

# Массопередача

## Практическое занятие № 1

Способы выражения концентраций. Об этом будем говорить на лекции.

Название	Что показывает	Обозначение		Единица измерения
		$\Phi_x$	$\Phi_y$	
Массовая доля	$\frac{\text{кг } A}{\text{кг } (A + B)}$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	<b>Не имеет!</b>
Молярная доля, для газов равна объёмной доле	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } (A + B)}$	$x$	$y$	<b>Не имеет!</b>
Относительная массовая концентрация	$\frac{\text{кг } A}{\text{кг } B}$	$\bar{X}$	$\bar{Y}$	$\frac{\text{кг } A}{\text{кг } B}$
Относительная молярная концентрация	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } B}$	$X$	$Y$	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } B}$
Объёмная массовая концентрация	$\frac{\text{кг } A}{\text{м}^3 (A + B)}$	$\bar{C}_x$	$\bar{C}_y$	$\frac{\text{кг } A}{\text{м}^3 \text{ смеси}}$
Объёмная молярная концентрация	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{м}^3 (A + B)}$	$C_x$	$C_y$	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{м}^3 \text{ смеси}}$

Тема:

1. способы выражения концентраций и их взаимный пересчёт;
2. определение давления пара по уравнению Антуана.

Перед решением задач показать способы выражение концентраций и расчёт давления пара по графикам и уравнению Антуана.

### Задача 1

Смешали два равных объёма бензола и хлорбензола. Считая объём смеси равным сумме объёмов компонентов, определить плотность смеси, относительную массовую концентрацию хлорбензола  $\bar{X}_{x\bar{b}}$  и его объёмную мольную концентрацию  $C_x$ .

### Решение

Плотность – масса в единице объёма. Допустим, что смешали по  $1 \text{ м}^3$  каждого компонента (при  $20^\circ$ ). Тогда массы этих кубометров будут равны их плотностям: для бензола 879 кг, для хлорбензола 1107 кг. Общая масса 1986 кг. Плотность смеси

$$\rho_{см} = \frac{m_{см}}{V_{см}} = \frac{1986}{2} = 993 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Относительная массовая концентрация хлорбензола

$$\bar{X}_{x\bar{b}} = \frac{m_{x\bar{b}}}{m_{\bar{b}}} = \frac{1107}{879} = 1,26 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Объёмная мольная концентрация хлорбензола: число молей хлорбензола  $1107 \text{ кг}/113=9.8$  кмоль в  $2 \text{ м}^3$ , а в одном

$$C_x = \frac{9.8}{2} = 4.9 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^3}.$$

## Задача 2

Состав жидкой смеси в мольных процентах: хлороформа – 20%, ацетона – 40%, сероуглерода 40%. Определить плотность смеси, считая, что изменения объёма не происходит.

### Решение

Плотность – масса в единице объёма. Поэтому сначала переходим из мольных процентов в массовые доли. Мольная масса 1-го компонента  $M_1=119.5$ ; 2-го  $M_2=58$ ; 3-го  $M_3=76$ . Тогда

$$\bar{x}_1 = \frac{20 \times 119,5}{20 \times 119,5 + 40 \times 58 + 40 \times 76} = 0.308,$$

