

## НАХОЖДЕНИЕ СРЕДНИХ МАКРОПАРАМЕТРОВ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.С. Калашников

Республиканская естественно-математическая школа, Адыгейский государственный университет, г. Майкоп

Получено среднее значение молярной массы воздуха в двух случаях, когда имеется процентное его содержание по объему и по массе. В качестве исходных данных взят состав сухого воздуха земной атмосферы на уровне моря. Так же в работе рассчитана средняя атомная масса элемента (на примере серы) по имеющемуся изотопному составу.

Для воздуха, как для системы с большим количеством молекул, рассчитаем среднее значение молярной массы, исходя из данных по составу сухого воздуха земной атмосферы на уровне моря [1].

### Состав сухого воздуха земной атмосферы на уровне моря

Элемент или молекула	Молекулярная масса	Процент содержания	
		по объему	по массе
Азот N <sub>2</sub>	28,0134	78,084	75,523
Кислород O <sub>2</sub>	31,9948	20,948	23,142
Аргон Ar	39,948	0,934	1,28
Углекислый газ CO <sub>2</sub>	44,010	0,0320	0,045
Неон Ne	20,183	0,00182	0,0012
Гелий He	4,003	0,000534	0,000073
Метан CH <sub>4</sub>	16,043	0,00023	0,000084
Криптон Kr	83,80	0,000114	0,003
Водород H <sub>2</sub>	2,016	0,000064	0,000003
Закись азота N <sub>2</sub> O	44,013	0,00005	0,000008
Ксенон Xe	131,30	0,000008	0,000039
Озон O <sub>3</sub>	47,998	~ 10 <sup>-6</sup>	переменное
Двуокись азота NO <sub>2</sub>	46,01	~ 10 <sup>-6</sup>	переменное

1. Рассмотрим процентное содержание компонент воздуха по объему. Очевидно, что:

$$V_i = \omega_i \cdot V,$$

где  $V_i$  объем доли воздуха,  $V$  - объем всего воздуха,  $\omega_i$  - объемная доля компоненты воздуха. Так как

$$V = \sum V_i \Leftrightarrow V = \sum \omega_i \cdot V \Leftrightarrow 1 = \sum \omega_i.$$

Умножим последнее выражение на число Авогадро:

$$1 = \sum \omega_i \times N_a,$$

$$N_a = \sum (\omega_i \cdot N_a) = \sum N_i,$$

здесь  $N_i = \omega_i \cdot N_a$  - число молекул в доле.

Молярная масса - это масса всех молекул в моле, поэтому:

$$\bar{\mu} = m_{01} \cdot N_1 + m_{02} \cdot N_2 + \dots = m_{01} \cdot \omega_1 \cdot N_a + m_{02} \cdot \omega_2 \cdot N_a + \dots,$$

а молярная масса доли равна:

$$m_{01} \cdot N_a = \mu_1,$$

следовательно,

$$\bar{\mu} = \sum (m_{0i} \cdot N_i) = \sum (m_{0i} \cdot N_a \omega_i) = \sum (\mu_i \omega_i).$$

Таким образом, среднее значение молярной массы воздуха в случае процентного содержания его компонент по объему равно:

$$\bar{\mu} = \sum (\mu_i \omega_i). \quad (1)$$

Найдем численное значение молярной массы:

$$\begin{aligned} \bar{\mu} = \sum (\mu_i \cdot \omega_i) = \omega_1 \cdot \mu_1 + \omega_2 \cdot \mu_2 + \dots = & (75,523 \cdot 28,0134 + 23,142 \cdot 31,9948 + 1,28 \cdot 39,948 + \\ & + 0,003 \cdot 83,80 + 0,045 \cdot 44,010 + 0,0012 \cdot 20,183 + 0,000073 \cdot 4,003 + 0,000084 \cdot 16,043 + \\ & + 0,000003 \cdot 2,016 + 0,000008 \cdot 44,013 + 0,000039 \cdot 131,30) \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 2896,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}. \end{aligned}$$

Получили численное значение молярной массы воздуха в случае процентного содержания его компонент по объему:

$$\bar{\mu}_V = 2896,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}. \quad (2)$$

2. Рассмотрим процентное содержание компонент воздуха по массе. В этом случае среднее значение молярной массы равно:

$$\begin{aligned} \bar{\mu} = \frac{m}{\nu} = \frac{m}{\sum \nu_i} = \frac{m}{\sum \left( \frac{m_i}{\mu_i} \right)} = \frac{m}{m \sum \left( \frac{\omega_{im}}{\mu_i} \right)} = \frac{1}{\sum \left( \frac{\omega_{im}}{\mu_i} \right)} \Rightarrow \\ \bar{\mu} = \frac{1}{\sum \left( \frac{\omega_{im}}{\mu_i} \right)}, \quad (3) \end{aligned}$$

