

Солярис

В прозрачный сосуд, наполовину заполненный насыщенным солевым раствором, аккуратно прилейте пресную воду так, чтобы образовалась четкая граница раздела этих двух жидкостей.

Исследуйте поведение этой системы при нагревании нижней части сосуда.

Солевой раствор образован в результате растворения кристаллов соли в воде. Как и все твердые вещества, соль имеет предел концентрации при растворении в жидкости, в данном случае в воде. При дальнейшем добавлении соли она уже не растворяется, следовательно раствор является насыщенным. Растворимость вещества зависит от давления и температуры, поэтому следует отметить, что опыт был проведен при атмосферном давлении 730 мм рт. ст. и комнатной температуре 23С°.

Механизм растворения сводится к разрыву связей между молекулами каждого из исходных веществ и образованию новых связей между молекулами веществ, находящихся в растворе. Соль распадается на ионы; на разъединение молекул при растворении вещества затрачивается определенная энергия, поэтому происходит небольшое охлаждение. После разъединения молекул растворяемого вещества, силы притяжения между молекулами растворенного вещества и растворителя становятся значительными, что приводит к образованию комплексов молекул. При этом за счет работы сил притяжения внутренняя энергия увеличивается и происходит нагревание. Охлаждение солевого раствора превышает его нагревание, поэтому температура снижается в среднем на 2С°.

Именно благодаря гидратации ионы соли в растворе окружены довольно плотной и прочной оболочкой молекул растворителя.

Концентрация хлористого натрия в растворе велика, а значит высока и концентрация ионов, которые располагаются относительно друг друга таким образом, чтобы их потенциальная энергия была минимальной (ионы устраиваются таким образом, чтобы меньше влиять друг на друга). Такое расположение отвечает строгой упорядоченности или структуре, которая подобна самому кристаллу соли.

Как и в кристалле каждый катион окружён свитой из 8 анионов хлора, а каждый анион обладает свитой из восьми катионов натрия.

Именно такое расположение ионов отвечает минимуму потенциальной энергии раствора поваренной соли в воде. Чем выше концентрация в растворе, тем прочнее оболочка ионов противоположного знака около каждого иона в растворе (рис. 1).

Итак, в насыщенный солевой раствор мы аккуратно добавляем воду (растворитель) и между жидкостями образуется четкая граница; так как они имеют различную плотность, то более тяжелый компонент занимает нижнюю часть сосуда. При этом, нижний слой имеет больший коэффициент поверхностного натяжения.

С этого момента начинается процесс диффузии. Диффузионный поток направлен из точки с большей в точку с меньшей концентрацией. Разница концентраций является стимулом для перемешивания – движущей силой диффузии.

Взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга вследствие теплового движения частиц вещества ведет к равномерному распределению вещества по всему занимаемому им объему.

В жидкостях диффузия осуществляется перескоками молекул из одного временного положения равновесия в другое. Каждый скачок происходит при сообщении молекуле энергии, достаточной для разрыва ее связей с соседними молекулами и переходом в окружение других молекул (в новое энергетически выгодное положение). В среднем скачок не превышает межмолекулярного расстояния. Но так как диффузионное движение частиц в жидкости можно рассматривать как движение с трением, то происходит перемещение целых ассоциаций молекул.

При нормальных условиях этот процесс происходит довольно медленно.

Что же произойдет при нагревании нижней части сосуда?

Если слой жидкости сильно нагреть, то возникает разность (градиент) температур между нижней и верхней поверхностями. Такой температурный градиент называется инверсный.

Вследствие теплового расширения объем нижней части жидкости стремиться возрасти, давление под пленкой поверхностного натяжения увеличивается и в какой – то момент соленый раствор разрывает пленку и пузырями вырывается вверх. С этого момента на дне сосуда как бы заработал вулкан. Попадая в более холодные слои пресной воды, порции солевого раствора охлаждаются и медленно возвращаются назад. Появляется конвекционный поток, обладающий характерной структурой в виде шестиугольных ячеек (ячейки Бенара, рис. 2). Внутри ячеек жидкость поднимается вверх, а по краям опускается вниз.

Между тем избыточное давление в нижней части сосуда под пленкой уже сброшено и очередные порции раствора медленно вытягиваются из «кратера» в форме удлиняющейся вверх струи. Внутри струи создается разрежение, в которое устремляется более холодная пресная вода.

Верхняя же часть струи ещё продолжает свое движение вверх. С каждой новой порцией соленого раствора трубка удлиняется, образуя растущий вверх гофрированный см вал. Рядом с ним может вырасти ещё один или несколько таких см валов.

Постоянно верхняя часть жидкости нагревается, и уходящие вверх см валы оседают вниз. Происходит перемешивание жидкости, благодаря конвекционным потокам (рис. 3). Их появление является следствием неустойчивостей, возникающих при достижении критического значения температурного градиента. Из-за разности температур в таких системах на границах распространяются тепловые потоки.

После того, как в сосуде устанавливается стационарное распределение температуры по высоте (весь верхний слой окончательно прогревается) плотности жидкостей практически сравниваются. Система становится однородной жидкостью.

После этого, направленного движения вещества уже не происходит. Частицы по-прежнему совершают случайные блуждания, однако число частиц, движущихся в разных направлениях, одинаково. Суммарный поток равен нулю.

В процессе дальнейшего нагревания системы мы можем слышать шум. Какова же причина этого шума? Для ее выяснения проследим за пузырьками пара, которые чаще всего зарождаются на неоднородностях и микротрещинах поверхности. Характерные их размеры до закипания системы порядка 1 мм. Пузырёк, оторвавшись от горячего дна, где давление пара в нем было примерно равно атмосферному (иначе он не мог бы достаточно расшириться для всплытия), всплывая, попадает в верхние, еще не достаточно прогретые слои жидкости. Заполняющий пузырьёк насыщенный пар при этом охлаждается, его давление падает и уже не может компенсировать внешнее давление на пузырьёк со стороны жидкости. В результате пузырьёк быстро схлопывается (рис. 4) или просто сильно сжимается (если в нём, помимо водяного пара, содержалось также некоторое количество воздуха) – в жидкости распространяется звуковой импульс.

Схлопывание одновременно большого числа таких пузырьков, гибнущих в верхних слоях жидкости, воспринимается как шум.

Этот процесс можно наблюдать непосредственно при нагревании системы в стеклянном сосуде с прозрачными стенками.