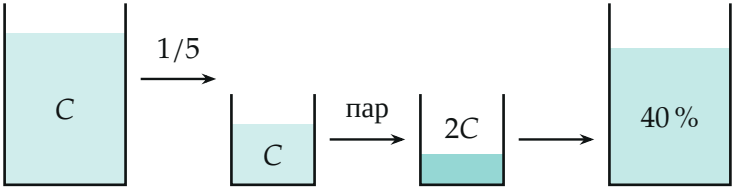
Выпаривание раствора кислоты

Задача 2. [ИОШ 2017/18, отборочный этап, 9 класс, задача 2] Имеется водный раствор серной кислоты неизвестной концентрации. Из раствора взяли пятую часть и выпарили из неё воду до двукратного увеличения процентного содержания в ней кислоты. После того как этот выпаренный раствор вернули назад, процентное содержание кислоты в растворе стало равно 40 %. Найти процентное содержание кислоты в первоначальном растворе. Считать, что при выпаривании испарялась только вода, но не кислота.



Поясняющий рисунок: отлили пятую часть раствора, выпарили её до удвоенной концентрации и вернули обратно.

▲ **Решение. Что происходит.** При выпаривании уходит только вода, поэтому масса кислоты во всём растворе не меняется — она лишь побывала в отлитой порции и вернулась. Меняется только масса раствора: она уменьшается на массу испарённой воды. Значит, концентрация после всех операций выражается через ту же массу кислоты и меньшую массу раствора. Задача на определение массовой доли и сохранение массы вещества.

Обозначения. m — масса кислоты, M — масса раствора до выпаривания, $C = m/M$ — искомая начальная концентрация, M' — масса порции после выпаривания, $C_1 = 40\,\%$ — конечная концентрация. «Процентное содержание» — массовая доля кислоты.

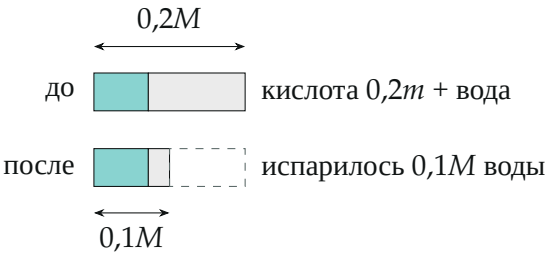
1. Порция до выпаривания. Пятая часть раствора имеет массу $0{,}2M$ и содержит пятую часть кислоты, $0{,}2m$; её концентрация та же, C.

2. Порция после выпаривания. Кислота не испаряется, в порции её

по-прежнему $0{,}2m$. Концентрация удвоилась:

$$\frac{0{,}2m}{M'} = 2 \cdot \frac{0{,}2m}{0{,}2M} \quad \Rightarrow \quad M' = 0{,}1M.$$

При неизменной массе кислоты концентрация вдвое больше, когда масса раствора вдвое меньше: испарилось $0{,}1M$ воды.



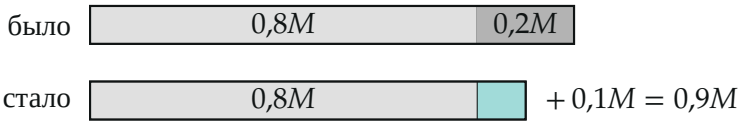
Отлитая порция: кислота (бирюзовая часть полосы) не меняется, вода частично испаряется; полоса вдвое короче — концентрация вдвое больше.

3. Раствор после возвращения порции. В основном сосуде осталось $0{,}8M$ раствора, вернули $0{,}1M$; кислоты всего по-прежнему m:

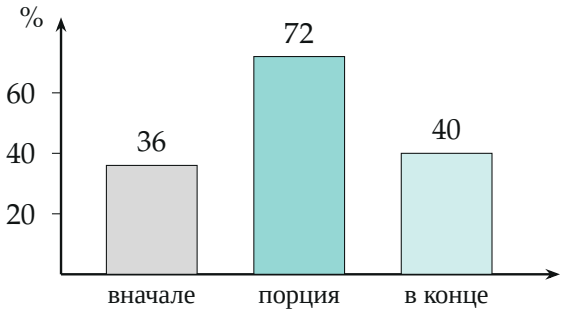
$$C_1 = \frac{m}{0{,}8M + 0{,}1M} = \frac{m}{0{,}9M} = \frac{C}{0{,}9}.$$

Отсюда

$$C = 0{,}9\,C_1 = 0{,}9 \cdot 40\,\% = 36\,\%.$$



Масса всего раствора: было M, стало $0{,}9M$; кислоты в обоих случаях m.



Концентрации: исходный раствор, выпаренная порция и смесь после возвращения.

Обратите внимание: конечная концентрация — не среднее арифметическое концентраций (36 % и 72 %), а отношение масс: при смешивании складываются массы кислоты и массы растворов.

Проверка. Второй способ — через массы кислоты в смеси: $0{,}8M \cdot 36\,\% + 0{,}1M \cdot 72\,\% = 0{,}288M + 0{,}072M = 0{,}36M$; масса смеси $0{,}9M$; концентрация $0{,}36/0{,}9 = 40\,\%$. Совпадает. Ответ меньше 40 %, как и должно быть: выпаривание только повышает концентрацию.

Смысл: всё выпаривание свелось к тому, что из раствора ушла десятая часть его массы (вода), поэтому концентрация выросла в $1/0{,}9$ раза.

Ответ. $C = 0{,}9\,C_1 = 36\,\%$.