



Козырева Надежда Анатольевна
 Кандидат педагогических наук,
 Заслуженный учитель Российской Федерации.
 Физико-технический лицей №1,
 г. Саратов, преподаватель физики.

Куликов Михаил Николаевич
 Кандидат физико-математических наук,
 профессор кафедры общей физики
 Саратовского государственного университета.



Изучение явления осмоса на уроке физики в средней школе

Данный материал был апробирован в 10-х классах физико-технического лицея №1 г. Саратова. Изложение материала укладывается в 2 урока по 40 минут каждый. Тема вызвала значительный интерес у учащихся, проявившийся в большом количестве вопросов, выходящих за рамки рассматриваемого на уроках материала. Такие уроки развивают у учащихся умение обнаруживать, осознавать и формулировать проблемы. У школьников вырабатываются умения, необходимые для эффективных занятий самообразованием, как высшим проявлением любознательности.

Урок №1

1.1. Растворы. Основные понятия и определения

В природе мы практически никогда не встречаем чистых жидкостей, состоящих из молекул только одного вида. Обычно все жидкости представляют собой смеси различных веществ. Если жидкость – физически однородная молекулярная смесь 2-х или более веществ, то она называется *жидким раствором*. Физическая однородность, то есть равенство концентраций вещества по объему, достигается равномерным перемешиванием молекул. В этом отношении растворы отличаются от механических смесей (взвесей и суспензий), в которых перемешаны не молекулы, а макроскопические частицы вещества. От химических соединений растворы отличаются тем, что в последних относительные количества различных веществ могут изменяться в довольно широких пределах, тогда как в химических соединениях вещества присутствуют в строго определенных пропорциях. Но растворы нельзя считать чисто механическими смесями различных молекул, так как объем раствора обычно не равен сумме объемов входящих в него веществ. Кроме того, процесс растворения обычно сопровождается выделением или поглощением тепла.



Если одного вещества в растворе больше, чем других, то оно называется *растворителем*, а прочие вещества – *растворенными веществами*. Относительную концентрацию веществ в растворе удобно характеризовать *молярной концентрацией* q_i , определяемой отношением числа молей одного из веществ ν_i в растворе к общему числу молей $\sum \nu_i$. Для раствора, состоящего из двух веществ, $q_1 = \nu_1 / (\nu_1 + \nu_2)$; $q_2 = \nu_2 / (\nu_1 + \nu_2)$, причем $q_1 + q_2 = 1$. Если для растворенного вещества $q_i \ll 1$, то раствор называется *слабым* или *разбавленным*.

1.2. Сущность явления осмоса. Осмотическое давление. Опыты Пфелфера

Возьмем два раствора одного и того же вещества в одинаковом растворителе, отличающиеся молярной концентрацией. Пусть эти два раствора отделены друг от друга пористой перегородкой, через которую могут проходить как молекулы растворителя, так и молекулы растворенного вещества. Благодаря процессу диффузии начнется переход молекул растворенного вещества из сосуда с большей концентрацией в сосуд с меньшей концентрацией. Одновременно будет наблюдаться и переход молекул растворителя, но в противоположном направлении, так как там, где выше концентрация растворенного вещества, ниже концентрация растворителя. Эти процессы (в макроскопическом масштабе) будут продолжаться до тех пор, пока концентрации обоих растворов не станут равными.

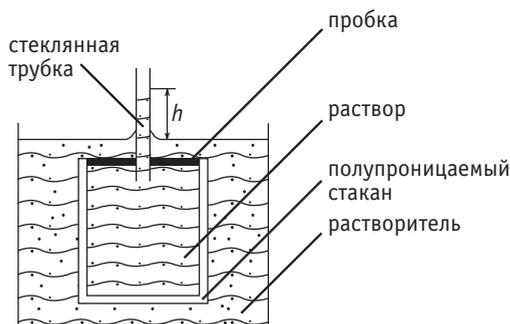


Рис. 1

Однако в природе есть пористые перегородки, через которые легко проникают молекулы растворителя, но не проходят молекулы растворенного вещества. Такие пористые перегородки получили название *полупроницаемых*. К ним относятся различные оболочки и ткани растительного и животного происхождения. Например, пленки из целлофана (изготовленные из растительного сырья), желудки животных и т. д. Известны также искусственные полупроницаемые перегородки, получаемые путем осаждения определенных химических веществ (например, железисто-синеро-дистой меди $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$) на стенках мелкопористых глиняных сосудов.

В случае, когда два раствора с разной концентрацией (или раствор и чистый растворитель) разделены полупроницаемой перегородкой, диффузия будет наблюдаться только для растворителя. Диффузия вещества через полупроницаемую перегородку, разделяющую два раствора

А СВИНОГО ЖЕЛУДКА
НЕ НАША



с разными концентрациями, и называется *осмосом*. Так как противоположный поток молекул растворенного вещества в этом случае отсутствует, то диффузия молекул растворителя в раствор приводит к повышению давления в последнем и возникновению разности давлений между раствором и растворителем. Разность давлений по обе стороны перегородки, при которой осмос прекращается, называется *осмотическим давлением*.

