

Условие

Задание 3. Брызги шампанского!

Данные для этой задачи взяты из статьи Касьянов Г. И. Физическая абсорбция углекислого газа. (<https://krkgi.ru/glav/co2tech/index.htm>)



Свойства газированных напитков (в том числе шампанских вин), во многом, определяются растворенным в них углекислым газом.

Растворимостью газа называется максимальное количество газа, которое может быть растворено в жидкости. Количество газа (может определяться массой, количеством молей, объемом) растворенное в единице объема жидкости называется концентрацией растворенного газа. Раствор, содержащий максимально возможное количество газа, называется насыщенным. Растворимость может изменяться в различных единицах: грамм/литр; моль/литр; литр/литр и т.д.

При не очень высоких давлениях растворимость газа описывается законом У.Генри: растворимость газа пропорциональна парциальному давлению газа над поверхностью жидкости:

$$C = kP, \quad (1)$$

где C - концентрация насыщенного раствора газа, P - парциальное давление растворяемого газа над поверхностью жидкости, k - постоянная Генри, зависящая от жидкости и растворяемого газа, также эта постоянная зависит от температуры.

Используйте следующие постоянные величины:

Универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Связь между единицами давления $1 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Связь между абсолютной температурой по шкале Кельвина T и температурой по шкале Цельсия t

$$T = t + 273.$$

Атмосферное давление постоянно и равно $P_0 = 1,00 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Молярная масса углекислого газа CO_2 - $M = 44,0 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$.

При решении данной задачи используются следующие приближения: - углекислый газ в газовой фазе является идеальным; - объем жидкого раствора не зависит от концентрации растворенного углекислого газа; - давлением насыщенных паров воды можно пренебречь.

Часть 1. Предварительная.

Для большей наглядности и упрощения численных расчетов в данной задаче рекомендуется использовать следующие единицы измерения: единица массы – 1 грамм; единица объема – 1 литр; единица давления – 1 атмосфера. Назовем эту систему единиц ГЛА.

1.1 Найдите численное значение и размерность универсальной газовой постоянной R в указанной системе единиц.

При температуре равной $t_0 = 0,00^\circ\text{C}$ и парциальном давлении над поверхностью воды $P_0 = 1,00$ атм растворимость углекислого газа в воде равна $k_V = 1,71 \frac{\text{л}}{\text{л}}$ (т.е. в 1 литре воды растворяется 1,71 литра углекислого газа, причем этот объем рассчитывается при указанных температуре и давлении газа). Далее будем измерять концентрацию в граммах/литр (масса газа в граммах, растворенного в 1 литре воды).

1.2 Запишите формулу для расчета коэффициента k_m в законе Генри (1), если концентрация рассчитывается в г/л, а давление в атмосферах. Рассчитайте ее численное значение.

Для получения сильно газированной воды ее насыщают углекислым газом при температуре $P = 3,0$ атм и температуре $t = 0,0^\circ\text{C}$.

1.3 Рассчитайте массу углекислого газа, который содержится в двухлитровой бутылке $V = 2,0$ л сильно газированной воды.

Зависимость постоянной Генри в $k_m(t)$ от температуры описывается формулой:

$$k_m = \frac{k_0}{1 + \alpha t}, \quad (2)$$

где $k_0 = 3,4 \frac{\text{г}}{\text{л-атм}}$, $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ - постоянные величины, t - температура по шкале Цельсия.

Часть 2. Открываем бутылку!

В стандартную бутылку заливают $V_0 = 0,75$ л винного купажа (вино не содержащее углекислого газа) температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$. И плотно запечатывают бутылку. При этом в бутылке остается объем $v = 0,15$ л, заполненный воздухом (содержанием углекислого газа в нем можно пренебречь), находящимся при атмосферном давлении. После этого бутылки опускают в подвал для вызревания. Согласно справочным данным в каждой бутылке в результате брожения образуется $m_0 = 7,5$ г углекислого газа.

2.1 Найдите зависимость давления бутылке от ее температуры в диапазоне от 0°C до 30°C . Постройте график полученной зависимости.

В Листах ответов приведите формулы, по которым вы проводили расчеты. Результаты расчетов (в т.ч. промежуточных) приведите в Таблице 1, график постройте на подготовленном для Вас бланке. Допускается проведение промежуточных численных расчетов.

Неопытный молодой человек открывает бутылку с шампанским при ее температуре равной $t_0 = 25^\circ\text{C}$. При этом пробка выскакивает из бутылки и шампанское струей начинает вылетать из бутылки.

2.2 Рассчитайте, какой объем шампанского останется в бутылке после такого «эксперимента». Считайте, что при выскакивании пробки давление в бутылке резко падает до атмосферного, а углекислый газ очень быстро выделяется в виде пузырьков равномерно по всему объему, до тех пока вино не станет насыщенным при комнатных условиях.