическое равновесие жидкости и пара.

Пар, находящийся в равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным. Так как в насыщенном паре концентрация молекул достигает максимума при данной температуре, то давление насыщенного пара – это максимальное давление, которое может иметь пар при данной температуре. При этом давление насыщенного пара очень сильно зависит от температуры: с повышением температуры давление увеличивается.

Если рассматривать поверхность Земли, то большая ее часть покрыта водой и, казалось бы, водяной пар над Землей должен быть всегда насыщенным. В действительности водяной пар в атмосфере бывает насыщенным очень редко и лишь в отдельных местах. При длительном морозящем дожде водяной пар, содержащийся в атмосфере, ненасыщенный, так как пространство над Землей не является закрытым объемом.

Итак, если на улице целый день моросит холодный осенний дождь, то давление насыщенного водяного пара на улице будет гораздо меньше, чем в комнате, где висит выстиранное белье, так как температура воздуха в комнате выше. Таким образом, при открытии форточки в комнате пар начнет быстро выходить наружу и белье высохнет быстрее.

6. У воды очень большая удельная теплоемкость, поэтому вода прогревается медленнее воздуха и будет несколько холоднее. При вхождении в воду она будет холоднее, чем окружающий воздух. При выходе из воды на теле человека остаются мелкие капельки, которые начинают испаряться, кожа охлаждается и воздух кажется холоднее воды.

7. Наличие пор в стенках сосуда приводит к увеличению свободной поверхности жидкости, с которой происходит испарение, то есть жидкость покидает большое число высокоэнергетических молекул, тем самым охлаждается содержимое сосуда. О пористом сосуде можно говорить как о своеобразном холодильнике.

На том же принципе основан еще один вид простейшего холодильника, который до сих пор используется коренным населением африканских пустынь. Это два вложенных друг в друга глиняных горшка. Пространство между горш-

ками заполняется мокрым песком, и влага, медленно испаряясь, охлаждает внутренний горшок, заполненный продуктами.

8. Большая часть избыточного тепла теряется благодаря потоку тепла, переносимого кровью к поверхности кожи. Увеличение притока крови к коже может уменьшить кровоснабжение мозга, что, в свою очередь, может привести к потере сознания, особенно в том случае, если человек резко поднимается. Повышенное потоотделение вызывает обессоливание организма, сопровождающееся тошнотой, судорогами, нарушением кровообращения. Если с потом теряется примерно 2% общего количества воды в организме, то человек испытывает сильную жажду. Потеря до 7% воды приводит к сильному нарушению кровообращения и, возможно, даже к смерти. Перегрев тела сопровождается теми же симптомами и вызывает потерю сознания, иногда со смертельным исходом.

9. Ощущение резкого холода в ветреную погоду объясняется прежде всего тем, что от лица (и вообще от всего тела) отнимается гораздо больше тепла, чем в тихую погоду, когда воздух, нагретый телом, не так быстро сменяется новой порцией холодного воздуха. Чем ветер сильнее, тем большая масса воздуха успевает в единицу времени прийти в соприкосновение с кожей и, следовательно, тем больше тепла отнимается от нашего тела. Этого одного уже достаточно, чтобы вызвать ощущение холода.

Но есть и еще одна причина почувствовать холод. Кожа нашего тела всегда испаряет влагу, даже в холодном воздухе. Для испарения требуется тепло, которое отнимается от нашего тела и от слоя воздуха, прилегающего к телу. Если воздух неподвижен, испарение идет медленно, так как слой воздуха, прилегающий к коже, насыщается парами (см. «Изменение абсолютной влажности»). Но если воздух движется (при ветре), то испарение происходит более интенсивно и от кожи отнимается большее количество тепла.

Охлаждающее действие ветра зависит от его скорости и от температуры окружающего воздуха. По данным, приведенным в книге Н.Н. Калитина «Основы физики атмосферы в применении к медицине», если температура воздуха равна 4°C , то в безветренную погоду кожа человека имеет температуру 31°C . Если же дует легкий ветер порядка 2 м/с, то кожа охлаждается на 7°C , при ветре 6 м/с кожа охлаждается на 22°C и падает до 9°C .

10. Воздух, соприкасающийся с непокрытой снегом почвой, все время находится в движении, перемешивается. Этот движущийся воздух отнимает от земли тепло и усиливает испарение. Воздух же, находящийся между частицами снега, малоподвижен и, как плохой проводник тепла, предохраняет землю от промерзания.

11. Спирт испаряется гораздо быстрее, чем вода, и при этом за одну и ту же единицу времени поглощает большее количество тепла, которое и отнимается от руки.

