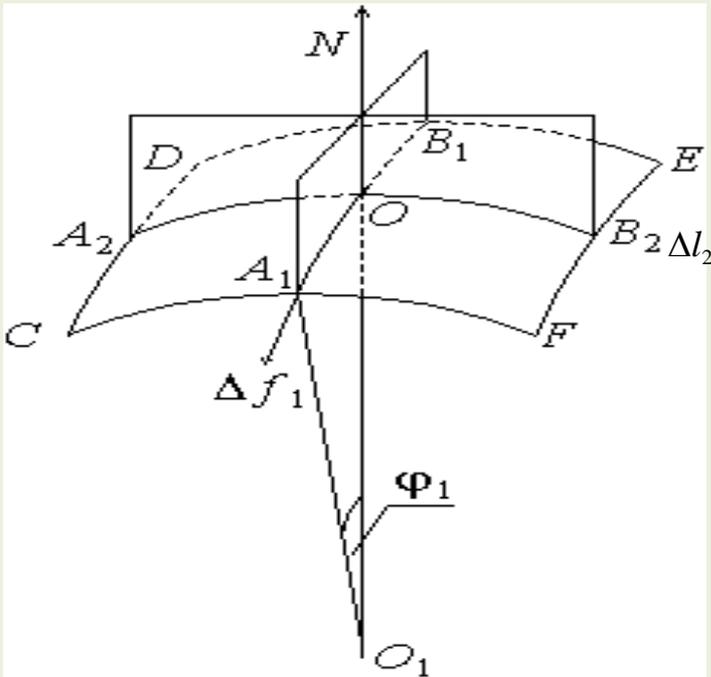


# Формула Лапласа



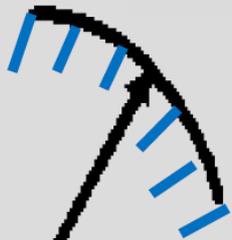
$$p_{нов} = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Частные случаи

Сфера:  $r_1 = r_2 = r$

Цилиндр:  $r_1 = r, r_2 = \infty$

Плоская поверхность:  $r_1 = \infty, r_2 = \infty$



выпуклая поверхность,  $r > 0$

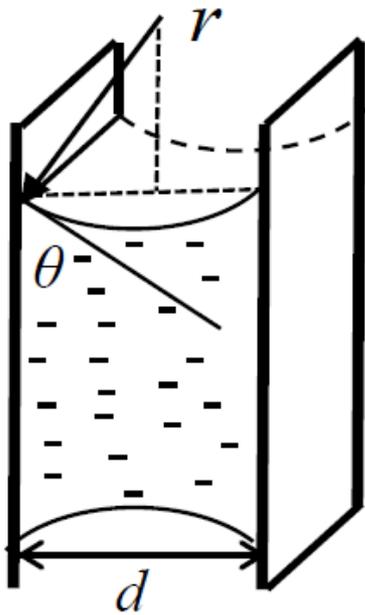


вогнутая поверхность,  $r < 0$

# Капиллярные силы

Две плоские пластинки

Краевой угол острый, мениск вогнут.  
При малом расстоянии между  
пластинками мениск жидкости имеет  
цилиндрическую поверхность.  
Причем



а

$$p_{\text{пов}} < 0$$

$$|r| \cos \theta = d / 2$$

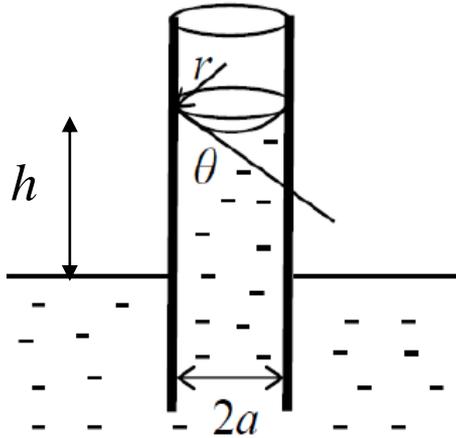
$$p_{\text{пов}} = -\frac{\sigma}{|r|} = -\frac{2\sigma \cos \theta}{d}$$

