

Задание 10.1. Газировка.

Часть 1. (8 баллов). С помощью выданного вам оборудования определите давление воды внутри бутылки газировки. Считайте, что внутри бутылки находится углекислый газ в газообразном состоянии и вода с растворённым в ней углекислым газом. Согласно закону Генри количество газа, растворённого в жидкости, над которой находится этот же газ, прямо пропорционально давлению этого газа $\nu = \alpha VP$, где V – объём жидкости, P – давление газа, $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/(Па · м³) для углекислого газа, растворяемого в воде.

Атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па, комнатную температуру считайте равной $T = 300$ К, молярная масса углекислого газа $\mu_{CO_2} = 44$ г/моль.

В первой части работы оценивать погрешность не нужно.

Часть 2. (7 баллов). С помощью выданного Вам оборудования проверьте справедливость закона Генри, получив три точки для зависимости количества растворённого газа от давления: одну - при атмосферном давлении, вторую - при давлении больше атмосферного и третью - при давлении меньше атмосферного. Подробно опишите Ваши действия и вычислите значение коэффициента α , сравнив его с данным в условии.

Оборудование: две бутылки с газированной водой, стаканчик, шприц объёмом 20 мл, затычка для шприца, салфетки для поддержания чистоты рабочего места.

Примечания:

- 1) Рекомендуем одну бутылку использовать для пробных экспериментов, а вторую для итогового. Не рекомендуем трясти бутылку перед тем, как её открывать.
- 2) Если вода находится в спокойном состоянии, то концентрация растворённого в ней газа приходит в равновесное состояние за относительно длительное время, но если воду перемешивать или взбалтывать, то равновесное состояние устанавливается гораздо быстрее.

Возможное решение

Часть 1. Откроем бутылку и аккуратно наберём из неё некоторое количество газировки в пустой шприц (около 5 мл). Сразу же заткнём кончик шприца затычкой. Поскольку бутылка была только что открыта, концентрация растворённого в ней углекислого газа соответствует давлению внутри бутылки (так как концентрация изменяется медленно).

Теперь будем трясти шприц, помогая растворённому газу перейти в газообразное состояние, при этом поршень шприца должен иметь возможность свободно перемещаться, обеспечивая равенство давления внутри шприца атмосферному.

Спустя некоторое время (около 1 минуты) концентрация растворённого углекислого газа придёт в соответствие атмосферному давлению, а его газообразные излишки соберутся над водой.

Для воды в бутылке: $\nu_0 = \alpha V_{\text{в}} P_{\text{бут}}$, где $V_{\text{в}}$ – объём воды, набранной в шприц, $P_{\text{бут}}$ – давление газа в бутылке, ν_0 – количества газа, растворённого в воде внутри бутылки.

Для воды в шприце после достижения равновесия: $\nu_0 - \nu_{\text{г}} = \alpha V_{\text{в}} P_0$, где $\nu_{\text{г}}$ – количество нерастворённого углекислого газа в шприце.

Запишем уравнение состояния идеального газа: $P_0 V_{\text{г}} = \nu_{\text{г}} RT$, где $V_{\text{г}}$ – объём нерастворённого газа в шприце.

Из записанных выше уравнений получим: $\alpha V_{\text{в}} P_{\text{бут}} - \frac{P_0 V_{\text{г}}}{RT} = \alpha V_{\text{в}} P_0$, откуда

$$P_{\text{бут}} = P_0 \left(1 + \frac{V_{\text{г}}}{\alpha V_{\text{в}} RT} \right).$$