12. Шарик термометра, обернутый материалом, всасывающем воду, имеет очень большую наружную поверхность, что способствует усиленному испарению воды. В сухом воздухе испаряется большая часть воды из влажного чехла шарика. Для испарения необходима теплота, которая берется у самой воды. Когда слой воды в пористом чехле шарика вследствие этого значительно охладит-

ся, тогда вода будет поглощать теплоту стекла термометра, а оно в свою очередь поглощает теплоту ртути. В результате чего ртуть сжимается и занимает меньший объем. Термометр покажет более низкую температуру. Второй термометр, погруженный в воду, будет просто показывать температуру воды.

13. При большой температуре окружающего воздуха человек потеет. Пот же, испаряясь, понижает температуру тела, чем и охраняет ее от ожогов. В горячей воде испарения не происходит, и кожа обжигается.

14. Увеличение свободной поверхности жидкости увеличивает скорость ее испарения.

15. Вентилятор ускоряет процесс обмена воздуха, из которого мороженое поглощает энергию при таянии, поэтому брикет под вентилятором растает быстрее.

16. В холодильнике самое холодное место – испаритель, который находится сверху, откуда холодный и поэтому более тяжелый воздух опускается вниз. Соприкасаясь с более теплыми продуктами и стенками холодильника, воздух нагревается, его относительная влажность уменьшается и он способен поглощать больше влаги, чем холодный. Холодный воздух, нагревшись, становится сухим и отбирает часть влаги у продуктов. Нагретый, более легкий воздух поднимается вверх к испарителю, где охлаждается до первоначальной температуры, но влажность его оказывается выше из-за воды, отобранной у продуктов. Это повторяется несколько раз, пока относительная влажность воздуха не превысит 100%, и тогда на поверхности испарителя появляются капельки воды или кристаллики льда. Так циркулирующий по холодильнику воздух «перевозит на себе» воду от более теплых продуктов к более холодному испарителю. При этом продукты, лишаясь воды, охлаждаются, так как они теряют тепло, необходимое для испарения влаги. Поэтому сухие продукты охлаждаются в холодильнике медленнее, чем влажные. А вообще, лучше хранить продукты в холодильнике в закрытой посуде или влагонепроницаемой пленке, хотя остывать они будут, конечно, медленнее.

17. С явлением кипения все хорошо знакомы, по крайней мере чисто визуально. Оно состоит в том, что при определенной температуре кипения всплывают и лопаются многочисленные пузырьки, вызывая характерное бурление. Откуда в жидкости берутся пузырьки? Дело в том, что в жидкости и особенно на стенках сосуда имеется газ, главным образом воздух, который собирается в пузырьки, не видимые глазом. При повышении температуры внутрь пузырьков происходит испарение, так что они становятся заполненными не только воздухом, но и испаряемым паром жидкости. А так как пузырек – это закрытый сосуд, то пар в нем насыщенный.

По мере повышения температуры жидкости растет давление насыщенного пара в пузырьках, поэтому увеличивается их объем. А значит, и архимедова сила. В конце концов, архимедова сила становится достаточной для того, чтобы пузырьки стали отрываться от стенок и всплывать. Достигнув поверхности жидкости, пузырьки лопаются, и пар из них вырывается наружу. Но для того, чтобы всплывшие пузырьки лопались, давление насыщенного пара, которым они заполнены, должно быть чуть выше внешнего давления, действующего на

жидкость. Это значит, что температура кипения равна температуре, при которой давление насыщенного пара равно внешнему давлению. Если внешнее давление – это нормальное атмосферное давление, то вода кипит при 100°C .

Отсюда следует, что при уменьшении внешнего давления на жидкость температура ее кипения будет понижаться. А при увеличении внешнего давления на жидкость – повышаться. Таким образом, понижая давление, воду можно заставить кипеть при любой температуре, меньше 100°C ; даже при 0°C , если давление понизить до 613 Па. В этом случае вода сначала закипит при 0°C , а затем замерзнет.

18. Всасывающий насос может выкачивать воду из какой-то емкости за счет создания разрежения воздуха. В емкости же с кипящей водой под поршнем вместо разреженного воздуха будет находиться пар под давлением, равным атмосферному. Поэтому поднять кипящую воду всасывающим насосом невозможно.

19. Чашка настолько горяча, что раньше, чем к ней успеет прикоснуться вся вода, она заставит испариться часть воды. Между водой и чашкой образуется слой пара. Благодаря этой паровой подушке, на которой держится вода, чашка и вода не соприкасаются друг с другом. Газы и пары являются очень плохими проводниками тепла, поэтому теплота чашки не может быстро пройти через плохо проводящую паровую подушку и привести воду в кипение.