Возникает сила притяжения пластин

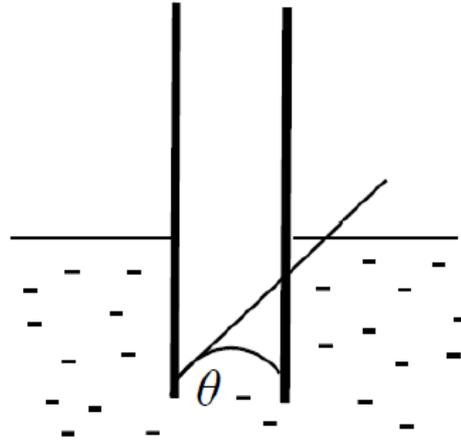
$$F = \frac{2\sigma S \cos \theta}{d}$$

$$p_{нов} < 0$$

$$p_{нов} > 0$$



b



c

Цилиндрический капилляр с выпуклым и вогнутым мениском

$$a = |r| \cos \theta$$

Пусть мениск вогнут (острый краевой угол). Тогда давление жидкости в трубочке ниже давления соприкасающегося с ней воздуха и под действием атмосферного давления уровень жидкости в трубочке поднимется.

$$p_{нов} = -\frac{2\sigma}{|r|} = -\frac{2\sigma \cos \theta}{a}$$

$$-p_{нов} = \rho g h$$

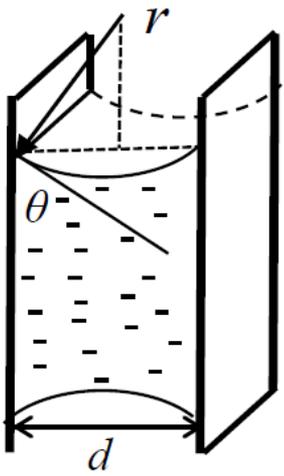
$$h = \frac{2\sigma}{g\rho |r|} = \frac{2\sigma \cos \theta}{g\rho a}$$

[Капиллярный эффект \(youtube.com\)](#)

4 мин 23 с

[\(3\) Галилео. Эксперимент. Поверхностное натяжение - YouTube](#)

4 мин

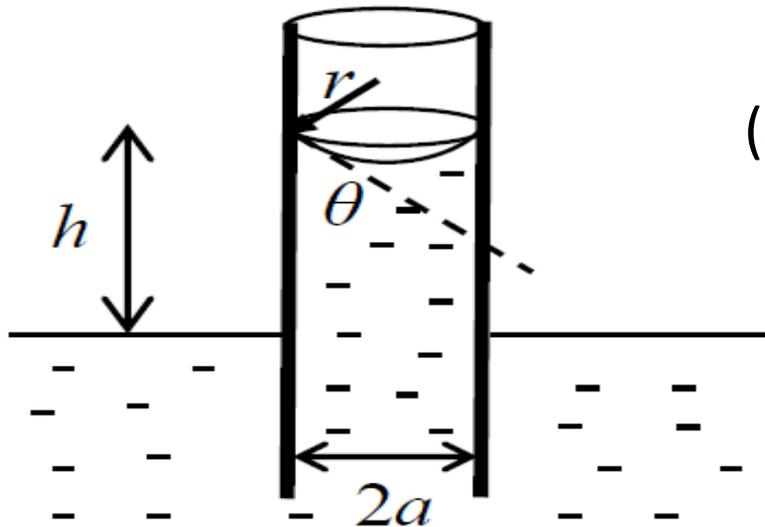


a



## Давление пара над искривленной поверхностью

$$h = \frac{2\sigma}{g\rho_{\text{жидк}}a}$$



(считаем угол  $\theta$  малым,  $\cos \theta = 1$ )

На высоте  $h$  давление насыщенного пара уменьшается:

$$\Delta p_{\text{пар}} = -\rho_{\text{пар}}gh$$

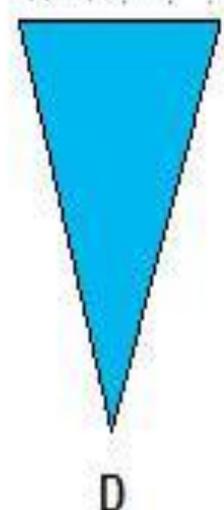
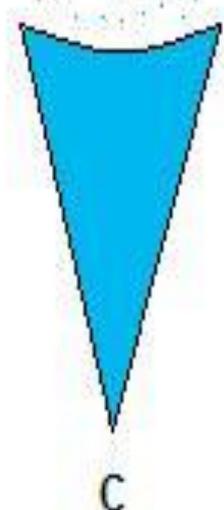
$$\Delta p_{\text{пар}} = -\frac{2\sigma}{a} \frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{жидк}}} \left( = p_{\text{нов}} \frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{ж}}} < 0 \right)$$

Давление насыщенного пара понижается

Ускорение свободного падения  $g$  в ответ не входит. Это означает, что изменение давления пара определяется только межмолекулярными взаимодействиями в жидкости. Из-за понижения внутреннего давления в жидкости происходит некоторое ослабление этих взаимодействий, и молекулам легче перейти из жидкости в пар.