Качественную картину осмоса люди наблюдали достаточно давно. Если свиной или бычий пузырь (желудок) наполнить спиртом, для которого стенки пузыря непроницаемы, завязать и опустить в воду, то пузырь начнет раздуваться и может даже лопнуть под действием сил осмотического давления. Систематические количественные измерения осмотического давления впервые были проведены Пфедфером (1845-1920). Для этого он использовал прибор, который получил название *осмометра*. Один из вариантов осмометра Пфедфера показан на рис. 1.

Цилиндрический стакан с полупроницаемыми стенками плотно закрыт пробкой, в отверстие которой вставлена длинная вертикальная трубка. В стакан наливается раствор исследуемого вещества, и он погружается в сосуд с чистым растворителем. Растворитель будет диффундировать в стакан, уровень раствора в трубке начнет постепенно повышаться до некоторого предельного уровня h_{\max} , при котором гидростатическое давление столба раствора в трубке будет препятствовать дальнейшей диффузии растворителя. Гидростатическое давление этого столба жидкости $p_{\text{гидр}} = \rho g h_{\max}$ и принимается за меру осмотического давления: $p_{\text{осм}} = p_{\text{гидр}} = \rho g h_{\max}$, где ρ - плотность раствора, g - ускорение свободного падения.

Урок №2

2.1. Установка для наблюдения явления осмоса

Для демонстрации явления осмоса используется установка, схематически показанная на рис. 2. Главной частью установки является стеклянная колба 1 объемом 0,1 – 0,15 литра, имеющая вид «колокольчика» и закрытая с одной стороны полупроницаемой мембраной 2 из органического целлофана. Края целлофана закрепляются нитками 3 на «юбочке» колокольчика. Колба полностью заполняется подкрашенным раствором сахара 4 (5-10 чайных ложек на литр воды, краситель любой) и плотно закрывается резиновой пробкой 5 (нижней), в которую вставлена толстостенная стеклянная трубка 6

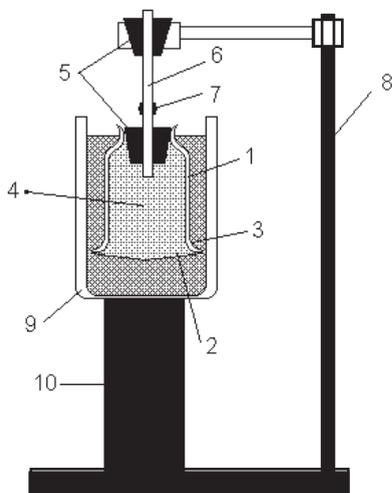


Рис. 2

длинной 25 – 30 см с внутренним диаметром 1 – 1,5 мм. На трубку надевается небольшое цветное резиновое кольцо 7, показывающее начальный уровень жидкости в трубке. Вторая резиновая пробка 5, надетая на трубку, служит для закрепления всей системы на лабораторном штативе 8. Стеклянная колба с подкрашенным раствором сахара погружается примерно до уровня нижней пробки в стакан с водой 9, стоящий на деревянной подставке 10.

Демонстрация явления осмоса на этой установке, при комнатной температуре, будет эффективной, если выполнить ряд условий. Во-первых, в качестве полупроницаемой мембраны хорошо подходит органический целлофан. Такой целлофан при деформации издает характерный хруст, а после смачивания слегка растягивается. Во-вторых, должно быть полностью исключено проникновение раствора в растворитель.

Для этого места контакта целлофана и пробки со стеклянной колбой промазывают вазелином или герметиком. Перед закреплением целлофана на колбе он должен быть смочен водой, чтобы находиться в растянутом состоянии. В-третьих, после того как раствор налит в колбу «под горлышко», необходимо выдержать несколько минут для того, чтобы целлофан со стороны раствора успел намокнуть и слегка прогнуться под тяжестью раствора. Этим исключается его дальнейшая деформация и увеличение вследствие этого объема колбы в

начале опыта. Начальный уровень раствора в колбе должен быть таким, чтобы после герметизации колбы пробкой уровень раствора в трубке оказался чуть выше пробки. После этого вся система крепится на штативе за верхнюю пробку в вертикальном положении. Расстояние от дна колбы до основания штатива лучше оставить достаточно большим, чтобы можно было снизу подвести стакан с водой, не трогая ранее закрепленную систему. Если утечка раствора незначительна, то на нее можно не обращать внимания, т.к. эксперимент носит характер качественной демонстрации эффекта. Для большей наглядности демонстрации за трубкой помещают белый матовый экран и подсвечивают трубку. Начало опыта лучше всего совместить с окончанием рассказа об осмометре в конце первого урока. В этом случае остается достаточно много времени для дальнейшего изложения материала, а в это время уровень раствора в трубке будет подниматься.

Если все параметры раствора и установки подобраны оптимальным образом, а все тонкости выполнения эксперимента учтены, то подъем раствора будет идти со скоростью до 1 см в минуту и к концу урока раствор может даже начать переливаться через верхний открытый край трубки.