20. Вода в сосуде не закипит потому, что она не будет получать необходимого для этого тепла. Подводимое к емкости с кипящей водой, в которую опущен сосуд с водой, тепло будет расходоваться на испарение находящейся в емкости воды.

21. В сырой воде больше растворенного воздуха и газов в виде мелких пузырьков, чем в кипяченой воде. Поэтому сырая вода закипит быстрее.

22. В шероховатом сосуде вода закипает при более низкой температуре, чем в гладком, потому, что пузырьки пара быстрее образуются на выступающих точках поверхности сосуда. В сосуде с гладкой поверхностью образование пузырьков затрудняется, поэтому в нем вода не закипит дольше.

23. Сварить яйцо вкрутую на Марсе невозможно в открытом сосуде. Вследствие разреженности атмосферы вода закипит при температуре более низкой, чем необходимо для свертывания белка.

24. В невесомости отсутствует конвекция, поэтому до возникновения процесса кипения нагреется лишь локальная часть объема воды. Пар, расширяясь, вытеснит всю воду из сосуда прежде, чем она закипит.

25. При кипении воды в пробирке образуется насыщенный пар, который создает давление при температуре кипения 100°C , равное атмосферному, и тогда давления на воду в пробирке и на воду в сосуде будут равны. Вода в сосуде и в пробирке установится на одном уровне.

26. Вода внутри макарон не кипит, так как ее температура равна температуре воды в кастрюле и поэтому нет подвода тепла от более нагретого тела.

27. Когда пар выходит из носика чайника, он находится при высокой температуре и не достигает насыщения. На некотором расстоянии от носика температура понижается, пар начинает конденсироваться и появляются клубы па-

ра. Таким образом, между клубами пара и носиком чайника находится ненасыщенный пар.

28. При встряхивании бутылки с кипятком увеличивается поверхность испарения, что влечет за собой рост давления пара. Увеличение давления и может привести к вылету пробки, закрывающей бутылку.

29. Определяющим фактором при замерзании холодной и горячей воды является испарение. Если одинаковые массы холодной и горячей воды выставить на мороз в открытых сосудах, то более сильное испарение горячей воды приведет к тому, что ее масса уменьшается быстрее. В результате эта вода будет остывать быстрее, чем холодная и, соответственно, скорее достигнет точки замерзания. Скорость остывания зависит также от материала сосудов, циркуляции воздуха над поверхностью воды в сосудах и от циркуляции самой воды.

30. Плотность водяного пара в салоне автомобиля из-за присутствия людей увеличивается. При соприкосновении с холодными стеклами пары становятся насыщенными, и в результате конденсации влага оседает на стеклах, образуя иней. Аналогично запотевают очки у человека, вошедшего с мороза в теплое помещение, и маска для подводного плавания при погружении в воду. По этой же причине оконные стекла в доме всегда запотевают изнутри, если температура на улице меньше, чем в комнате.

Самый простой способ избавиться от запотевания стекол – это выравнивание температуры стекол и окружающего воздуха. Однако не всегда это возможно сделать. Тогда можно поступить следующим образом. Чтобы не дать образовываться скоплению мельчайших капелек на холодном стекле, необходимо уменьшить поверхностное натяжение воды, из которой они состоят. Тогда капелькам станет энергетически выгодно сливаться друг с другом, образуя пленку воды, которая снова сделает окна или (очки) прозрачными. Чтобы понизить величину поверхностного натяжения, можно просто натереть мылом поверхность стекла, а затем сделать ее прозрачной, растерев какой-нибудь тряпочкой. Таким же образом работают и фирменные антизапотеватели.

31. Для того, чтобы испарение жидкости происходило при постоянной температуре, к ней нужно подводить теплоту, и чем в большем количестве, тем больше жидкости переходит в пар. Количество теплоты, которое необходимо подводить для испарения единицы массы, зависит от удельной теплоты испарения («парообразования»). У разных жидкостей она различна. Особенно большим значением отличается вода. При 0°C удельная теплота испарения воды равна $2,5 \cdot 10^6$ Дж/кг, при 100°C она равна $2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Наряду с испарением жидкости может происходить и обратный процесс – возвращение молекул пара в жидкость (конденсация пара). Молекулы пара, двигаясь к поверхности жидкости, ускоряются силами притяжения. При этом их кинетическая энергия растет как раз на столько, на сколько она уменьшилась при вылете из жидкости. Поэтому удельная теплота конденсации равна удельной теплоте испарения. Этим объясняются особенно тяжелые ожоги от горячего пара, более тяжелые, чем от воды такой же температуры (кипятка).