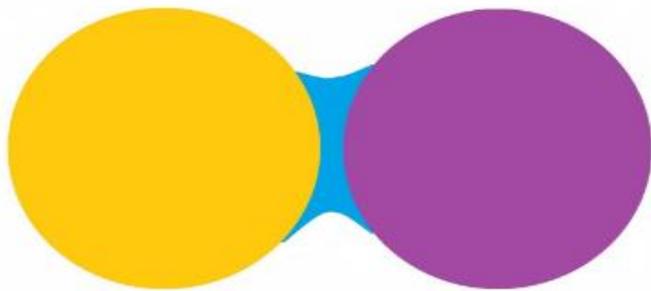
## Капиллярная конденсация

Если жидкость смачивает пористое тело, в его порах образуются вогнутые мениски жидкости. Так как давление насыщенного пара здесь понижается, то пар, который в обычных условиях не является насыщенным, может теперь оказаться пересыщенным. Начнется осаждение пара на стенки пор.



В природе это явление обеспечивает удержание влаги в почве – почва является смачиваемой мелкопористой структурой.

Капиллярная конденсация является причиной прилипания частиц пыли к твердым поверхностям. к поверхности. Этот эффект называется **капиллярной адгезией**.



Слипание мелких частиц из-за капиллярной конденсации.

# Капли на твердой поверхности в равновесии с насыщенным паром



Поверхность капель выпуклая

$$\Delta p_{\text{пар}} > 0$$

Над малыми капельками давление насыщенного пара повышается, здесь пар ненасыщенный, капли испаряются. Над большими каплями пар окажется пересыщенный, эти капли вбирают в себя пар и увеличиваются.

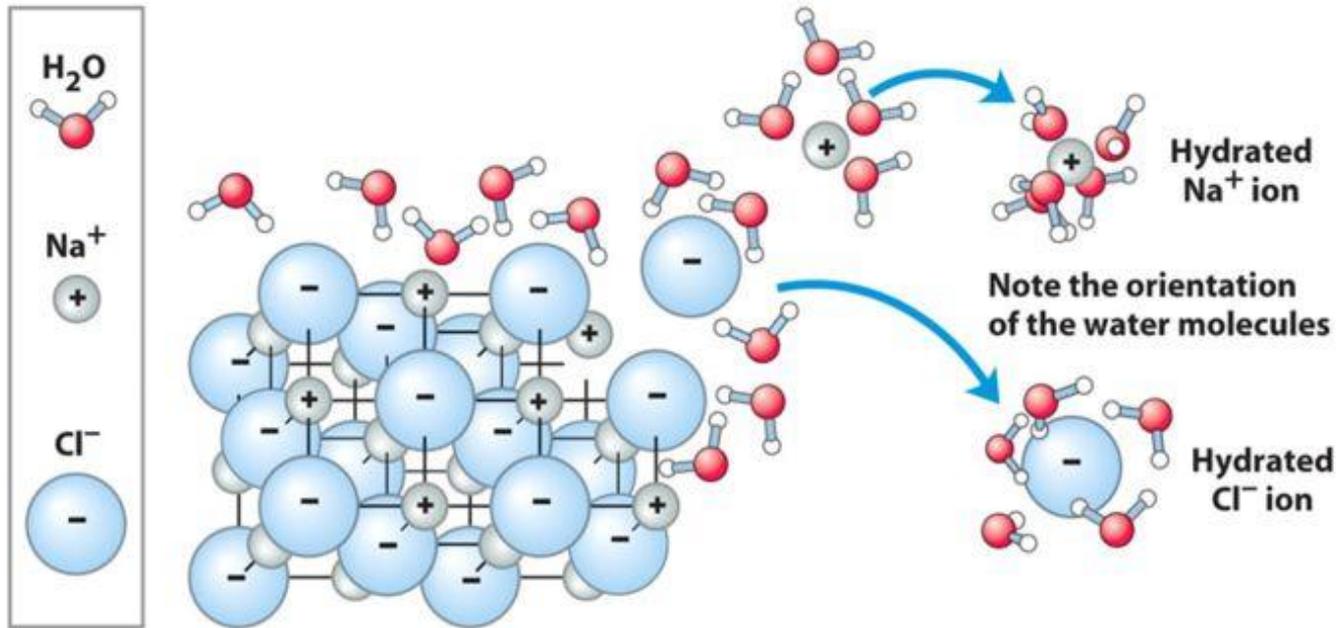
# Растворы

Растворами называют однородные смеси двух или нескольких веществ, в которых смешивание осуществляется на молекулярном уровне.

