Приклади розв'язування задач:

Впр. 37 (Засекіна), задача 9.

У балоні місткістю 0,01 м^3 є сухе повітря за температури 0 °С і тиску $p_0 = 10^5$ Па. Чому дорівнюватиме тиск вологого повітря в балоні, якщо в нього налити m = 3 г води і нагріти балон до t = 100 °С?

$V = 0{,}01$ м^3 $p_0 = 10^5$ Па $t_0 = 0$ °С = 273 К $t_1 = 100$ °С = 373 К $m = 3$ г = $3\cdot10^{-3}$ кг	**Розв'язування**. Загальний тиск в балоні, згідно з законом Дальтона буде рівний сумі парціальних тисків газу та водяної пари: $$p_1 = p_г + p_п.$$ Тиск газу за температури t_1 = 100 °С легко знайти із закону Шарля (ізохорне нагрівання): $$\frac{p_г}{T_г} = \frac{p_0}{T_0} \Rightarrow p_г = \frac{p_0 \cdot T_г}{T_0}.$$
$p_1 - ?$	

Обчислюємо:

$$p_г = \frac{10^5\ Па \cdot 373\,К}{273\,К} \approx 136630\,Па \approx 1{,}4\cdot10^5\ Па.$$

Щоби знайти тиск водяної пари насамперед треба встановити, яка кількість налитої в балон води випарується за температури 100 °С. Вода буде випаровуватися до тих пір, поки густина водяної пари $\rho_в$ не стане рівною густині насиченої водяної пари $\rho_{вн}$ за цієї температури. З таблиці (збірник задач Божинова) знаходимо, що $\rho_{вн}$(100 ºС) = 598 г/м^3. Це означає, що необхідно випарувати

$$m_{нв} = \rho_{вн}\cdot V = 598\text{ г/м}^3 \cdot 0{,}01\text{ м}^3 = 5{,}98\text{ г}$$

води для балона місткістю $V = 0{,}01$ м^3, щоби водяна пара була насиченою. Оскільки ми маємо тільки 3 г води, то вся вона випарується а тиск водяної пари можна знайти з рівняння стану ідеального газу:

$$p_п V = \frac{m}{M} R T_1 \qquad \Rightarrow \qquad p_п = \frac{mRT_1}{MV}.$$

Обчислюємо:

$$p_п = \frac{3\cdot10^{-3}\,г \cdot 8{,}31\frac{Дж}{моль\cdot К}\cdot 373\,К}{0{,}018\,кг/моль \cdot 0{,}01\,м^2} \approx 51660\cdot10^4\,Па = 5{,}2\cdot10^4\,Па.$$

Отже сумарний тиск в балоні становитиме:

$$p_1 = 136630\,Па + 51660\,Па = 188290\,Па \approx 1{,}88\cdot10^5\,Па.$$

Зауважте, якщо би ми додавали округлені до двох значущих цифр проміжні результати, то отримали б

$$p_1 = 1{,}4\cdot10^5\ Па + 5{,}2\cdot10^4\ Па = 1{,}92\cdot10^5\ Па,$$

що дещо відрізняється від точнішого результату. Це ще раз свідчить про те, що всі проміжні результати обчислено слід округлювати щонайменше до чотирьох значущих цифр.

Впр. 37 (Засекіна), задача 10.

Людина в окулярах заходить з вулиці, де температура повітря $t_1 = 5$ °С, у теплу кімнату, де температура повітря $t_2 = 25$ °С. За якої максимальної вологості повітря в кімнаті окуляри людини не запотівають?

$t_1 = 5$ °С
$t_2 = 25$ °С

$\varphi - ?$

Розв'язування. Температура окулярів така ж як і надворі, тому коли вони потрапляють в кімнату, в перший момент приповерхневі до окуляр шари повітря набувають такої ж температури. Якщо ця температура є нижчою від точки роси повітря кімнати (за заданої вологості φ), то будуть утворюватися краплини роси на поверхні окулярів.

Іншими словами, необхідно відшукати таку вологість повітря за температури 25 °С, щоби точка роси цього повітря була меншою від 5 °С.

Як відомо, відносну вологість визначають двома способами: через відношення парціального тиску p водяної пари до тиску насиченої пари $p_н$ за тієї ж температури: $\varphi = p/p_н$ (Засекіна) або відношення абсолютної вологості (густини водяної пари) ρ до густини насиченої водяної пари $\rho_н$: $\varphi = \rho/\rho_н$ (Бар'яхтар). Оскільки обидва визначення абсолютно тотожні, а таблиці дають значення як тиску насиченої пари, так і густини насиченої водяної пари, то ми можемо скористатися будь-яким з них.