При конденсации пара на растениях (появление росы) растениям передается теплота конденсации. Если же конденсируемая вода еще и замерзает (по-

явление инея), то передается еще и теплота, которая выделяется при замерзании воды. Таким образом, когда растения покрываются инеем, то этот процесс препятствует их охлаждению.

32. Количество содержащихся в одном кубическом метре воздуха водяных паров на улице и в комнате различно. При охлаждении стены холодным зимним воздухом вблизи ее температура воздуха в комнате понижается. Начиная с определенной температуры (точка росы) начинается конденсация паров (кирпичная стенка мокнет). Охлаждение может быть настолько сильным, что образовавшаяся вода на стене замерзает, появляется изморозь. Это объясняется тем, что кирпич обладает большей теплопроводностью, чем дерево. Стена в кирпичном доме внутри помещения быстро охлаждается, а так как в помещениях влажность намного выше, чем снаружи, то покрывается изморозью стена внутри помещения. Деревянная же стенка, из-за меньшей теплопроводности, при потеплении быстро становится теплой.

33. Вследствие разности температур на кувшине на той части, где был квас, осели капельки росы.

34. При включенной горелке пары воды попадают в потоки горячих газов и уносятся ими вверх, оставаясь невидимыми. При выключенной горелке пар попадает сразу в холодный комнатный воздух и конденсируется в хорошо видимый туман.

35. Интенсивное движение воды в реке постоянно выносит со дна на ее поверхность более теплую воду, что приводит к удлинению процесса замерзания. В пруду вода находится в покое, поэтому она замерзает быстрее, чем в реке.

36. Чтобы расплавить кусок олова в воде, нужно повысить температуру воды до температуры плавления олова. Сделать это можно, если вода будет нагреваться в герметически закупоренном сосуде. Тогда над поверхностью воды будет повышаться давление и, соответственно, будет увеличиваться температура кипения воды. Чтобы температура кипения воды была равна температуре плавления олова (232°C), необходимо давление в 30 раз больше нормального атмосферного давления ($\approx 30 \cdot 10^5 \text{ Па}$).

37. Если бутылку с водой положить на лед, имеющий температуру 0°C , или поместить в воду с температурой 0°C , вода в бутылке не замерзнет в обоих случаях, так как бутылка при охлаждении будет отдавать тепло воде.

38. К возникновению ветров могут приводить испарение и конденсация воды. Летом в дневное время воздух над озером нагрет меньше, чем над сушей. Большая часть солнечного излучения, падающего на воду, отражается или идет на испарение. Кроме того, удельная теплоемкость воды в несколько раз больше, чем у почвы. Поэтому днем давление насыщенного влагой и прохладой воздуха над озером больше, чем над сушей, и воздух дует в сторону суши. Ночью – все наоборот. Из-за меньшей теплоемкости почвы она и воздух над ней быстрее остывают, чем вода в озере. Влага в воздухе над озером конденсируется, образуя туман, а выделяющаяся при этом энергия нагревает воздух над ночным озером. Очаг низкого давления над озером притягивает к себе ветер, дующий ночью с берега к воде.

Выделение тепла при конденсации теплых водяных паров над океанами, прогретыми до 30°C , служит основным источником энергии возникающих ураганов. Теплый воздух, насыщенный водяными парами, поднимается выше и выше и, наконец, достигает высоты, где его температура падает настолько, что начинается конденсация пара. При этом выделяется тепло, которое нагревает уже обезвоженный воздух, и он поднимается еще выше. Таким образом, наличие водяных паров и их последующая конденсация позволяет создать над поверхностью океана стабильную зону низкого давления – движитель разрушительных ураганов.

39. После того, как в сообщающиеся сосуды налита жидкость, происходит выравнивание уровней, так как и в широком, и в узком сосудах действует одинаковое атмосферное давление. Когда широкий сосуд закрывают пробкой, то прекращается отвод испаряемого пара от этой части сосуда и пар над жидкостью становится насыщенным. Давление в широкой части сосуда превысит давление в узкой части, и уровень в узком сосуде повысится.

40. Насыщенный пар наблюдается тогда, когда при данной температуре количество молекул, покидающих жидкость при испарении, равно количеству молекул, возвращающихся в жидкость при конденсации. Наступает динамическое равновесие жидкости и пара. Такой процесс возможен только при испарении в замкнутый объем. Следовательно, ненасыщенный пар можно превратить в насыщенный, если провести сжатие пара (уменьшить замкнутый объем) или при данном объеме уменьшить температуру.