(В этом отношении растворы отличаются от механических смесей, в которых перемешаны не молекулы, а макроскопические частицы вещества.)



# Растворение кристалла поваренной соли В ВОДЕ



Растворение твердого тела происходит путем перехода одиночных молекул в раствор.

Сопровождается диффузией растворенного вещества в окружающую жидкость.

Растворы не являются просто физическими смесями молекул, а приближаются к химическим соединениям. Так, при смешении спирта с водой наблюдается уменьшение объема. Растворение обычно сопровождается выделением или поглощением теплоты.

От химических соединений растворы отличаются однако тем, что относительные количества веществ в растворах могут меняться, в химические же соединения вещества входят в строго определенных пропорциях.

Если одного вещества в растворе больше, чем других, то оно называется растворителем, а прочие вещества – растворенными веществами.

## Концентрации растворенных веществ в растворе

Разные способы представления.

Как в газе, для  $i$ -го компонента :

$$n_i = \frac{N_i}{V}$$

В мольных долях:

$$x_i = \frac{v_i}{\sum_i v_i}$$

В процентах по массе:

$$\chi_i = \frac{m_i}{\sum_i m_i} \times 100\%$$

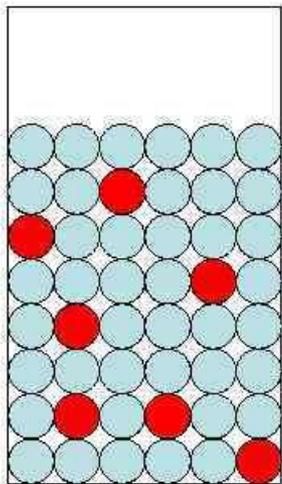
Как число молей в 1 литре раствора (молярная концентрация):

$$c_i = \frac{v_i}{V}$$

Индекс 1 относится к растворителю, индексами 2, 3 и т.д. – величины, относящиеся к растворенным веществам.

# Идеальные растворы

## Идеальный раствор



$$E_{AA} = E_{BB} = E_{AB}$$

Энергия взаимодействия между всеми частицами одинакова

При образовании такого раствора

$$\Delta H = 0$$

Компоненты должны быть очень схожи!

Приближенно можно считать идеальными  
(независимо от природы компонентов)  
очень разбавленные растворы

Раствор называется идеальным, если взаимодействия между молекулами растворителя и растворенного вещества, между молекулами растворенного вещества и между молекулами растворителя близки или одинаковы. Образование идеального раствора не сопровождается химическим взаимодействием, изменением объёма и тепловым эффектом.

Для идеального раствора жидкостей:

$$V = \sum_i V_i$$

Внутренняя энергия :

