

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

по дисциплине

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

КОНЦЕНТРАЦИ РАСТВОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРАВИЛА КРЕСТА

1 «КОНВЕРТ ПИРСОНА»

Очень часто в лабораторной и технологической практике приходится встречаться со случаями приготовления растворов с определенной массовой долей растворенного вещества, смешением двух растворов разной концентрации или разбавлением крепкого раствора водой. В некоторых случаях можно провести достаточно сложный арифметический расчет. Однако это малопродуктивно. Для этого лучше применить правило смешения (**диагональную модель «конверта Пирсона», или, что то же самое, правило креста**).

Допустим, нужно приготовить раствор определенной концентрации, имея в распоряжении два раствора с более высокой и менее высокой концентрацией, чем нужно нам.

Тогда, если обозначить массу первого раствора через m_1 , а второго – через m_2 , то при смешивании общая масса смеси будет слагаться из суммы этих масс.

Пусть массовая доля растворенного вещества в первом растворе – ω_1 , во втором – ω_2 , а в их смеси – ω_3 . Тогда общая масса растворенного вещества в смеси будет слагаться из масс растворенного вещества в исходных растворах:

$$m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2 = \omega_3(m_1 + m_2).$$

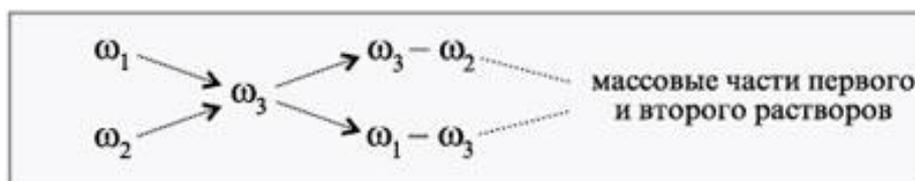
Отсюда

$$m_1(\omega_1 - \omega_3) = m_2(\omega_3 - \omega_2),$$

$$m_1/m_2 = (\omega_3 - \omega_2)/(\omega_1 - \omega_3).$$

Видно, что отношение массы первого раствора к массе второго раствора есть отношение разности массовых долей растворенного вещества в смеси и во втором растворе к разности соответствующих величин в первом растворе и в смеси.

При решении задач на растворы с разными концентрациями чаще всего применяют диагональную схему правила смешения. При расчетах записывают одну над другой массовые доли растворенного вещества в исходных растворах, справа между ними – его массовую долю в растворе, который нужно приготовить, и вычитают по диагонали из большего меньшее значение. Разности их вычитаний показывают массовые доли для первого и второго растворов, необходимые для приготовления нужного раствора.



2 РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА 1

Определите концентрацию раствора, полученного при слиянии 150 г 30%-го и 250 г 10%-го растворов какой-либо соли.

Дано: $m_1 = 150$ г, $m_2 = 250$ г, $\omega_1 = 30\%$, $\omega_2 = 10\%$.

Найти: ω_3 .

Решение

♦ 1-й способ (метод пропорций).

Общая масса раствора:

$$m_3 = m_1 + m_2 = 150 + 250 = 400 \text{ г.}$$

Массу вещества в первом растворе находим методом пропорций, исходя из определения: процентная концентрация раствора показывает, сколько граммов растворенного вещества находится в 100 г раствора:

100 г 30%-го р-ра – 30 г в-ва,

150 г 30%-го р-ра – x г в-ва,

$$x = 150 \cdot 30 / 100 = 45 \text{ г.}$$

Для второго раствора составляем аналогичную пропорцию:

100 г 10%-го р-ра – 10 г в-ва,

250 г 10%-го р-ра – y г в-ва,

$$y = 250 \cdot 10 / 100 = 25 \text{ г.}$$

Следовательно, 400 г нового раствора содержит $45 + 25 = 70$ г растворенного вещества.