41. Пар над жидкостью при испарении в замкнутый объем достигает насыщения при данной температуре. При этом насыщенный пар имеет соответствующую температуру и плотность. При повышении температуры увеличивается число испаряемых молекул в тот же объем и насыщение наступит при большей концентрации молекул и большей плотности. Таким образом, плотность увеличивается при повышении температуры в состоянии насыщенного пара, находящегося над жидкостью.

42. Если уменьшить объем, в котором находится насыщенный пар, то плотность пара не изменится, а поэтому часть пара будет конденсироваться. Не изменится также и давление.

43. Если над водой находится только насыщенный пар, то при наклоне U-образной трубки уровни воды в ее коленах будут одинаковыми, так как давление насыщенных паров при неизменной температуре не зависит от объема. Если над уровнем воды есть кроме насыщенного пара воздух, то в колене при наклоне, где объем будет меньше, давление воздуха (происходит сжатие) будет больше, чем в колене, где объем будет больше, давление воздуха будет (происходит расширение) меньше. Соответственно, уровни воды будут разными.

44. Когда открывают бутылку с лимонадом или шампанским, сжатый в ней газ быстро адиабатически расширяется (см. «Адиабатический процесс»), совершая при этом работу против сил атмосферного давления (см. «Нагревание велосипедного насоса»). В результате внутренняя энергия газа и, следовательно, его температура понижается, и поэтому содержащийся с газе водяной пар частично конденсируется в виде тумана.

45. Для того, чтобы понять процесс возникновения тумана, необходимо рассмотреть вопрос о насыщенном водяном паре. Между молекулами жидкости действуют значительные силы притяжения. Если молекула будет улетать с поверхности жидкости, то она должна преодолеть эту силу притяжения, а сама сила будет совершать отрицательную работу. Эту работу называют работой выхода молекулы из жидкости. Средняя кинетическая энергия молекул жидкости меньше работы выхода, иначе жидкость не могла бы существовать. Но при любой температуре в жидкости имеется некоторая часть молекул, кинетическая энергия которых больше работы выхода. Эти-то самые быстрые молекулы и вылетают из жидкости; над водной поверхностью образуется пар, происходит испарение воды. Молекулы водяного пара сталкиваются друг с другом и с молекулами воздуха, и часть из них возвращается обратно в жидкость, происходит конденсация пара.

Если при данной температуре устанавливается равновесие между количеством испаряемых и конденсируемых молекул, то водяной пар, находящийся в этом случае над поверхностью воды, является насыщенным. При повышении температуры процесс испарения будет преобладать над конденсацией и пар станет ненасыщенным. При внезапном понижении температуры пар станет перенасыщенным – теперь уже конденсация начнет преобладать над испарением. Таким образом, количество молекул в воздухе, соответственно, масса молекул в единице объема (плотность пара в г/м^3) и давление насыщенного пара зависит от температуры; они возрастают с увеличением температуры и падают с уменьшением.

Теперь мысленно уберем поверхность воды и представим себе некий объем воздуха, в котором плотность водяных паров равна плотности насыщения. При уменьшении температуры в данном объеме пар станет перенасыщенным и начнется конденсация пара на стенках объема, появится влага, выпадет роса. В известном смысле возникновение тумана есть выпадение росы, но не на поверхности земли и воды, не на поверхности листьев и травы, а в объеме воздуха. При определенных условиях водяные пары, находящиеся в воздухе, конденсируются в виде капелек тумана.

Для возникновения тумана необходим не просто насыщенный, а перенасыщенный пар; его плотность должна быть в несколько раз больше плотности насыщенного пара. Получение перенасыщенного пара может происходить двумя способами. Если воздух имеет определенную достаточно большую абсолютную влажность и температура воздуха постепенно начинает понижаться, то после достижения температуры, при которой пар насыщается, при дальнейшем охлаждении пар становится перенасыщенным. Выпадающий в этом случае туман называется туманом охлаждения.

В том случае, когда воздух имеет определенную и при этом достаточно низкую температуру, и с относительно теплой поверхности в холодный воздух испаряется дополнительное количество пара – в результате абсолютная влажность воздуха повышается. За счет этого испарения абсолютная влажность повышается до значения, в несколько раз превышающего значение плотности

насыщенного пара, которое соответствует температуре холодного воздуха. Выпадающий при этом туман называется туманом испарения.

