

Моларна маса, мол

Закон на Авогадро - в два газа намиращи се при **еднакво налягане, обем и температура** има **еднакъв брой частици**. ([виж задача](#)) ([молекулно-кинетичната теория](#)).

Законът на Авогадро прави възможно **оценяването на атомните маси на химичните елементи** от Менделеев, в началото на миналия век.

Да разгледаме два газа. Масата на всеки един газ $M_1[kg]$ и $M_2[kg]$ е сума от масата на атомите или молекулите в него, тоест :

$$(1) \quad M_1 = \sum_{i=1}^{N_1} m_{1i} [kg]; \quad M_2 = \sum_{j=1}^{N_2} m_{2j} [kg]$$

Където

- $N_1[-]$ и $N_2[-]$ са съответно броят на атомите или молекулите в двата газа;
- $m_{1i}[kg]$ и $m_{2j}[kg]$ - масите на всяка една от молекулите в двата газа.

Ако всеки от двата газа е съставен от еднакви атоми или молекули, тоест $m_{11} = m_{12} = \dots = m_{1i} = m_1[kg]$ и $m_{21} = m_{22} = \dots = m_{2j} = m_2[kg]$ то:

$$(2) \quad M_1 = N_1 \cdot m_1 [kg]$$

$$(3) \quad M_2 = N_2 \cdot m_2 [kg]$$

Нека разделим (3) на (2) :

$$(4) \quad \frac{M_2}{M_1} = \frac{N_2 \cdot m_2}{N_1 \cdot m_1} [-]$$

Ако двата газа са поставени при **еднакви налягане, обем и температура**, то според **закона на Авогадро** $N_1 = N_2 = N$:

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{N \cdot m_2}{N \cdot m_1} [-]$$

$$(5) \quad \frac{M_2}{M_1} = \frac{m_2}{m_1} [-]$$

Тоест отношението на масите на атомите или молекулите на двата газа $m_1[kg]$ и $m_2[kg]$ – нещо, което е невъзможно да се измери пряко (масата на атома на водорода е $m_{1H^1} = 1,67353 \cdot 10^{-27} [kg]$, а тази на атома на урана $m_{92U^{238}} = 3,95293 \cdot 10^{-25} [kg]$) е равно на отношението на масите на двата газа $M_1[kg]$ и $M_2[kg]$.

Тъй като по времето, когато Менделеев е правил своите измервания, **водорода** е бил известен като **най-лекият** елемент, то той е взет като еталон – с **маса** $\mu_H = 1 [g/mol]$, и всички останали елементи са оценявани колко пъти по-тежки са от него.

За да бъде **водородният еталон** пълен, то трябва да бъдат избрани **налягане, температура и обем**.

За **еталонно налягане** е избрано $p_{\mu} = 101320 \text{ [Pa]} = 1 \text{ [atm]}$ или една атмосфера – защото не са необходими технически средства да се поддържа.

За **еталонна температура** е избрана $t_{\mu} = 0 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$ или $T_{\mu} = 273,15 \text{ [K]}$ - температурата на топящият се лед – също лесно се поддържа (докато в съд с вода има лед, то температурата остава 0°C).

За **еталонен обем** е избран обема $V_{\mu} \text{ [m}^3\text{]}$, при който водорода ще има маса 2 грама ($0,002 \text{ [kg]}$) (при $p = 1 \text{ [atm]}$ и $t_{\mu} = 0 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$ водородът се намира под формата на двуатомен газ H_2), тоест :

$$(6) V_{\mu} = \frac{0,002}{\rho_{\text{H}_2}(1\text{atm}, 0^{\circ}\text{C})} \text{ [m}^3\text{]}$$

Плътността на водорода H_2 при нормални условия е $\rho_{\text{H}_2}(1\text{[atm]}, 0\text{[}^{\circ}\text{C]}) = 0,0899 \text{ [kg / m}^3\text{]}$. Заместваме с конкретните стойности в (6) :

$$V_{\mu} = \frac{0,002}{0,0899} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$(7) V_{\mu} = 0,0222469 \text{ [m}^3\text{]}$$

Забележка : Тъй като в средата на миналият век, за еталон е избран 1/12 от масата на изотопа въглерод 12 - ^{12}C , тоест приет е **въглероден еталон**, то моларният обем е променен на $V_{\mu} = 0,0224138277 \text{ [m}^3\text{]}$. При това положение водорода в Менделеевата таблица вече ще е с маса $\mu_{\text{H}} = 1,0078 \text{ [g / mol]}$.

