

Лабораторный анализ образца задержанной на таможне партии фальсифицированного мёда показал, что он представляет собой водный раствор, содержащий фруктозу ($C_6H_{12}O_6$), глюкозу ($C_6H_{12}O_6$) и сахарозу ($C_{12}H_{22}O_{11}$) в концентрации 2,79 М; 2,29 М и 0,42 М соответственно. Найти соответствующие значения массовых долей (в %) сахаров в данном фальсификате.

Плотности (в г/см³) фруктозы, глюкозы и сахарозы равны соответственно 1,598; 1,562; 1,587. При решении задачи пренебречь изменением объёма из-за взаимодействия воды с сахарами при образовании раствора.

Решение

Введём для удобства следующие сокращения: фруктоза – Фр, глюкоза – Гл, сахароза – Сх. Отметим также, что фруктоза и глюкоза являются изомерами (имеют одинаковые брутто-формулы).

Пусть объём раствора (фальсификата мёда) будет равен 1 л. Следовательно, количества вещества растворённых в нём углеводов составит (М – принятое сокращение для молярности раствора, имеющей размерность моль/л):

$$v(\text{Фр}) = 1 \text{ л} \cdot 2,79 \text{ моль/л} = 2,79 \text{ моль}$$

$$v(\text{Гл}) = 1 \text{ л} \cdot 2,29 \text{ моль/л} = 2,29 \text{ моль}$$

$$v(\text{Сх}) = 1 \text{ л} \cdot 0,42 \text{ моль/л} = 0,42 \text{ моль}$$

Найдём теперь молярные массы сахаров:

$$M(\text{Фр}) = M(\text{Гл}) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Сх}) = 12 \cdot 12 + 1 \cdot 22 + 16 \cdot 11 = 342 \text{ г/моль}$$

Массы сахаров в 1 л раствора получаются равными:

$$m(\text{Фр}) = 180 \text{ г/моль} \cdot 2,79 \text{ моль} = 502,2 \text{ г}$$

$$m(\text{Гл}) = 180 \text{ г/моль} \cdot 2,29 \text{ моль} = 412,2 \text{ г}$$

$$m(\text{Сх}) = 342 \text{ г/моль} \cdot 0,42 \text{ моль} = 143,6 \text{ г}$$

Теперь можно вычислить объём каждого углевода, поделив его массу на плотность:

$$V(\text{Фр}) = 502,2 \text{ г} / 1,598 \text{ г/см}^3 = 314,3 \text{ см}^3$$

$$V(\text{Гл}) = 412,2 \text{ г} / 1,562 \text{ г/см}^3 = 263,9 \text{ см}^3$$

$$V(\text{Сх}) = 143,6 \text{ г} / 1,587 \text{ г/см}^3 = 90,49 \text{ см}^3$$

Находим теперь объём воды в растворе (1 л = 1000 см³):

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ см}^3 - 314,3 \text{ см}^3 - 263,9 \text{ см}^3 - 90,49 \text{ см}^3 = 331,3 \text{ см}^3$$

Поскольку плотность у неё 1 г/см³, то масса воды в 1 л раствора составляет 331,3 г, а масса всего раствора будет

$$m = 502,2 \text{ г} + 412,2 \text{ г} + 143,6 \text{ г} + 331,3 \text{ г} = 1389,3 \text{ г}$$

Остаётся найти массовые доли растворённых веществ:

$$\omega(\text{Фр}) = 502,2 \text{ г} / 1389,3 \text{ г} \cdot 100\% = 36,1\%$$

$$\omega(\text{Гл}) = 412,2 \text{ г} / 1389,3 \text{ г} \cdot 100\% = 29,7\%$$

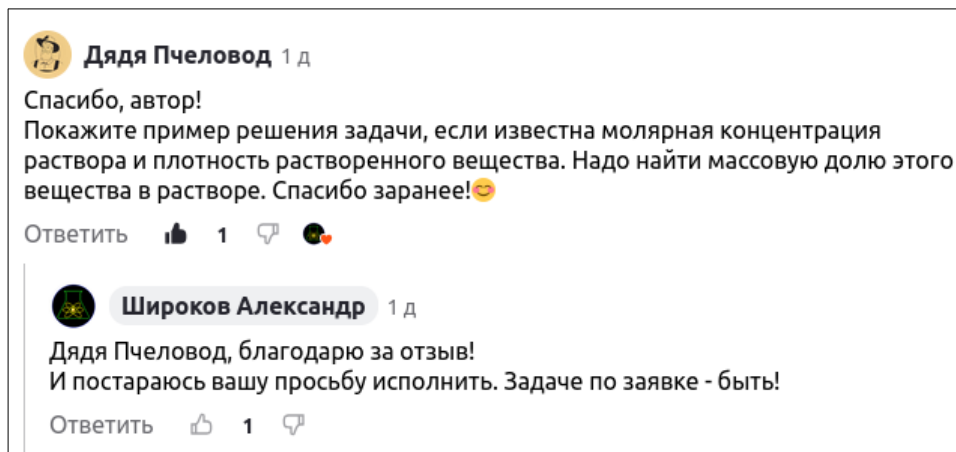
$$\omega(\text{Сх}) = 143,6 \text{ г} / 1389,3 \text{ г} \cdot 100\% = 10,3\%$$

Ответ

Фруктоза – 36,1%, глюкоза – 29,7%, сахароза – 10,3%

Комментарий

07.02.2025 на дзен-канале под публикацией, посвящённой разбору задачи X-14, появилось следующее сообщение:



Обещание, данное уважаемому читателю с ником «Дядя Пчеловод», я охотно выполнил. Хочется обратить внимание на оригинальность предложенной им идеи задачи, заключающейся в том, что в ней фигурирует плотность растворённого вещества. В школьном курсе химии встречаются упражнения, связанные с пересчётом молярной концентрации C в массовую долю ω , но формулировка у них такова, что в вычислениях используется плотность раствора ρ (она даётся либо непосредственно в условии задачи, либо может быть взята из справочника), и для подобных случаев несложно вывести общую формулу, связывающую указанные величины. Если m , M , v – соответственно, масса, молярная масса и количество вещества растворённого соединения, а m_p и V – масса и объём содержащего его раствора, то

$$\omega = \frac{m}{m_p} = \frac{v \cdot M}{V \cdot \rho} = \frac{v}{V} \cdot \frac{M}{\rho} = C \cdot \frac{M}{\rho}.$$

Довольно известным является следующий факт. Если смешать 40 мл этилового спирта и 60 мл воды, то ровно 100 мл водки получить не удастся – её объём окажется несколько меньше. Такое поведение раствора объясняется образованием водородных связей между молекулами воды и этанола C_2H_5OH . В молекулах углеводов гидроксильных групп тоже хватает и подобный эффект «сжатия» будет наблюдаться и в случае образования их водных растворов. Именно поэтому в условие задачи введена дополнительная оговорка, позволяющая исходить из допущения, что объём раствора есть простая сумма объёмов входящих в него веществ, ведь в противном случае на основании только предложенных численных данных получить решение не представляется возможным.

© Широков Александр, 11.02.2025