Процесс образования облаков начинается с того, что некоторая масса достаточно влажного воздуха поднимается вверх. По мере подъема происходит расширение воздуха. Это расширение можно считать адиабатическим (процесс без подвода тепла), так как воздух поднимается относительно быстро, и при достаточно большом объеме теплообмен между рассматриваемым воздухом и окружающей средой за время подъема не происходит. Температура понижается, и когда достигает точки росы, при данной влажности на некоторой высоте происходит процесс конденсации пара. Эта высота и есть нижняя граница образования облака. Продолжающий поступать снизу воздух проходит через эту границу и облако начинает развиваться в высоту.

Рассмотрим, что заставляет влажный воздух подниматься вверх. Во-первых, - это конвекция, когда в жаркий день солнечные лучи сильно прогревают земную поверхность и передают теплоту приземным слоям воздуха. К облакам конвекционного происхождения относятся кучевые облака.

Во-вторых, дующий в горизонтальном направлении вдоль поверхности земли ветер может встретить на своем пути горы или другие возвышенности. Обтекая их, ветер переместит вверх воздушные массы. Образовавшиеся в данном случае облака могут быть слоистыми или слоисто-дождевыми.

В-третьих, облака образуются на границах теплых и холодных фронтов воздушных потоков. Если массы теплого воздуха, перемещаясь в горизонтальном направлении, теснят холодный воздух, то возникает теплый фронт. Если же наступающий холодный воздух движется быстрее теплого, и теплый воздух отстывает, говорят о холодном фронте. Вблизи границы между теплой и холодной воздушными массами возникают восходящие потоки воздуха (как теплого, так и холодного). В результате могут образоваться холодные облака горизонтального развития всех ярусов – слоисто-дождевые, перистые.

В-четвертых, вертикальные перемещения воздушных масс могут быть связаны с циклонической деятельностью, которая, в свою очередь, связана с взаимодействием теплых и холодных фронтов. Циклоны – это мощные атмосферные вихри диаметром до нескольких тысяч километров и высотой 10-20 км. Вблизи поверхности земли ветры направляются к центру циклона, так как в центре давление ниже. Стекающиеся к центру воздушные массы устремляются затем вертикально вверх. Это приводит к образованию мощных слоистых и слоисто-дождевых облаков, из которых выпадают осадки.

47. Облака состоят из капелек воды (водяные или капельные облака), ледяных кристалликов (ледяные или кристаллические облака), а также одновременно из капелек и кристалликов (смешанные облака). Водяные капли в облаке имеют различные диаметры – от долей микрометра до нескольких миллиметров. Ледяные кристаллики облака чаще всего имеют форму шестигранных призм – столбиков длиной порядка 0,1 мм. Возникает вопрос, как все это удерживается в воздухе и когда они все-таки падают вниз в виде дождя, снега или града?

Мелкие капельки (они находятся в нижней части облака), радиусы которых составляют доли микрометра, не падают вниз из-за беспорядочных ударов со стороны молекул воздуха (броуновское движение). При хаотичном беспорядочном движении капельки, сталкиваясь друг с другом, сливаются, все более увеличиваясь в размерах. Когда радиус капли становится больше микрометра, ее движение перестает быть броуновским и капли под действием силы тяжести начинают падать. Но тогда вступает в силу новый фактор, препятствующий падению вниз – сопротивление воздушной среды. В процессе падения капля может испаряться, и водяной пар снова начинает подниматься вверх и конденсироваться. И так в этом случае дождя не будет.

Для того, чтобы пошел дождь, капли должны долететь до земли, необходимо, чтобы облака были большой толщины, тогда капли могут возникать такого размера, что не будут уже при падении вниз испаряться. Выглядит это следующим образом. Ледяные кристаллики из верхней части облака, падая вниз, превращаются сначала в снежные хлопья, а затем в крупные капли. Продолжая падать сквозь толщу облака, эти капли растут за счет дополнительной конденсации на них пара и слияния с другими каплями. Так возникает дождь в слоисто-дождевых облаках.

Из кучево-дождевых облаков наряду с дождем может выпадать также град. Как уже рассматривали (см. «Облака и тучи»), кучево-дождевые облака вертикального развития достигают высоты $8 \div 10$ км. На этих высотах температура понижается до -40°C и ниже. Ледяные кристаллики – зародыши градин – падают вниз и, сталкиваясь с переохлажденными водяными каплями, обрастают льдом и увеличиваются в размере. В нижней части облака они подтаивают: там образуются крупные дождевые капли в окружении мелких градин. Мощные восходящие потоки в кучево-дождевых облаках забрасывают мелкие градины в верхнюю часть облака, где те повторно обрастают льдом, затем снова падают вниз. Так может повторяться несколько раз, пока градины не станут достаточно тяжелыми, чтобы упасть на землю.