Теперь можно определить концентрацию нового раствора:

400 г р-ра – 70 г в-ва,

100 г р-ра – z г в-ва,

$$z = 100 \cdot 70 / 400 = 17,5 \text{ г, или } 17,5\%.$$

♦ **2-й способ (алгебраический).**

$$m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2 = \omega_3(m_1 + m_2).$$

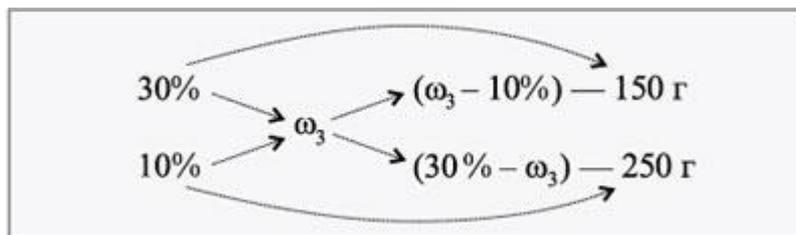
Отсюда

$$\omega_3 = (m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2) / (m_1 + m_2).$$

В результате находим:

$$\omega_3 = (150 \cdot 30 + 250 \cdot 10) / (150 + 250) = 17,5\%.$$

♦ **3-й способ (правило креста).**



$$(\omega_3 - 10)/(30 - \omega_3) = 150/250.$$

Тогда

$$(30 - \omega_3) \cdot 150 = (\omega_3 - 10) \cdot 250,$$

$$4500 - 150 \omega_3 = 250 \omega_3 - 2500,$$

$$4500 - 2500 = 250 \omega_3 - 150 \omega_3,$$

$$7000 = 400 \omega_3, \quad \omega_3 = 7000/400 = 17,5\%.$$

Ответ. При слиянии взятых растворов получится новый раствор с концентрацией $\omega_3 = 17,5\%$.

ЗАДАЧА 2

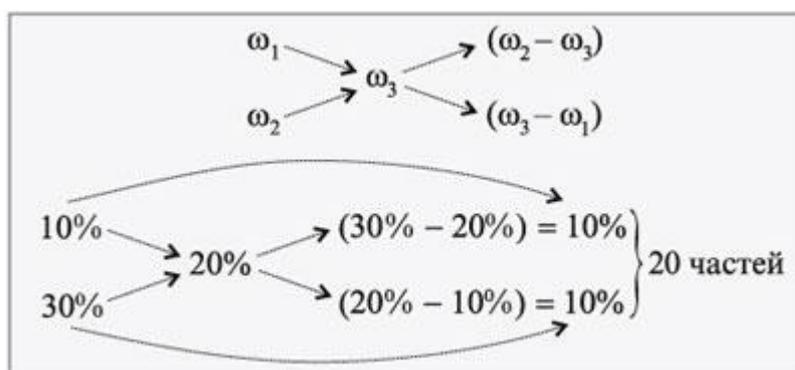
Определите, сколько нужно взять 10%-го раствора соли и 30%-го раствора этой же соли для приготовления 500 г 20%-го раствора.

Дано: $\omega_1 = 10\%$, $\omega_2 = 30\%$, $\omega_3 = 20\%$, $m_3 = 500$ г.

Найти: m_1, m_2 .

Решение

Используем правило креста.



Для приготовления 500 г 20%-го раствора соли нужно взять по 10 частей растворов исходных концентраций.

Проверим правильность нашего решения, учитывая, что 1 часть равна $500/(10 + 10) = 25$ г.

250 г 10%-го р-ра – x г соли,

100 г 10%-го р-ра – 10 г соли,

$$x = 250 \cdot 10 / 100 = 25 \text{ г.}$$

250 г 30%-го р-ра – y г соли,

100 г 30%-го р-ра – 30 г соли,

$$y = 250 \cdot 30 / 100 = 75 \text{ г.}$$

$$m(\text{р-ра}) = 250 + 250 = 500 \text{ г.}$$

$$m(\text{соли}) = 25 + 75 = 100 \text{ г.}$$

Отсюда находим ω_3 :

500 г р-ра – 100 г соли,

100 г р-ра – ω_3 г соли,

$$\omega_3 = 100 \cdot 100 / 500 = 20 \text{ г, или } 20\%.$$

Ответ. Для приготовления 500 г 20%-го раствора нужно взять исходные растворы по 250 г

$$(m_1 = 250 \text{ г, } m_2 = 250 \text{ г}).$$

ЗАДАЧА 3

Определите, сколько нужно взять растворов соли 60%-й и 10%-й концентраций для приготовления 300 г раствора 25%-й концентрации.