Дополнительной экспериментальной иллюстрацией явления осмоса и роли осмотического давления может служить опыт с высушенным изюмом. В самом начале первого урока в небольшой стакан с водой кладется сморщенный изюм. К концу второго урока изюм в воде расправляется и набухает. Для успеха этого опыта надо заранее опытным путем подобрать необходимый сорт изюма. Можно, также, за 1 час до начала урока изюм слегка намочить.



2.2. Закон осмотического давления для слабых растворов (закон Вант-Гоффа)

На основе опытов Пфеффера нидерландский физико-химик Якоб Вант-Гофф (1852-1911) установил, что величина осмотического давления не зависит от природы растворителя, растворённого вещества и полупроницаемой перегородки (мембраны), а определяется только температурой и концентрацией растворенного вещества. Этот закон получил название закона Вант-Гоффа.

Нетрудно понять физическую природу появления осмотического давления. Для растворителя в состоянии равновесия число молекул, ударяющихся о перегородку с противоположенных сторон за единицу времени, будет одинаковым. Эти удары уравновешивают друг друга, и поэтому растворитель не оказывает никакого давления на перегородку. Но молекулы растворенного вещества ударяются о перегородку только с одной стороны. Эти неуравновешенные удары и приводят к возникновению осмотического давления.

Для слабых растворов (порядка десятых долей моля на литр) молекулы растворенного вещества в растворе находятся далеко друг от друга и между собой практически не взаимодействуют. Поэтому для слабых растворов осмотическое давление $p_{осм}$ может быть определено (это подтверждается опытом) из уравнения состояния идеального газа

$$p_{осм} = \nu \frac{RT}{V},$$

где ν - количество растворенного вещества в молях, R - универсальная газовая постоянная, T - абсолютная температура, V - объем, занимаемый раствором. Последнее равенство и есть количественное выражение закона Вант-Гоффа*.

Теперь видно, что согласно закону Вант-Гоффа для слабых растворов величина осмотического давления не зависит от природы растворителя и растворенного вещества, определяется только концентрацией n растворённого вещества (или числом его молей в единице объёма ν/V) и температурой T .

За свои исследования по химической динамике и осмотическому давлению Вант-Гофф стал первым Нобелевским лауреатом по химии (1901г.)

Рассмотрим пример. Пусть в 1 литре раствора ($V = 10^{-3} \text{ м}^3$) содержится половина моля растворенного вещества ($\nu = 0,5$ моль) при температуре $t = 17^\circ\text{C}$ ($T = 290\text{K}$). Тогда

$$p_{\text{осм}} = \nu \frac{RT}{V} \approx 1,2 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 12 \text{ атм.}$$

Это очень большое давление. Для его уравнивания столб воды должен был бы подняться почти на 120 м. В данном примере рассматривается сравнительно низкая концентрация растворенного вещества. Так для сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ($M = 342 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$) это означает, что для получения литра водного раствора надо растворить 171 г сахара.

Измерение осмотического давления растворов высокомолекулярных соединений позволяет, используя закон Вант-Гоффа, оценивать их молярную массу M , что трудно сделать другими способами.



2.3 Роль осмоса в явлениях транспорта воды от корней к надземным частям растений.

Осмотическое давление в клетках живых организмов

Явление осмоса играет огромную роль в процессах жизнедеятельности. Животные и растительные клетки в составе своей оболочки имеют полупроницаемые мембраны и представляют собой по существу миниатюрные осмотические системы. Величина осмотического давления в клетках многих растений составляет 5-20 атм. Этим и объясняется процесс всасывания воды корнями растений и перенос ее к вершинам даже очень высоких деревьев.

Действием осмотического давления объясняется также набухание семян растений, явление «пробивания» растущими побегами земли и препятствий, лежащих на земле, и т.д.



* Осмотическое давление можно найти и по другой формуле для идеального газа: $p_{\text{осм}} = nkT$, где n – концентрация молекул растворенного вещества (число молекул в единице объема), k - постоянная Больцмана. (Примечание редакции).

Осмотическое давление кровяных эритроцитов человека составляет 7,6-7,9 атм., но разность осмотических давлений крови и лимфы, определяющая скорость перехода воды между ними, составляет лишь 0,03-0,04 атм.

Падение осмотического давления в клетках при обезвоживании организма приводит к их коллапсу (сжатию); наоборот, обессоливание организма приводит к набуханию и разрыву клеток (осмотический шок). Шок при сильных кровотечениях обусловлен не столько потерей крови, сколько резким падением осмотического давления и коллапсом сосудов. Поэтому при больших потерях крови пострадавшим вводят инертные высокомолекулярные заменители плазмы крови, благодаря которым восстанавливается осмотическое давление и устраняется шок.

Литература.

1. Варбург Э. Курс опытной физики. –М.-Л.: ОНТИ, 1936. 822с.
2. Физический энциклопедический словарь. т.3. М.: Советская энциклопедия, 1963. 624с.
3. Поль Р. В. Механика, акустика и учение о теплоте. –М.: Наука, 1971. 480с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.2. Термодинамика и молекулярная физика. –М.: Наука, 1975. 552с.