

# Лекция 5

- Газовые смеси.
- Способы задания газовых смесей

# Понятие о смесях

- ▶ В качестве рабочих тел кроме чистых веществ, имеющих одинаковые молекулы, часто используют **однородные смеси** этих веществ (растворы).
- ▶ Смеси состоят из нескольких чистых веществ, называемых **компонентами смеси**, которые не вступают друг с другом в химические реакции.

## Чистые вещества:

- Кислород
- Водород
- Аммиак
- Вода

## Однородные газовые смеси:

- Атмосферный воздух
- Латунь, бронза

## При рассмотрении смесей предполагается, что:

- ▶ Каждый газ, входящий в состав смеси, ведёт себя так, как будто он один занимает весь объем смеси, т.е. его объем равен объему всей смеси;
- ▶ Каждый из компонентов смеси имеет температуру, равную температуре смеси;
- ▶ Каждый газ, входящий в состав смеси имеет определённое давление, называемое **парциальным**.

## Закон Дальтона

Под **парциальным давлением** понимают давление, которое имел бы каждый газ, находящийся в смеси, если бы он один занимал объем, равный объёму смеси при той же температуре.

Закон Дальтона (1766—1844 гг.) формулируется так: **если смесь состоит из газов, которые не вступают между собой в химические реакции, то каждый газ ведет себя так, как будто он один занимает весь объем, в котором находится смесь..**

Давление смеси равно сумме парциальных давлений компонентов:

$$P_{см} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

# Способы задания газовой смеси

- ▶ Газовый состав смеси, характеризуется количественным содержанием каждого компонента, входящего в смесь.
- ▶ Количественное соотношение отдельных компонентов смеси задают **массовыми, объёмными и мольными долями.**

**Массовой долей компонента смеси  $g_i$**   
называется величина, равная  
отношению массы компонента к массе  
всей смеси.

В этих отношениях те  $m_1, m_2, \dots, m_n$  — массы отдельных газов, входящих в смесь;  $m_{см}$  — масса смеси газов. Очевидно, что

$$\frac{m_1}{m_{см}} = g_1; \quad \frac{m_2}{m_{см}} = g_2; \quad \frac{m_n}{m_{см}} = g_n;$$

$$m_1 + m_2 + \dots + m_n = m_{см}$$

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1$$

**Объемной долей компонента смеси  $r_i$**  называется величина, равная отношению парциального объема компонента к полному объему смеси.

$$\frac{V_1}{V_{см}} = r_1; \quad \frac{V_2}{V_{см}} = r_2; \quad \dots; \quad \frac{V_n}{V_{см}} = r_n;$$

В этих отношениях  $V_1, V_2, \dots, V_n$  — объемы отдельных газов, входящих в смесь, взятых при давлении и температуре смеси, называют **приведенными или парциальными объемами** данных компонентов.

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1$$

Сумма объёмных долей компонентов смеси равна единице:

# Свойства смесей

- ▶ Плотность смеси  $\rho$ .

$$\rho = \sum_{i=1}^n r_i \rho_i$$

- ▶ Удельный объем газовой смеси  $\nu$

$$\nu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n r_i \rho_i}$$



- ▶ Газовая постоянная смеси  $R$

$$R = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{r_i}{R_i} \right)} = \frac{8314}{\sum_{i=1}^n (r_i M_i)}$$

- ▶ Кажущаяся молярная масса смеси  $M$ .

$$M = \sum_{i=1}^n r_i M_i = \frac{8314}{R}$$

# Смесь идеальных газов

- Общее давление смеси газов:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n = \sum P_i$$

- Объемные доли:

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{см}} \quad r_2 = \frac{V_2}{V_{см}} \quad r_n = \frac{V_n}{V_{см}}$$

- Массовые доли:

$$m_1 = \frac{M_1}{M_{см}} \quad m_2 = \frac{M_2}{M_{см}} \quad m_n = \frac{M_n}{M_{см}}$$

- Мольные доли:

$$r'_1 = \frac{\nu_1}{\nu_{см}} \quad r'_2 = \frac{\nu_2}{\nu_{см}} \quad r'_n = \frac{\nu_n}{\nu_{см}}$$

## Формулы для расчета смесей

Между массовыми и объемными долями существует зависимость, которую для любого газа, входящего в смесь, например для  $n$ -ного, можно получить следующим образом:

$$g_n = \frac{m_n}{m_{см}}$$

$$m_n = \rho_n V_n$$

$$m_{см} = \rho_{см} V_{см}$$

$$g_n = \frac{m_n}{m_{см}} = \frac{\rho_n V_n}{\rho_{см} V_{см}}$$

$$g_n = \frac{\rho_n V_n}{\rho_{см} V_{см}} = \frac{\mu_n}{\mu_{см}} r_n$$

$$R_n = \frac{8314}{\mu_n}; \quad \mu_n = \frac{8314}{R_n};$$

$$R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}}; \quad \mu_{см} = \frac{8314}{R_{см}};$$

$$g_n = \frac{\mu_n}{\mu_{см}} r_n = \frac{R_{см}}{R_n} r_n$$

$$g_n = \frac{R_{см}}{R_n} r_n; \quad r_n = \frac{R_n}{R_{см}} g_n \quad (11) \quad (12)$$

Эти соотношения справедливы для любого газа, входящего в смесь.