Дано: $\omega_1 = 60\%$, $\omega_2 = 10\%$, $\omega_3 = 25\%$, $\omega_3 = 300$ г.

Найти: m_1, m_2 .

Решение



Масса одной части: $300/50 = 6$ г.

Тогда

$$m_1 = 6 \cdot 15 = 90 \text{ г}, m_2 = 6 \cdot 35 = 210 \text{ г}.$$

Проверим правильность решения.

100 г 60%-го р-ра – 60 г соли,

90 г 60%-го р-ра – x г соли,

$$x = 54 \text{ г}.$$

100 г 10%-го р-ра – 10 г соли,

210 г 30%-го р-ра – y г соли,

$$y = 21 \text{ г}.$$

$$m(\text{соли}) = 54 + 21 = 75 \text{ г}.$$

Находим концентрацию нового раствора:

300 г р-ра – 75 г соли,

100 г р-ра – z г соли,

$$z = 100 \cdot 75 / 300 = 25 \text{ г, или } 25\%.$$

Ответ. $m_1 = 90$ г, $m_2 = 210$ г.

ЗАДАЧА 4

Определите массу раствора Na_2CO_3 10%-й концентрации и массу сухого кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, которые нужно взять для приготовления 540 г раствора 15%-й концентрации.

Дано: $\omega_1 = 10\%$, $\omega_3 = 15\%$, $m_3 = 540$ г.

Найти: m_1, m_2 .

Решение

♦ 1-й способ (через систему уравнений с двумя неизвестными).

Определяем массу соли Na_2CO_3 в 540 г 15%-го раствора:

100 г 15%-го р-ра – 15 г соли,

540 г 15%-го р-ра – z г соли,

$$z = 540 \cdot 15 / 100 = 81 \text{ г.}$$

Составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 81 \text{ (} x \text{ г соли из 10\%-го раствора,} \\ \text{ } y \text{ г соли из } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O),} \\ m_1 + m_2 = 540. \end{cases}$$

Находим молярную массу:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \underset{\text{(соль)}}{106} + \underset{\text{(вода)}}{180} = 286 \text{ г/моль.}$$

Избавляемся от лишних неизвестных:

$$m_2 = 286y / 106;$$

100 г 10%-го р-ра – 10 г соли,

m_1 г 10%-го р-ра – x г соли,

$$m_1 = 100x/10 = 10x.$$

Подставляем m_2 и m_1 в систему уравнений:

$$\begin{cases} 10x + 286y/106 = 540, \\ x + y = 81. \end{cases}$$

С учетом того, что $x = 81 - y$, избавляемся от второго неизвестного:

$$10(81 - y) + 286y/106 = 540.$$

Отсюда

$$y = 270/7,3 = 37 \text{ г.}$$

Тогда $m_2 = 286y/106 = 2,7 \cdot 37 \approx 100$ г – это масса необходимого количества кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Далее находим: $x = 81 - y = 81 - 37 = 44$ г – это масса соли из 10%-го раствора.

Находим массу 10%-го раствора:

$$100 \text{ г } 10\text{-го р-ра} - 10 \text{ г соли,}$$

$$m_1 \text{ г } 10\text{-го р-ра} - 44 \text{ г соли,}$$

$$m_1 = 100 \cdot 44/10 = 440 \text{ г.}$$

Видно, что так можно решить данную задачу – способ надежный, но, к сожалению, достаточно длинный, громоздкий и сложный.

♦ 2-й способ (правило креста).

Допустим, что $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – это «сухой раствор» (ведь он же содержит воду). Тогда найдем его «концентрацию»:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \underset{\text{(соль)}}{106} + \underset{\text{(вода)}}{180} = 286 \text{ г/моль.}$$

$$286 \text{ г} - 106 \text{ г соли,}$$

100 г – x г соли,

$$x = 100 \cdot 106 / 286 = 37 \text{ г, или } 37\%.$$

Применяем правило креста.