Параметрите $p_{\mu} = 101320 \text{ [Pa]}$, $t_{\mu} = 0 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$ / $T_{\mu} = 273,15 \text{ [K]}$ и $V_{\mu} = 0,0222469 \text{ [m}^3\text{]}$ се наричат **моларни налягане, температура и обем** и са основата на понятието **МОЛ** (частица).

Да предположим, че е възможно да съществува газ от едноатомен водород при нормални (моларни) условия. Записваме [уравнението на идеалния газ](#) за моларните параметри и за $m_{\text{H}} = 0,001 \text{ [kg]}$:

$$p_{\mu} \cdot V_{\mu} = m_{\text{H}} \cdot R_{\text{H}} \cdot T_{\mu} \text{ [J]}$$

$$(8) R_{\text{H}} = \frac{p_{\mu} \cdot V_{\mu}}{m_{\text{H}} \cdot T_{\mu}} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Заместваме с конкретните стойности ($V_{\mu} = 0,02241396213 \text{ [m}^3\text{]}$) :

$$R_{\text{H}} = \frac{101320 \cdot 0,02241396213}{0,001 \cdot 273,15} \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$R_{\mu} = R_{\text{H}} = 8314,41 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] - \text{тоест получихме [универсалната газова константа](#)}$$

Ако водородът можеше да съществува при $p_{\mu} = 101320 \text{ [Pa]}$ и $t_{\mu} = 0 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$ като едноатомен газ, и го поставим в обем от $V_{\mu} = 22,2469 \text{ [l]}$, то той би имал маса $\mu_{\text{H}} = 1 \text{ [g / mol]}$.

За всички химични елементи, освен инертните газове, мола е абстрактно понятие – невъзможно е да съществуват като едноатомни газове при нормални условия.

От тук нататък, за да се оцени масата на атома на един химически елемент, спрямо тази на водорода (да се определи моларната му маса) е достатъчно да се знае химическата формула на молекулата в която участва и плътността на газът при нормални условия.

Пример 1

Да определим **моларната маса** на хелия.

1. Химическата формула на хелия е **He** – инертен **едноатомен** газ.
2. Плътността на хелия при нормални условия е $\rho_{\text{He}}(1[\text{atm}], 0[^{\circ}\text{C}]) = 0,18 \text{ [kg / m}^3\text{]}$

Тогава моларната маса на хелия ще бъде :

$$\mu_{\text{He}} = V_{\mu} \cdot \rho_{\text{He}}(1[\text{atm}], 0[^{\circ}\text{C}]) \left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$$

Заместваме с конкретните стойности :

$$\mu_{\text{He}} = 0,0222469 \cdot 0,18 = 0,004 \text{ [kg / mol]} = 4 \text{ [g / mol]}$$

Пример 2

Да определим **моларната маса** на кислорода.

1. Химическата формула на кислорода е **O₂** – тоест той представлява **двуатомен** газ.

2. Плътността на кислорода (**O₂**) при нормални условия е $\rho_{\text{O}_2}(1[\text{atm}], 0[^{\circ}\text{C}]) = 1,44 \text{ [kg / m}^3\text{]}$

Тогава моларната маса на кислорода ще бъде :

$$\mu_{\text{O}} = \frac{V_{\mu} \cdot \rho_{\text{O}_2}(1[\text{atm}], 0[^{\circ}\text{C}])}{2} \left[\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

Заместваме с конкретните стойности :

$$\mu_{\text{O}} = \frac{0,0222469 \cdot 1,44}{2} = 0,016 \text{ [kg / mol]} = 16 \text{ [g / mol]}$$

Пример 3

Да определим **моларната маса** на въглерода, използвайки **въглеродният двуокис**.