Измерения:

$$V_{\text{в}} = 7,5 \text{ мл}, V_{\text{г}} = 7 \text{ мл}$$
$$P_{\text{бут}} = P_0 \left(1 + \frac{V_{\text{г}}}{\alpha V_{\text{в}} RT} \right) = 10^5 \left(1 + \frac{7}{3,5 \cdot 10^{-4} \cdot 7,5 \cdot 8,31 \cdot 300} \right) = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Часть 2. Для получения дополнительных точек зависимости количества растворённого газа от давления будем внутри шприца создавать другие давления. (Содержимое шприца осталось от первого эксперимента). Придерживая наконечник шприца, надавим на поршень с заметным усилием, и будем потряхивать шприц около 1 минуты (этого времени достаточно для установления равновесия с учетом точности эксперимента), добиваясь равновесной концентрации растворённого газа. Затем определим объём, занимаемый газом, продолжая также давить на поршень. Обозначим его $V_{\text{г}}'$. Теперь аккуратно отпустим поршень и измерим объём газа под поршнем сразу же после этого; обозначим его $V_{\text{г}}$.

Так как между замерами $V_{\text{г}}'$ и $V_{\text{г}}$ прошло мало времени, то концентрация растворённого в воде газа не успела измениться. Давление газа под сжатым поршнем можем получить из уравнения состояния идеального газа. $P = P_0 \frac{V_{\text{г}}}{V_{\text{г}}'}$.

Количество газа в газообразной фазе согласно закону Бойля-Мариотта $\frac{PV_{\text{г}}}{RT}$, а в растворённом виде согласно закону Генри $\alpha P V_{\text{в}}$. Общее количество газа в шприце неизменно, обозначим его ν .

$$\nu = \frac{PV_{\text{г}}'}{RT} + \alpha P V_{\text{в}}$$

Подставив давление, получим:

$$p = \frac{P_0 V_r}{RT} + \alpha \frac{P_0 V_r}{V'_r} V_B$$

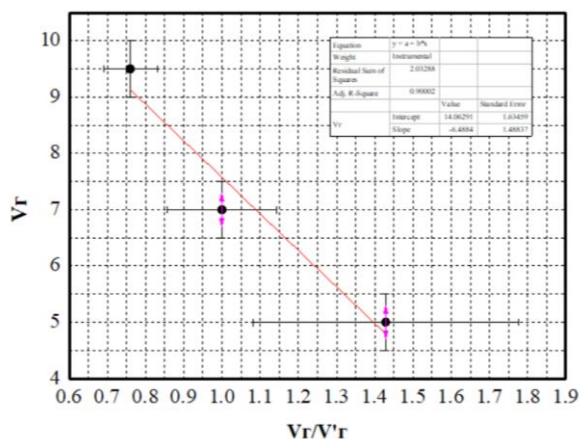
После небольших преобразований:

$$const = V_r + \alpha V_B RT \frac{V_r}{V'_r}$$

Проведём аналогичный опыт, только теперь будем вытягивать поршень шприца, создавая под ним давление меньше атмосферного.

Построим график зависимости V_r от $\frac{V_r}{V'_r}$ для трёх точек.

V'_r , мл	V_r , мл	$\frac{V_r}{V'_r}$	ΔV_r , мл	$\Delta \frac{V_r}{V'_r}$
7	7	1.00	0,5	0.14
12.5	9.5	0.76	0,5	0.07
3.5	5	1.43	0,5	0.35



Убедимся, что три точки лежат на прямой и определим угловой коэффициент этой прямой
 $k = -6,48 \text{ мл}$

Из полученной теоретической зависимости

$$\alpha = -\frac{k}{V_B RT} = \frac{6,48}{7,5 \cdot 8,31 \cdot 300} = 3,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль}}{\text{Па} \cdot \text{м}^3}$$

Оценим погрешность.

$$\Delta \frac{V_r}{V'_r} = \frac{V_r}{V'_r} \left(\frac{\Delta V_r}{V_r} + \frac{\Delta V'_r}{V'_r} \right)$$

Погрешность коэффициента k определим из графика по разнице между минимальным и максимальным угловыми коэффициентами.

$$\Delta k = \frac{13,5 - 5,6}{2} = 3,5 \text{ мл}$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta V_B}{V_B} = 60\%$$

Учитывая погрешность определения α , можно утверждать, что теоретическое значение соответствует экспериментальному.