Находим массу одной части и массы веществ:

$$540 / 27 = 20 \text{ г,}$$

$$m_1 = 20 \cdot 22 = 440 \text{ г, } m_2 = 20 \cdot 5 = 100 \text{ г.}$$

Ответ. Для приготовления 540 г раствора Na_2CO_3 15%-й концентрации необходимо взять 440 г 10%-го раствора и 100 г кристаллогидрата.

Таким образом, применение правила креста удобнее и проще при решении подобных задач. Этот способ более экономичен по времени и менее трудоемок. Правило креста можно применять и в тех случаях, когда нужно получить раствор меньшей концентрации путем разбавления водой более концентрированного раствора или получить более концентрированный раствор путем добавления к исходному раствору сухой смеси. Рассмотрим это на примерах.

ЗАДАЧА 5

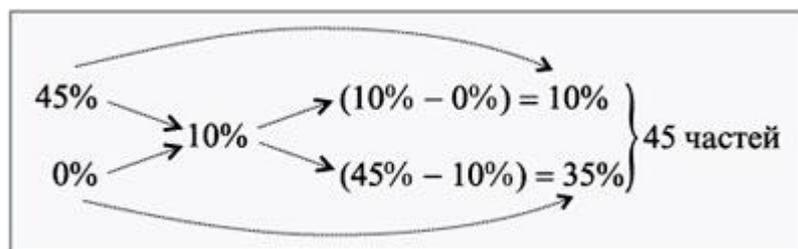
Сколько воды нужно добавить к 250 г раствора соли для понижения его концентрации с 45% до 10%?

Дано: $\omega_1 = 45\%$, $\omega_3 = 10\%$, $m_1 = 250 \text{ г.}$

Найти: m_2 .

Решение

Принимаем, что концентрация для добавляемой воды – $\omega_2 = 0\%$. Используем правило креста.



Определяем массу одной части через первый раствор: $250/10 = 25$ г.

Тогда масса необходимой воды равна:

$$m_2 = 25 \cdot 35 = 875 \text{ г.}$$

Проверим правильность решения.

Масса нового раствора:

$$m_3 = 250 + 875 = 1125 \text{ г.}$$

Масса соли в исходном растворе:

250 г 45%-го р-ра – x г соли,

100 г 45%-го р-ра – 45 г соли,

$$x = 250 \cdot 45 / 100 = 112,5 \text{ г.}$$

Находим ω_3 :

1125 г р-ра – 112,5 г соли,

100 г р-ра – y г соли,

$$y = 100 \cdot 112,5 / 1125 = 10 \text{ г, или } 10\%.$$

Ответ. $m_2 = 875$ г.

ЗАДАЧА 6

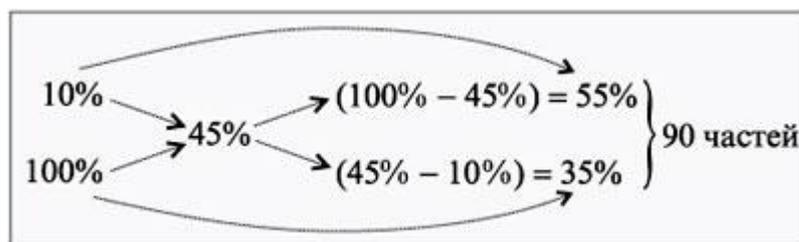
Сколько сухой соли нужно добавить к 250 г раствора 10%-й концентрации для ее увеличения до 45%?

Дано: $\omega_1 = 10\%$, $m_1 = 250$ г, $\omega_3 = 45\%$.

Найти: $m(\text{с. с.})$.

Решение

Принимаем, что сухая соль – это раствор с $\omega_2 = 100\%$. Используем правило креста.



Определяем массу одной части через первый раствор: $250/55 = 4,5$ г.

Определяем массу сухой соли:

$$m(\text{с. с.}) = 4,5 \cdot 35 = 158 \text{ г.}$$

Проверяем правильность решения.