48. Грозовая туча образуется в жаркий день, когда воздух у поверхности земли хорошо прогрет и сильно насыщен водяными парами. Мощные потоки нагретого влажного воздуха устремляются вверх. Подъем теплых воздушных масс еще более увеличивается, если ветер приносит холодный воздух. Массы пришедшего холодного воздуха, стелющиеся у самой земли, проникают под нагретую воздушную массу и поднимаются вверх. Потоки воздуха с содержащимися в них водяными парами, начиная с некоторой высоты (≈ 1 км), конденсируются. Процесс конденсации паров продолжается при дальнейшем подъеме воздушных масс, вследствие чего облако растет в высоту, постепенно превращаясь в грозовую тучу. Верхняя граница тучи оказывается на высоте 10-15 км, а иногда может достичь даже 20 км. На таких высотах образуются большие скопления ледяных кристалликов, которые начинают падать сквозь тучу вниз, увлекая за собой некоторое количество холодного воздуха, по мере приближения к земле этот поток усиливается.

Нисходящий холодный воздушный поток, выходя из тучи, мощно ударяет по поверхности земли – появляется сильный порывистый ветер, возникают пы-

левые вихри. Одновременно из тучи начинаются интенсивные осадки, как правило, в виде ливней, иногда с градом.

49. К вечеру нагревание и подъем воздуха прекращается и внизу начинается охлаждение его от остывающей к ночи почвы. Облака, состоящие из мельчайших капелек воды, в это время начинают опускаться. Попадая в более теплые слои воздуха, они нагреваются и превращаются в невидимый водяной пар.

50. Почему самолет в небе оставляет белый след? Ответ на этот вопрос очевиден – по той причине, по которой при дыхании на морозе появляется туман или иней. В турбинах самолета сгорает углеводородное топливо, а одним из продуктов сгорания является вода в парообразном состоянии; пар нагрет до очень высокой температуры. Горячие водяные пары, вылетая из сопла турбины, начинают конденсироваться, образуя нитеобразное облако, состоящее из мельчайших капелек воды или кристалликов льда, так как температура на высоте полета самолета ниже -40°C .

Иногда воздух на высоте бывает перенасыщен влагой, которая не может конденсироваться только из-за отсутствия так называемых ядер конденсации – мельчайших частиц, например, пыли. В таких случаях пролетающий самолет, оставляя за собой частицы сажи – продукт неполного сгорания топлива, вызывает конденсацию перенасыщенных паров атмосферы. Поэтому по интенсивности белого следа от летящего самолета можно судить о влажности воздуха в верхних слоях тропосферы, а значит, и о предстоящей погоде. Быстро исчезающий или едва заметный след говорит о том, что воздух на высоте сухой, а погода будет безоблачной. Если белый след тянется через все небо, то следует ждать ухудшения погоды.

51. Чтобы уничтожить облако, необходимо вызвать появление крупных капель (больше 1 мм) (см. «Осадки») и кристаллов льда в тумане, состоящем из мельчайших капелек воды и микрокристалликов льда, так как образовавшиеся крупные капли и кристаллы упадут на поверхность земли в виде дождя, и облако исчезнет. Для этого в облаках распыляют микрочастицы, которые служат так называемыми ядрами для образования крупных капель и кристаллов. В качестве таких частиц часто используют иодид серебра, кристаллическая структура которого очень похожа на гексагональную структуру кристаллов льда, из-за чего адгезия кристаллов льда и капелек воды к частичкам иодида серебра велика. Поэтому в облаке к кристалликам иодида серебра прилипают молекулы воды и, став тяжелыми от прилипшей воды, начинают падать на землю, унося с собой часть облака.

Еще один способ осаднения облака – его охлаждение. Для этого в облака забрасывают кристаллы «сухого льда» (CO_2), которые, охлаждая облако, вызывают усиленную конденсацию с образованием крупных капель и кристаллов льда.

Есть и другие методы борьбы с облаками. Можно разбрасывать в облака микроскопические крупинки гигроскопических солей (NaCl или KCl), которые, попав в облако, будут притягивать к себе влагу и разбухать, становясь зародышами больших капель. Однако этот метод, как и использование цементной пыли для осаднения облаков, считается экологически небезопасным.

52. Чтобы растение, не имеющее корневой системы, хорошо прижилось, влажность воздуха должна быть близкой к 100%, так как зеленые черенки с листьями получают влагу и питание только через листья. Поэтому саженцы выращивают в теплицах, где время от времени распыляется вода, подаваемая под давлением несколько десятков атмосфер, образуя туман, состоящий из капелек размером не более 30 мкм. Туман из более крупных капель быстро оседает.

