

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ГАЗА



Параметры состояния (давление p , температура T , удельный объем v) определяются одними и теми же величинами: скоростью молекул и расстоянием между ними, имеющими для каждого состояния определенные значения. Поэтому они связаны между собой однозначной зависимостью, называемой **термическим уравнением состояния**.

Термическое уравнение состояния или **уравнение состояния газа** или **уравнение Клапейрона** – это зависимость между термодинамическими параметрами газа для описания его равновесного состояния.

Бенуа́ Поль Эми́ль Клапейро́н

Учился в парижской политехнической школе (1816-1820). В 1820 отправился со своим товарищем Ламе в Россию, где был профессором в институте путей сообщения. Вернувшись в 1830 во Францию, Клапейрон участвовал в постройке многих железных дорог и составил множество проектов по постройке мостов и дорог.

Клапейрон известен работами по **термодинамике**. Физические исследования Клапейрона посвящены теплоте, пластичности и равновесию твердых тел. Он придал в 1834 г. математическую форму идеям С. Карно, впервые ввёл в термодинамику графический метод – индикаторные диаграммы, в частности предложил систему координат v - p .

В 1834 г. вывел уравнение состояния идеального газа, объединяющее закон Бойля – Мариотта, закон Гей-Люссака и закон Авогадро, обобщённое в 1874 г. Д.И. Менделеевым (уравнение Менделеева – Клапейрона).



УРАВНЕНИЕ КЛАПЕЙРОНА

Уравнение КЛАПЕЙРОНА -

для данной массы газа произведение абсолютного давления на удельный объем и деленное на абсолютную температуру есть величина постоянная

$$p v / T = \text{const} \quad (p_1 v_1 / T_1 = p_2 v_2 / T_2)$$

$$p v / T = R,$$

где R – удельная газовая постоянная, [Дж/кг*К]

Для 1кг газа – $p v = R T$,

Для массы газа – $p v \times m = m \times R T$ и получим

$$p V = m R T$$

УРАВНЕНИЕ КЛАПЕЙРОНА -МЕНДЕЛЕЕВА

Уравнение КЛАПЕЙРОНА-МЕНДЕЛЕЕВА - уравнение состояния для 1 кмоль газа.

В 1874 Д. И. Менделеев на основе уравнения Клапейрона, объединив его с законом Авогадро, используя молярный объем V_μ вывел уравнение состояния для 1 кмоль идеального газа:

Для этого $pV \times \mu = \mu \times RT$

$v \times \mu = V_\mu$, где V_μ - молярный объем для всех газов одинаков, $V_\mu = 22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$

$\mu \times R = R_\mu$ где R_μ универсальная газовая постоянная
 $R_\mu = 8314 \text{ Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К})$

Уравнение Клапейрона-Менделеева — уравнение состояния, применяемое с определенной степенью точности к реальным газам при нормальных физических условиях, когда свойства газов близки к идеальному газу.

$$pV_\mu = R_\mu T$$

МОЛЯРНАЯ МАССА

		Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева									VII		VIII	
I								(H)		2 He		 Периодический закон открыт Д.И. Менделеевым в 1869 г.		
1 1		II		III		IV		V		VI				4,002602 гелий
2	2	Li 3 6,941 литий	Be 4 9,01218 бериллий	5 B 10,811 бор	6 C 12,011 углерод	7 N 14,0067 азот	8 O 15,9994 кислород	9 F 18,998403 фтор	10 Ne 20,179 неон					
3	3	Na 11 22,98977 натрий	Mg 12 24,305 магний	13 Al 26,98154 алюминий	14 Si 28,0855 кремний	15 P 30,97376 фосфор	16 S 32,066 сера	17 Cl 35,453 хлор	18 Ar 39,948 аргон					
4	4	K 19 39,0983 калий	Ca 20 40,078 кальций	Sc 21 44,95591 скандий	Ti 22 47,88 титан	V 23 50,9415 ванадий	Cr 24 51,9961 хром	Mn 25 54,9380 марганец	Fe 26 55,847 железо	Co 27 58,9332 кобальт	Ni 28 58,69 никель			
4	5	29 Cu 63,546 медь	30 Zn 65,39 цинк	31 Ga 69,723 галлий	32 Ge 72,59 германий	33 As 74,9216 мышьяк	34 Se 78,96 селен	35 Br 79,904 бром	36 Kr 83,80 криптон					
5	6	Rb 37 85,4678 рубидий	Sr 38 87,62 стронций	Y 39 88,9059 иттрий	Zr 40 91,224 цирконий	Nb 41 92,9064 ниобий	Mo 42 95,94 молибден	Tc 43 [98] технеций	Ru 44 101,07 рутений	Rh 45 102,9055 родий	Pd 46 106,42 палладий			
5	7	47 Ag 107,8682 серебро	48 Cd 112,41 кадмий	49 In 114,82 индий	50 Sn 118,710 олово	51 Sb 121,75 сурьма	52 Te 127,60 теллур	53 I 126,9045 йод	54 Xe 131,29 ксенон					
6	8	Cs 55 132,9054 цезий	Ba 56 137,33 барий	La* 57 138,9055 лантан	Hf 72 178,49 гафний	Ta 73 180,9479 тантал	W 74 183,85 вольфрам	Re 75 186,207 рений	Os 76 190,2 осмий	Ir 77 192,22 иридий	Pt 78 195,08 платина			
6	9	79 Au 196,9665 золото	80 Hg 200,59 ртуть	81 Tl 204,383 таллий	82 Pb 207,2 свинец	83 Bi 208,9804 висмут	84 Po [209] полоний	85 At [210] астат	86 Rn [222] радон					
7	10	Fr 87 [223] франций	Ra 88 [226] радий	Ac** 89 [227] актиний	Rf 104 [261] резерфордий	Db 105 [262] дубний	Sg 106 [263] снборгий	Bh 107 [262] борий	Hs 108 [265] гасий	Mt 109 [266] майтерий	Ds 110 [271] дармштадтий			
7	11	111 Rg [272] рентгений	112 Uub [285] унубний	113 (Uut) [] унунтрий	114 Uuq [287] унунквадий	115 (Uup) [] унунпентий	116 Uuh [292] унунгексий	117 (Uus) [] унунсептий	118 Uuo [293] унуноктий					