где  $m$  - масса вещества;  $\nu$  - общее количество молей,  $\omega_{im}$  - массовая доля компоненты воздуха. Вычислим сумму:

$$\begin{aligned} \sum \left( \frac{\omega_i}{\mu_i} \right) = \frac{\omega_1}{\mu_1} + \frac{\omega_2}{\mu_2} + \dots = & \left( \frac{75,523}{28,0134} + \frac{23,142}{31,9948} + \frac{1,28}{39,948} + \frac{0,045}{44,010} + \frac{0,0012}{20,183} + \right. \\ & + \frac{0,000073}{4,003} + \frac{0,000084}{16,043} + \frac{0,003}{83,80} + \frac{0,000003}{2,016} + \\ & \left. + \frac{0,000008}{44,013} + \frac{0,000039}{131,30} \right) \cdot \frac{10^{-2}}{10^{-3}} = 34,524 \frac{\text{моль}}{\text{кг}}, \end{aligned}$$

тогда

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_m = \frac{1}{\sum \left( \frac{\omega_{im}}{\mu_i} \right)} = 0,028965 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \Rightarrow \\ \bar{\mu}_m = 2896,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}. \quad (4) \end{aligned}$$

Таким образом, несмотря на различное процентное содержание компонент сухого воздуха по массе и по объему, несмотря на разные расчетные формулы (1) и (3), средние значения молярной массы (2) и (4) хорошо согласуются между собой:

Рассчитаем среднюю атомную массу элемента по имеющемуся изотопному составу.

В природе элементы за редким исключением существуют в виде смесей из нескольких изотопов. Это ведет к тому, что атомная масса природного элемента несколько отличается от атомной массы любого из его изотопов.

Обозначение изотопов (на примере алюминия) приведено на рисунке 1,

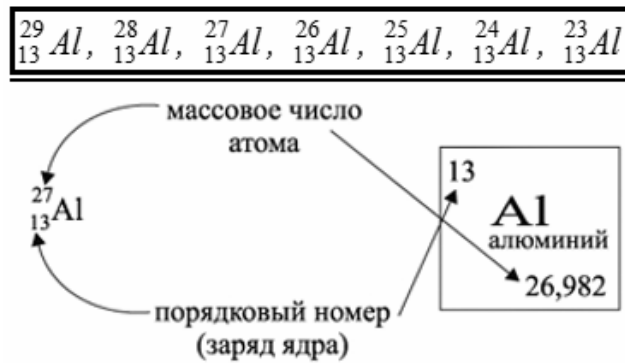
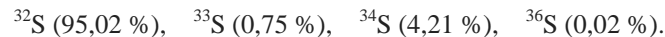


Рис. 1. Обозначение изотопов (на примере алюминия)

где показано, что изотопы какого-нибудь одного элемента обозначаются одним и тем же символом, а меняются только массовые числа в верхней части символа.

*Изотопный состав* - соотношение различных изотопов, присутствующих в данном элементе. Изотопный состав выражается в весовых или атомных процентах.

Средняя атомная масса найденного в природе элемента зависит от того, сколько в нем содержится разных изотопов. Например, природная сера состоит из четырех стабильных изотопов:



Эта информация приводится в справочниках по химии, но непонятно, это доли по массе или объему?

Вычислим среднее значение атомной массы серы по нашим двум формулам (1) и (3) и сравним с числом, приведенным в таблице Менделеева [2]:

$$\mu = 32,066 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}. \quad (5)$$

Изотоп	Z(p)	N(n)	Относительная атомная масса
$^{32}\text{S}$	16	16	31,97207100
$^{33}\text{S}$	16	17	32,97145876
$^{34}\text{S}$	16	18	33,96786690
$^{35}\text{S}$	16	19	34,96903216
$^{36}\text{S}$	16	20	35,96708076

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_V &= \sum(\mu_i \cdot \omega_i) = (0,9502 \cdot 0,3197 + 0,0075 \cdot 0,3297 + \\ &+ 0,0421 \cdot 0,3397 + 0,0002 \cdot 0,3597) = 32,064 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}; \\ \bar{\mu}_m &= \frac{1}{\sum\left(\frac{\omega_i}{\mu_i}\right)} = \frac{1}{\frac{0,9502}{0,3197} + \frac{0,0075}{0,3297} + \frac{0,0421}{0,3397} + \frac{0,0002}{0,3597}} = 32,059 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}. \end{aligned}$$

Сопоставляя полученные результаты  $\bar{\mu}_V$  и  $\bar{\mu}_m$  с результатом, приведенным в таблице Менделеева (5), делаем вывод, что при записи изотопного состава элемента приводятся доли компонент по объему.

Автор выражает благодарность доценту И.Н. Жуковой за консультации.

**Литература**

1. *Куликовский П.Г.* Справочник любителя астрономии. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с. с. 59.
2. *Рымкевич А.П.* Сборник задач по физике для 8-10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1987. – 191 с.

**FINDING AVERAGE MACROPARAMETERS OF THERMODYNAMIC SYSTEMS****E.S. Kalashnikov**

The average value of the molar mass of air is obtained in two cases when there is a percentage of its content by volume and by mass. The composition of the dry air of the Earth's atmosphere at sea level is taken as initial data. The paper also calculates the average atomic mass of an element (using the example of sulfur) based on the available isotopic composition.