Рассмотрим способ определения состава смеси через числа киломолей компонентов. Пусть смесь состоит из  $n$  газов; тогда приведенные объемы каждого из них можно выразить числом киломолей, т. е.

$$V_1 = V_{\mu_1} \nu_1;$$

.....

$$V_n = V_{\mu_n} \nu_n;$$

$\nu_1, \nu_2, \nu_n$  — их числа киломолей. Объем смеси газов также можно выразить числом киломолей,

т. е.

$$V_{см} = V_{\mu_{см}} \nu_{см}$$

где  $\nu_{см}$  — число киломолей смеси, равное частному от деления массы смеси на кажущуюся молекулярную массу смеси.

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{см}} = \frac{V_{\mu 1} V_1}{V_{\mu см} V_{см}} \quad (13)$$

Учитывая, что объем киломолей для всех газов, в том числе и для смеси, при одинаковых параметрах есть величина постоянная, последнее уравнение можем переписать в виде

$$r_1 = \frac{V_1}{V_{см}}$$

$$r_{\mu 2} = \frac{V_2}{V_{см}}; \dots; r_{\mu n} = \frac{V_n}{V_{см}}; \quad (14)$$

$$V_{см} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Таким образом, задание смеси числом киломолей равносильно заданию ее объемными долями.

Найдём кажущуюся молекулярную массу смеси: вычисляем её для каждого компонента  $g_i$

Из уравнения следует, что

$$g_i = \frac{\mu_i}{\mu_{см}} r_i; \quad \sum g_i = \frac{\mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n}{\mu_{см}}$$

$$\sum g_i = 1; \quad 1 = \frac{\mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n}{\mu_{см}}$$

$$\mu_{см} = \mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n \quad (15)$$

$$\mu_{см} = \frac{1}{\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n}}$$

**а) Если смесь задана объемными долями:**

$$R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}}; \quad R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}} = \frac{8314}{\mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 + \dots + \mu_n r_n}$$

$$\mu_{см} = \frac{1}{\frac{r_1}{R_1} + \frac{r_2}{R_2} + \dots + \frac{r_n}{R_n}} \quad (16)$$

**б) Если смесь задана массовыми долями:**

$$R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}} = 8314 \left( \frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n} \right) \quad R_i = \frac{8314}{\mu_i}; \quad \mu_i = \frac{8314}{R_i}$$

$$R_{см} = g_1 R_1 + g_2 R_2 + \dots + g_n R_n \quad (17)$$

**а) Если смесь задана  
объемными долями:**

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \frac{V_1}{V_{см}} P_{см} = r_1 P_{см} \\ \dots \\ P_n = \frac{V_n}{V_{см}} P_{см} = r_n P_{см} \end{array} \right. \quad (18)$$

$$r_i = g_i \frac{\mu_{см}}{\mu_i} = g_i \frac{R_i}{R_{см}}$$

**б) Если смесь задана  
массовыми долями:**

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = g_1 \frac{\mu_{см}}{\mu_1} P_{см} = g_1 \frac{R_1}{R} P_{см} \\ \dots \\ p_n = g_n \frac{\mu_{см}}{\mu_n} P_{см} = g_n \frac{R_n}{R} P_{см} \end{array} \right. \quad (19)$$

# Домашнее задание

- Решить задачи:
- Задача 1
- Определите объемную долю кислорода в газовой смеси, состоящей из азота и кислорода, массы которых соответственно равны 7 г и 16 г



# Задача 2

- Для смеси газов, имеющей массовый состав: водорода ( $H_2$ ) – 4%, метана ( $CH_4$ ) – 40%, ацетилена ( $C_2H_2$ ) – 2%, диоксида углерода ( $CO_2$ ) – 21%, азота ( $N_2$ ) – 33% определить газовую постоянную смеси, молекулярную массу смеси, удельный объем смеси, плотность смеси и парциальные давления компонентов. Давление смеси  $p_{см} = 2,9$  бар, температура смеси  $t_{см} = 37^\circ C$ .