Нехай відносна вологість визначається через відношення густин водяної пари:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_н}.$$

Тоді за температури 5 °С, пара утворюватиметься якщо густина водяної пари перевищуватиме $\rho_н(5^\circ C) = 6{,}8\,г/м^3$. Якщо температура в кімнаті з такою густиною водяної пари зросте до 25 °С, то відносна вологість становитиме

$$\varphi = \frac{\rho_н(5^\circ C)}{\rho_н(25^\circ C)}.$$

За температури 25 °С густина насиченої водяної пари становить $\rho_н(25^\circ C) = 23{,}1\,г/м^3$. Отже

$$\varphi = \frac{6{,}8\,г/м^3}{23{,}1\,г/м^3} \approx 0{,}2944 = 29{,}44\%.$$

Відповідь: Щоби окуляри не запотіли, відносна вологість не повинна перевищувати 29,44 %.

<u>УВАГА!</u> До речі, використання визначення відносної вологості як відношення тисків дає значення

$$\varphi = \frac{p_н(5^\circ C)}{p_н(25^\circ C)} = \frac{0{,}88\,кПа}{3{,}17\,кПа} \approx 27{,}76\%.$$

Таку суттєву розбіжність можна пояснити тільки неточними (надто округленими) табличними даними. Однак, незважаючи на це, будь-який розв'язок вважається вірним.

Впр. 37 (Засекіна), задача 11.

Узимку в кімнаті температура повітря $t_1 = 20$ °C за відносної вологості $\varphi_1 = 30$ %, а надворі за температури $t_2 = -10$ °C, відносна вологість $\varphi_2 = 90$ %. Визначте кількість водяної пари в 1 м^3 повітря в кімнаті та надворі. Яке з них містить більше вологи?

Розв'язування: Задача відносно легка, однак повністю відсутні табличні дані щодо густини насиченої водяної пари за температури -10 °C, тому дещо скорегуємо цю задачу і вважатимемо, що $t_2 = -5$ °C.

$t_1 = 20$ °C
$\varphi_1 = 30$ %
$t_2 = -10$ °C
$\varphi_2 = 90$ %

$\rho_1 - ?$
$\rho_1 - ?$

Як відомо, відносна вологість визначається через відношення густини водяної пари до густини насиченої водяної пари:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_н} \quad \Rightarrow \quad \rho = \varphi \cdot \rho_н .$$

Значення густин насиченої водяної пари за заданих температур візьмемо з таблиці

$$\rho_н(20\,^\circ C) = 17{,}3\,г/м^3, \quad \rho_н(-5\,^\circ C) = 3{,}2\,г/м^3$$

Тоді

$$\rho_1 = \varphi_1 \cdot \rho_н(20\,^\circ C) = 0{,}3 \cdot 17{,}3\,г/м^3 = 5{,}19\,г/м^3,$$
$$\rho_2 = \varphi_2 \cdot \rho_н(-5\,^\circ C) = 0{,}9 \cdot 3{,}2\,г/м^3 = 2{,}88\,г/м^3.$$

7. ЗАЛЕЖНІСТЬ ТИСКУ $p_{нас}$ І ГУСТИНИ $\rho_{нас}$ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ t

t, °C	$p_{нас}$, кПа	$\rho_{нас}$, г/м³	t, °C	$p_{нас}$, кПа	$\rho_{нас}$, г/м³
−5	0,40	3,2	20	2,33	17,3
−4	0,44	3,5	21	2,49	18,4
−3	0,48	3,9	22	2,64	19,4
−2	0,52	4,2	23	2,81	20,6
−1	0,56	4,5	24	2,98	21,8
0	0,61	4,8	25	3,17	23,1
1	0,65	5,2	26	3,36	24,4
2	0,71	5,6	27	3,57	25,8
3	0,76	6,0	28	3,78	27,2
4	0,81	6,4	29	4,0	28,7
5	0,88	6,8	30	4,25	30,3
6	0,93	7,3	35	5,63	39,6
7	1,0	7,8	40	7,38	51,2
8	1,06	8,3	45	9,59	65,3
9	1,14	8,8	50	12,34	83,0
10	1,23	9,4	60	19,93	130
11	1,33	10,0	70	31,18	198
12	1,40	10,7	80	47,37	293
13	1,49	11,4	90	70,12	424
14	1,60	12,1	100	101,32	598
15	1,71	12,8	120	200	1102
16	1,81	13,6	140	361	1894
17	1,93	14,5	160	618	3092
18	2,07	15,4	180	1002	4792
19	2,20	16,3	200	1555	7121