53. При повышении температуры окружающей среды начинает повышаться температура воды в водоемах, но значительно меньше, чем среды. Повышение температуры воды в водоемах приводит к увеличению пара, который испаряется в атмосферу, и, соответственно, увеличивается абсолютная влажность. Количество пара, насыщающего воздух, увеличивается быстрее, чем относительная влажность, так как температура среды меняется быстрее, чем температура в водоемах. Таким образом, при повышении температуры окружающего воздуха увеличивается абсолютная влажность, а относительная влажность уменьшается.

54. Относительная влажность определяется как отношение абсолютной влажности (см. «Изменение абсолютной влажности») к количеству водяного пара в 1 м³, насыщающего воздух при данной температуре. Если абсолютная влажность остается неизменной, а количество пара в 1 м³ насыщающего воздух меняется в зависимости от температуры, то относительная влажность будет максимальной при наименьшей температуре воздуха. Летом наименьшая температура в течение суток наблюдается в утренние часы (обычно около 5 часов утра); в это время относительная влажность будет максимальной, вплоть до 100%, когда появляется на растениях роса.

55. Если давление воздуха не меняется, то более влажный воздух имеет меньшую плотность и в нем звук распространяется медленнее.

56. При низкой относительной влажности при любой температуре происходит интенсивное испарение влаги в результате потоотделения, которое сопровождается охлаждением тела человека, и кажущаяся температура тела будет меньше температуры окружающего воздуха. Если же относительная влажность будет высокая, то будет затруднен отвод тепла от тела человека за счет испарения влаги и в результате возникает перегрев тела, и кажущаяся температура будет больше температуры окружающей среды. Как меняется кажущаяся температура воздуха в зависимости от относительной влажности при различных значениях реальной температуры, приведено в таблице:

Влажность, %	Температура воздуха, °С										
	21	24	27	29	32	35	38	41	43	46	49
0	18	21	24	26	38	31	33	25	37	39	42
10	18	21	24	27	29	32	35	38	41	44	47
20	19	22	25	28	31	34	37	41	44	49	54
30	19	23	26	29	32	36	40	45	51	57	64
40	20	23	26	30	34	38	43	51	58	66	
50	21	24	27	31	36	42	49	57	66		
60	21	24	28	32	38	46	56	65			
70	21	25	29	34	41	51	62				
80	22	26	30	36	45	58	69				
90	22	26	31	39	50	66	77				
100	22	27	33	42	56	74					

Как следует из таблицы, увеличение влажности с 40 до 60% при температуре 29°С приводит к кажущемуся росту температуры окружающего воздуха с 30 до 32°С. И наоборот, когда влажность нулевая, те же 29°С ощущаются как 26°С. Поэтому если вам стало зябко в холодной комнате, поставьте на пол таз с теплой водой – скоро влажность воздуха увеличится и станет теплее. Считается, что условиям комфорта соответствует температура 21-23°С при относительной влажности воздуха 45-50%.

Известно, что зимой воздух в доме становится очень сухой, так как воздух, поступающий с улицы, имеет очень маленькую абсолютную влажность. Например, если на улице 0°С и 50% влажность, то такой воздух после нагрева до 20°С будет иметь относительную влажность всего 13%. Ну а когда за окном мороз, то влажность воздуха в доме становится еще меньше и необходимо прибегать к помощи увлажнителей.

57. Жару гораздо труднее переносить при высокой влажности, так как при высокой влажности затруднен отвод тепла от тела человека за счет испарения влаги, и поэтому возможен перегрев тела, нарушающий жизнедеятельность организма.

58. Днем в жарких пустынях воздух теплее тела человека. Теплота там передается от воздуха к телу. Поэтому чем большая масса воздуха успеет ежеминутно прийти в соприкосновение с телом, тем сильнее ощущение тепла.

59. Определить влажность воздуха на расстоянии можно по поглощению инфракрасного излучения. Делают это с помощью установленных на спутниках Земли датчиков, измеряющих интенсивность инфракрасного излучения Земли. Водяные пары очень сильно поглощают этот тип излучения, и поэтому на фотографиях Земли, сделанных со спутника, яркость изображения зависит от концентрации водяных паров, находящихся над данной точкой поверхности планеты.

Борисовский Василий Васильевич

СВОЙСТВА ПАРОВ
(теория и практика)

Учебное пособие для студентов всех направлений
очной и заочной форм обучения

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 02.10.14. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 2,3. Тираж 50 экз. Зак. 141297. Рег. № 151.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.