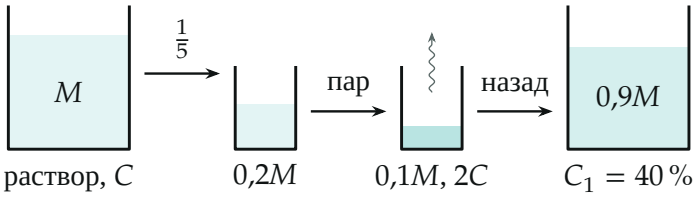
Выпаривание раствора кислоты

Задача 1. [ИОШ 2017/18, отборочный этап, 11 класс, задача 1] 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, выпарили воду до удвоения концентрации, вернули.

▲ **Решение. Что происходит.** Это задача на сохранение массы вещества: при выпаривании уходит только вода, а масса кислоты остаётся прежней — в порции и во всём растворе. Концентрация (массовая доля) — это масса кислоты, делённая на массу раствора. Раз кислота не меняется, вся задача сводится к тому, во сколько раз изменилась масса раствора.

Обозначения. M — масса раствора вначале, m — масса кислоты в нём, $C = m/M$ — искомая концентрация, $C_1 = 40\,\%$ — концентрация в конце.

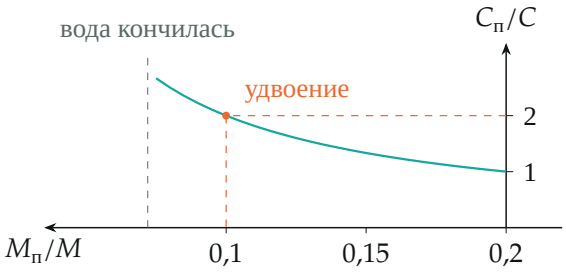
1. Порция до выпаривания. Пятая часть раствора: масса $0{,}2M$, кислоты в ней $0{,}2m$ (раствор однородный, концентрация в порции та же, C).

2. Выпаривание. Определение концентрации порции после выпаривания: $\dfrac{0{,}2m}{M_\text{п}} = 2C = 2\dfrac{m}{M}$, где $M_\text{п}$ — новая масса порции. Кислота в

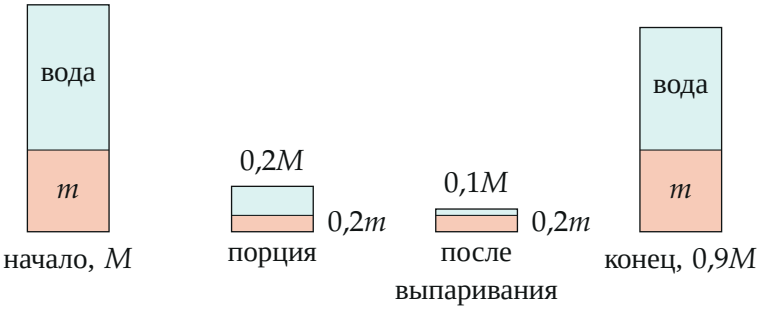
порции та же, $0{,}2m$, значит концентрация вырастает вдвое, только если масса порции уменьшилась вдвое:

$$M_{\text{п}} = \frac{0{,}2m}{2m/M} = 0{,}1M.$$

Испарилось $0{,}1M$ воды.



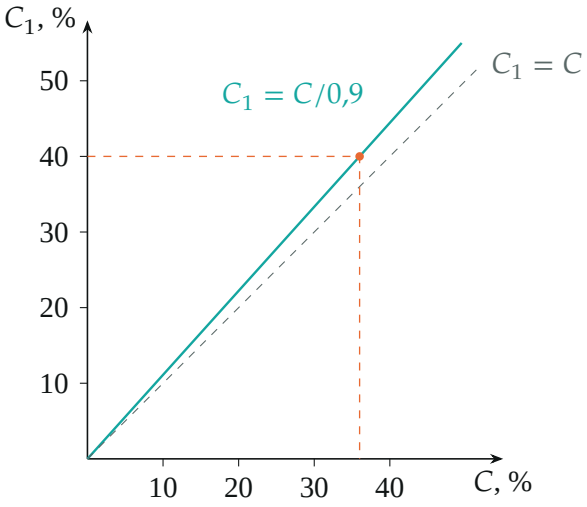
Концентрация в порции растёт по мере выпаривания как $C_n/C = 0{,}2M/M_n$ (кислоты в порции всё время $0{,}2m$). Вдвое — при массе порции $0{,}1M$; при $C = 36\,\%$ вода кончилась бы на $0{,}072M$.



Массы кислоты (морковный) и воды (голубой) на каждом этапе в масштабе при $C = 36\,\%$: кислоты в порции и во всём растворе не убавляется.

3. Раствор после возвращения порции. Масса: $0{,}8M + 0{,}1M = 0{,}9M$; кислоты: $0{,}8m + 0{,}2m = m$ — столько же, сколько вначале. Новая концентрация:

$$C_1 = \frac{m}{0{,}9M} = \frac{C}{0{,}9} \quad \Rightarrow \quad C = 0{,}9\,C_1 = 0{,}9 \cdot 40\,\% = 36\,\%.$$



Итоговая концентрация линейно зависит от начальной; значению $C_1 = 40\,\%$ *отвечает* $C = 36\,\%$.

Обратите внимание. Удвоение концентрации — не удаление половины воды, а уменьшение вдвое массы всей порции (воды и кислоты вместе). При $C = 36\,\%$ в порции было $0{,}128M$ воды, а испарилось $0{,}1M$ — почти вся вода, но не половина.

Проверка. Подставим $C = 36\,\%$ и $M = 100$ г: кислоты 36 г, порция 20 г (кислоты 7,2 г), после выпаривания 10 г ($72\,\% = 2 \cdot 36\,\%$ — верно), в конце 90 г раствора и 36 г кислоты: $36/90 = 40\,\%$ — совпадает с условием. Ответ безразмерный и меньше C_1, как и должно быть: выпаривание повышает концентрацию.

Ответ. $C = 0{,}9\,C_1 = 36\,\%$.