Уравнение Клапейрона-Менделеева применяют для реальных газов, находящихся при нормальных физических условиях:
 $p = 760 \text{ мм рт.ст.} = 101325 \text{ Па}$,
 $t = 0^\circ\text{C}$, $T = 273\text{K}$.

Для определения молярной массы газа используют таблицу химических элементов Д.И. Менделеева.

В таблице для любого элемента указана атомная масса, например атомная масса кислорода, примерно, равна 16, а молекулярная 32, т.к. в молекуле кислорода два атома.

Соответственно молярная масса кислорода будет составлять

$$\mu_{\text{O}_2} = 32 \text{ кг/кмоль}$$

* Лантаноиды

Ce 58 140,12 церий	Pr 59 140,907 прозердий	Nd 60 144,24 неодим	Pm 61 [145] прометий	Sm 62 150,36 самарий	Eu 63 151,96 европий	Gd 64 157,25 гадолиний	Tb 65 158,9254 тербий	Dy 66 162,50 диспрозий	Ho 67 164,9304 гольмий	Er 68 167,26 эрбий	Tm 69 168,9342 тулий	Yb 70 173,04 иттербий	Lu 71 174,967 лютеций
--------------------------	-------------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	--------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

** Актиноиды

Th 90 232,0381 торий	Pa 91 [231] протактиний	U 92 238,0289 уран	Np 93 [237] нептуний	Pu 94 [244] плутоний	Am 95 [243] амерций	Cm 96 [247] курий	Bk 97 [247] берклий	Cf 98 [251] калifornий	Es 99 [252] эйзенштейний	Fm 100 [257] фермий	Md 101 [258] менделевий	No 102 [259] нобелий	Lr 103 [260] луренсий
----------------------------	-------------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-------------------------------	----------------------------	-----------------------------

Целое число в скобках – массовое число наиболее устойчивого изотопа

ВЫПОЛНИТЬ ЗАДАНИЕ

С помощью таблицы химических элементов Д. И. Менделеева определить удельный объём, плотность и удельную газовую постоянную для следующих газов:

азот N_2 , оксида углерода CO, водорода H_2

Пример: кислород, $\mu=32$ кг/кмоль

$v \times \mu = V_\mu$ или $v \times \mu = 22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$,
следовательно $v = 22,4:32 = 0,7 \text{ м}^3 / \text{кг}$,

а плотность $\rho = 1/ v = 1,4 \text{ кг/ м}^3$

$\mu \times R = R_\mu$ или $\mu \times R = 8314 \text{ Дж/(кмоль}\cdot\text{К)}$,
следовательно $R=8314/32 = 260 \text{ Дж/ кг}\cdot\text{К}$

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

1. Определить удельный объем углекислого газа, если его масса 2 кг, удельная газовая постоянная 189 Дж /кг*К, при температуре 56⁰С и давлении 4 ат.
2. Баллон с кислородом вместимостью 100 л находится при температуре 20⁰С и манометрическом давлении 10,8 МПа. Давление окружающей среды 100кПа, удельная газовая постоянная 260 Дж/кг*К. Найти массу кислорода.
3. Определить плотность и удельный объем кислорода и углекислого газа при нормальных физических условиях.
4. Определить молярную массу, удельную газовую постоянную кислорода, азота и углекислого газа при нормальных физических условиях.
5. Найти объем 1 кмолья газа при давлении 0,5 МПа и температуре 30⁰С.