1. Химическата формула на въглеродният двуокис е **CO₂**.
2. Моларната маса на кислорода е $\mu_{\text{O}} = 0,016 \text{ [kg / mol]}$.
3. Плътността на въглеродният двуокис при нормални условия е $\rho_{\text{CO}_2}(1[\text{atm}], 0[^{\circ}\text{C}]) = 1,98 \text{ [kg / m}^3\text{]}$

Тогава моларната маса на въглерода ще бъде :

$$\mu_C = V_\mu \cdot \rho_{CO_2} (1[atm], 0[^\circ C]) - 2 \cdot \mu_O \left[\frac{kg}{mol} \right]$$

Заместваме с конкретните стойности :

$$\mu_C = 0,0222469 \cdot 1,98 - 2 \cdot 0,016 = 0,012 \left[\frac{kg}{mol} \right] = 12 \left[\frac{g}{mol} \right]$$

Пример 4

Да определим **моларната маса** на **бром**.

1. Химическата формула на брома е **Br₂** - при нормални условия той **течно** (при 1 атмосфера кипи при 59°C).

2. Плътността на брома при нормални условия ще определим използвайки идеята за идеален газ и данни за плътността му при $\rho_{Br_2} (p_1 = 50[kPa], t_1 = 120[^\circ C]) = 2,447 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

Нормализираме входните данни :

$$p_1 = 50[kPa] = 50 \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^4 [Pa]$$

$$T_1 = t_1 + 273,15 = 120 + 273,15 = 393,15 [K]$$

Записваме уравнението на идеалния газ за състояние **0** (нормални/моларни условия) и **1** на газа :

$$p_0 \cdot V_0 = m \cdot R \cdot T_0 [J] \rightarrow (9) \quad \rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{p_0}{R \cdot T_0} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$p_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1 [J] \rightarrow (10) \quad \rho_1 = \frac{m}{V_1} = \frac{p_1}{R \cdot T_1} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Делим **(9)** на **(10)** :

$$\frac{\rho_0}{\rho_1} = \frac{\frac{p_0}{R \cdot T_0}}{\frac{p_1}{R \cdot T_1}} [-]$$

$$(11) \quad \rho_0 = \rho_1 \cdot \frac{p_0 \cdot T_1}{p_1 \cdot T_0} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Заместваме с конкретните стойности :

$$\rho_0 = 2,447 \cdot \frac{101325 \cdot 393,15}{5 \cdot 10^4 \cdot 273,15} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_0 = \rho_{Br_2} = 7,139 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Тоест получихме колко би била плътността на двуатомния бром, ако той би могъл да съществува при нормални условия като идеален газ :

$$\rho_{Br_2} (1[atm], 0[^\circ C]) = 7,139 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Тогава моларната маса на брома ще бъде :

$$\mu_{Br} = \frac{V_\mu \cdot \rho_{Br_2} (1[atm], 0[^\circ C])}{2} \left[\frac{kg}{mol} \right]$$

Заместваме с конкретните стойности :

$$\mu_{Br} = \frac{0,0222469.7,139}{2} \approx 0,08 \left[\frac{kg}{mol} \right] = 80 \text{ [g / mol]}$$

Изхождайки от (5) да видим какво получихме до тук, за химическите елементи **He, O, C и Br**.

$$\frac{M_{He}}{M_H} = \frac{\mu_{He}}{\mu_H} = \frac{4}{1} = 4 = \frac{m_{He}}{m_H} [-] \rightarrow m_{He} = 4.m_H \text{ [kg]}$$

Тоест оценихме, че масата на атома на хелия е **4 пъти** по голяма от тази на водорода.

$$\frac{M_C}{M_H} = \frac{\mu_C}{\mu_H} = \frac{12}{1} = 12 = \frac{m_C}{m_H} [-] \rightarrow m_C = 12.m_H \text{ [kg]}$$

Масата на атома на въглерода е **12 пъти** по голяма от тази на водорода.