Масса нового раствора:

$$m_3 = 250 + 158 = 408 \text{ г.}$$

Масса соли в исходном растворе:

100 г 10%-го р-ра – 10 г соли,

250 г 10%-го р-ра – x г соли,

$$x = 250 \cdot 10/100 = 25 \text{ г.}$$

Общая масса соли в новом растворе:

$$25 + 158 = 183 \text{ г.}$$

Концентрация нового раствора:

408 г р-ра – 183 г соли,

100 г р-ра – y г соли,

$$y = 100 \cdot 183 / 408 = 45 \text{ г, или } 45\%.$$

Ответ. $m(\text{с. с.}) = 158 \text{ г.}$

3 ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

1. Сколько граммов $\text{U}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ необходимо для приготовления 50 г раствора сульфата урана с массовой долей 8 % безводного сульфата меди?
2. Сколько воды нужно прибавить к 100 г раствора азотнокислого плутония(IV) с массовой долей 25 %, чтобы получить раствор с массовой долей 5 %?
3. Какие количества растворов серной кислоты с массовыми долями 90 % и 10 % нужно взять для приготовления 1600 г раствора с массовой долей 40 % ?
4. Сколько граммов раствора серной кислоты с массовой долей 90 % нужно добавить к 500 г раствора кислоты с массовой долей 10 %, чтобы получить раствор с массовой долей 70 %?
5. Сколько граммов технического едкого натра, с массовой долей 75 % в расчете на Na_2O требуется для приготовления 600 г раствора NaOH с массовой долей 15 % ?
6. Сколько граммов воды нужно взять для приготовления раствора нитрата уранила с массовой долей 10 % (в расчете на безводную соль) из 35 г его 6-водного кристаллогидрата?
7. Сколько граммов тетрахлорида тория требуется для приготовления 1000 г раствора с массовой долей 20 %, если массовая доля влаги в соли составляет 15 %?
8. Смешано 60 г воды с 20 см³ раствора фосфорной кислоты с массовой долей 40 % ($\rho = 1,254 \text{ г/см}^3$). Чему равна массовая доля кислоты в процентах в полученном растворе?
9. Какие объемы растворов азотной кислоты с массовыми долями 5,0 % и 50 % следует взять в см³ для приготовления 1500 см³ раствора с массовой долей 10 %?

10. В каких массовых отношениях нужно смешать растворы сульфата тория с массовыми долями 38 % и 10 %, чтобы получить раствор с массовой долей 15 %?
11. В каком объемном соотношении следует смешивать растворы едкого кали с массовыми долями 5 % и 30 % для приготовления 600 см³ раствора с массовой долей 10 %?
12. В каком массовом соотношении следует смешивать растворы азотнокислого плутонила с массовыми долями 5 % и 25 %, чтобы получить 4 кг раствора с массовой долей 20 %?
13. Сколько г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ следует взять для приготовления 300 г раствора с массовой долей 10 % безводного Na_2CO_3 ?
14. Сколько граммов десятиводного тетрабората натрия и сколько граммов воды следует взять для приготовления 250 г раствора с массовой долей 3 % безводного тетрабората натрия?
15. Сколько граммов раствора едкого кали с массовой долей 60 % и сколько граммов воды нужно взять для приготовления 500 г раствора КОН с массовой долей 10 %?
16. Сколько граммов серной кислоты содержится в 20 см³ раствора с массовой долей 50 %?
17. В каком массовом соотношении необходимо смешать раствор едкого натра с массовой долей 50 % с водой, чтобы получить раствор с массовой долей 30 %?
18. Сколько граммов раствора соли с массовой долей 5 % нужно прибавить к 500 г раствора этой же соли с массовой долей 40 %, чтобы получить раствор с массовой долей 20 %?
19. Сколько граммов воды и раствора аммиака с массовой долей 25 % требуется для приготовления 5 кг раствора с массовой долей 10 %?
20. Какие массы растворов сульфата уранила с массовыми долями 96 % и 20 % нужно взять, чтобы при смешении получить 1000 г раствора с массовой долей 40 %?