*аналогично*

$$\bar{x}_2 = 0.299,$$

$$\bar{x}_3 = 0.392.$$

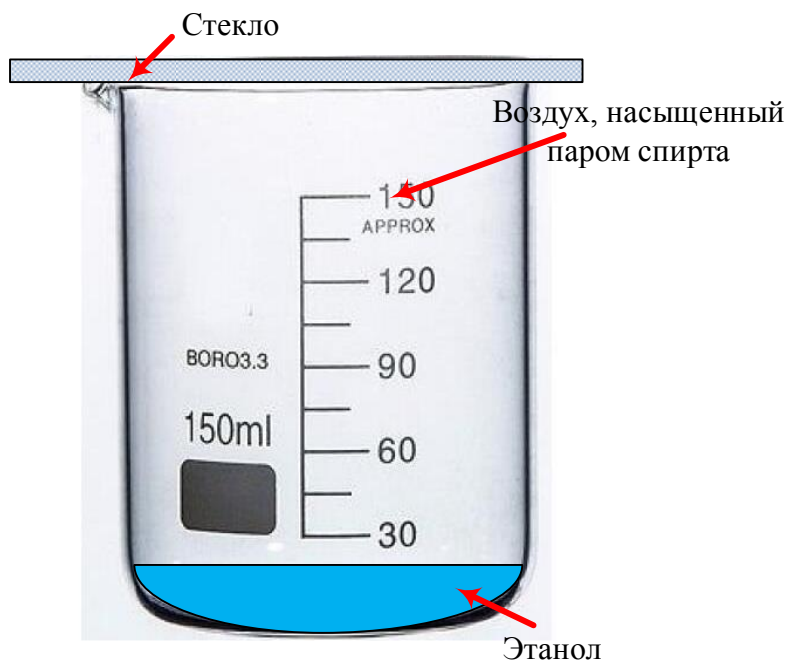
Следовательно, в 1000 кг смеси содержится 308 кг хлороформа, 299 кг ацетона и 392 кг сероуглерода. Найдём их объёмы. Для этого надо знать плотности. По справочнику находим:  $\rho_1=1489$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_2=791$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_3=1263$  кг/м<sup>3</sup>. Тогда объём первого компонента составит  $V_1=308/1489=0,207$  м<sup>3</sup>, второго  $V_2=299/791=0,378$ , третьего  $V_3=392/1263=0.310$ . Суммарный объём равен  $V=0.895$  м<sup>3</sup>. Тогда плотность смеси равна  $\rho_{см}=1000/0.895=1117$  кг/м<sup>3</sup>.

А можно было воспользоваться готовой формулой для определения плотности смеси жидкостей, по которой мы делали расчёт на первом занятии в первом семестре

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_1}{\rho_1} + \frac{\bar{x}_2}{\rho_2} + \frac{\bar{x}_3}{\rho_3}} = \frac{1}{\frac{0,308}{1489} + \frac{0,299}{791} + \frac{0,392}{1263}} = 1117 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

### Задача 3

Воздух насыщен паром этилового спирта. Общее давление паро-воздушной смеси 800 мм рт.ст., температура 60°C. Считая смесь идеальной, определить плотность смеси, объёмную и массовую долю спирта, относительную массовую концентрацию спирта и объёмную массовую концентрацию.



### Решение

В этой задаче самое важное – это условие **насыщения воздуха паром спирта**. Не будь этой фразы, мы бы задачу не решили.

Расчёт начнём с определения давления пара спирта при температуре 60°C по уравнению Антуана. Константы уравнения Антуана для этанола:  $A=18.9119$ ;  $B=3803.98$ ;  $C=-41.68$ . Тогда давление пара спирта (оно же парциальное давление) равно

$$\ln P_{cn} = A - \frac{B}{T + C} = 18.9119 - \frac{3803.98}{273 + 60 - 41.68} = 5.8542, P_{cn} = 349 \text{ мм рт. ст.}$$

Мольная доля пара этанола в составе паро-воздушной смеси находится по формуле  $p = P \times y$ , отсюда

$$y = \frac{P_{cn}}{P} = \frac{349}{800} = 0,436.$$

Массовая доля пара спирта

$$\bar{y} = \frac{0,436 \times 46}{0,436 \times 46 + (1 - 0,436) \times 29} = 0,551.$$

Относительная массовая концентрация спирта в смеси

$$\bar{Y} = \frac{0,551}{1 - 0,551} = 1,227 \frac{\text{кг сп.}}{\text{кг возд.}}$$

Плотность смеси можно найти из уравнения Менделеева-Клапейрона. Необходимая мольная масса смеси нами уже определена – это знаменатель в уравнении для расчёта массовой доли

$$M_{см} = 0,436 \times 46 + (1 - 0,436) \times 29 = 36,4 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Тогда

$$\rho_{см} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} = \frac{36,4}{22,4} \times \frac{800}{750} \times \frac{273}{273 + 60} = 1,42 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Здесь 750 – **стандартное** давление, мм рт. ст., 273,15 К – **стандартная** температура по шкале Кельвина. Более точно стандартное давление равно 100 000 Па.

До этого использовали **нормальные** условия: давление 760 мм рт. ст. и температура 273,15 К. Но с 1982 г. ввели новый термин – **стандартные** условия.

Для нахождения объёмной массовой концентрации поступим следующим образом. Возьмём 1 м<sup>3</sup> смеси воздуха и спирта. Масса этого кубометра 1.13 кг, т.е. равна плотности. А массовая доля спирта 0,633. Следовательно, масса спирта в одном кубометре смеси

$$1,42 \times 0,551 = 0,782 \text{ кг.}$$

Это и будет ответ

$$\bar{C}_y = 0,782 \frac{\text{кг спирта}}{\text{м}^3}.$$