$$\frac{M_O}{M_H} = \frac{\mu_O}{\mu_H} = \frac{16}{1} = 16 = \frac{m_O}{m_H} [-] \rightarrow m_O = 16.m_H \text{ [kg]}$$

Масата на атома на кислорода е **16 пъти** по голяма от тази на водорода.

$$\frac{M_{Br}}{M_H} = \frac{\mu_{Br}}{\mu_H} = \frac{80}{1} = 80 = \frac{m_{Br}}{m_H} [-] \rightarrow m_{Br} = 80.m_H \text{ [kg]}$$

Масата на атома на брома е **80 пъти** по голяма от тази на водорода.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ					
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСЪ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ					
		Tl = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198	
		Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.	
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200	
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	U = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Pr = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		
Д. Менделѣевъ					

Менделеева таблица от 1905г с масите на познатите тогава химически елементи

Забележка :Тъй като по времето, когато Менделеев е правил своите измервания, все още понятието „*изотоп*” не е съществувало, то измерванията на плътността на газовете на химичните елементи и от там определянето на техните моларни маси, са направени на така наречените природни изотопи.

Да вземем например Никела. В природата съществуват 5 негови изотопа. В таблица 1 са дадени моларните им маси и относителното им съдържание в природния Никел. Тогава моларната маса на химичният елемент от Менделеевата таблица ще получим по формулата :

$$\mu_{Ni} = c_{58} \cdot \mu_{Ni^{58}} + c_{60} \cdot \mu_{Ni^{60}} + c_{61} \cdot \mu_{Ni^{61}} + c_{62} \cdot \mu_{Ni^{62}} + c_{64} \cdot \mu_{Ni^{64}} \quad [g / mol]$$

Таблица 1.

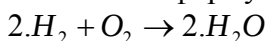
Брой нуклони	Моларна маса на изотопа $\mu_{Ni^A} \quad [g / mol]$	Относително съдържание в природния <i>Ni</i> - $c_A \quad [-]$	$c_A \cdot \mu_{Ni^A} \quad [g / mol]$
58	57,93534297	0,68076989	39,44063706
60	59,93078647	0,26223177	15,71575621
61	60,93105607	0,0113996	0,694589667
62	61,92834516	0,03634517	2,250796233
64	63,92796607	0,0092569	0,591774789
$\mu_{Ni} = \sum c_A \cdot \mu_{Ni^A} =$			58,6935539

Оценката на това колко тежки са атомите на химичните елементи спрямо водородния, намира приложение и в **стехиометрията** тоест изчисляване на реагентите и продуктите в дадена химична реакция.

Пример 5

Колко масови части кислород и водород трябва да се смесят, така че да се получи 1 масова част вода?

1. Химическа формула на процеса :



2. Масова формула :

$$m_{H_2} + m_{O_2} = m_{H_2O}$$

3. Моларна маса на необходимият за реакцията водород :

$$m_{H_2} = 2.(2.\mu_H) = 2.(2.1) = 4 \quad [g / mol]$$

4. Моларна маса на необходимият за реакцията кислород :

$$m_{O_2} = 2.\mu_O = 2.16 = 32 \quad [g / mol]$$

5. Моларна маса на получената вода :

$$m_{H_2O} = 2.(2.\mu_H + \mu_O) = 2.(2.1 + 16) = 36 \quad [g / mol]$$

6. Заместваме в уравнението на масите :

$$4.m_{H_2} + 32.m_{O_2} = 36.m_{H_2O} \quad [g / mol]$$

7. Делим горното уравнение на моларната маса на водата :

$$\frac{4}{36}.m_{H_2} + \frac{32}{36}.m_{O_2} = \frac{36}{36}.m_{H_2O} \quad [-]$$

$$\frac{1}{9}.m_{H_2} + \frac{8}{9}.m_{O_2} = 1.m_{H_2O} \quad [-]$$

Тоест, за да получим 1 масова част вода **H₂O**, трябва да смесим **1/9** масови части водород **H₂** и **8/9** масови части кислород **O₂**. В случаят дименсията на масовите части е без значение.