$$U = \sum_i U_i$$

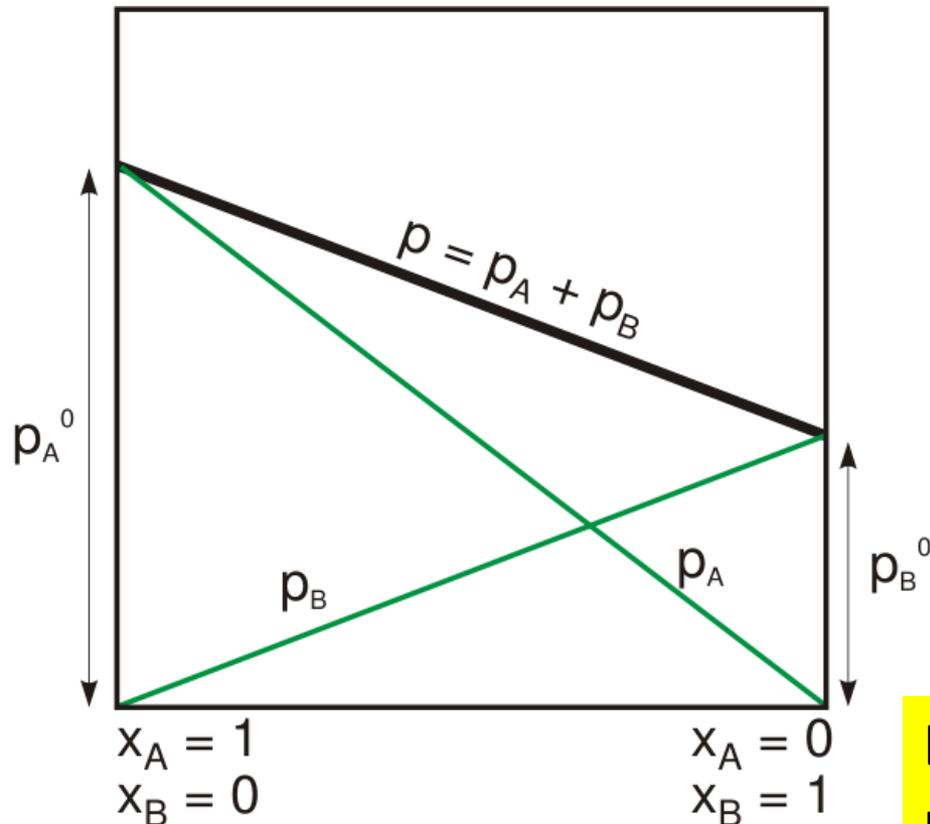
Некоторые реальные растворы действительно обладают такими свойствами, например, метиловый спирт в этиловом спирте, бензол в толуоле.

# Давление паров над раствором, закон Рауля

Для идеального раствора с поверхности жидкости все компоненты раствора испаряются одинаково. Тогда давление насыщенного пара  $i$ -го компонента  $p_i$  (парциальное давление пара) с мольной долей  $x_i$

$$p_i = x_i p_i^0$$

$$x_i = \frac{v_i}{\sum_i v_i}$$



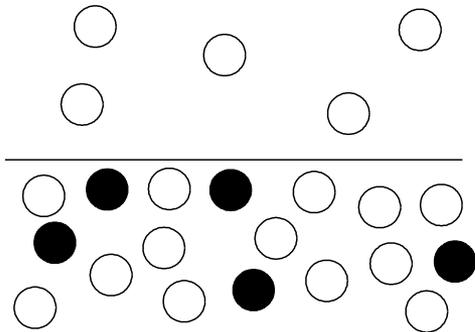
$p_i^0$  Давление пара над чистым веществом  $i$

Выполнение закона Рауля – критерий идеальности раствора

Давление паров растворителя уменьшается по сравнению со случаем чистого растворителя.

Если растворено одно вещество, тогда  $x_1 = (1 - x_2)$ :

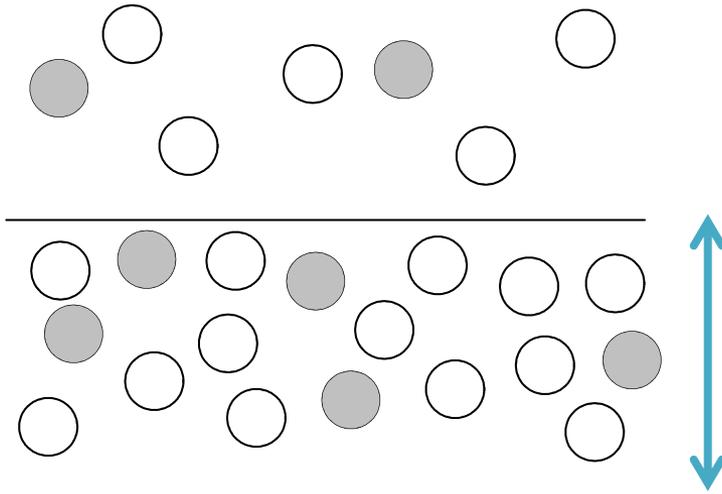
$$p_1^0 - p_1 = x_2 p_1^0$$



Растворенные молекулы занимают часть поверхности раствора и препятствуют таким образом испаряться молекулам растворителя.

В законе Рауля никак не проявляется специфика химических или физических свойств молекул компонент растворов, все сводится только к их мольным долям. Такая особенность является одним из проявлений так называемой *коллигативности* свойств растворов.

# Растворы газов в жидкостях, закон Генри



Число молекул, переходящих в раствор, пропорционально числу ударов молекул о поверхность, т. е. давлению газа.

Число возвращающихся в газовую фазу молекул пропорционально концентрации растворенного газа.

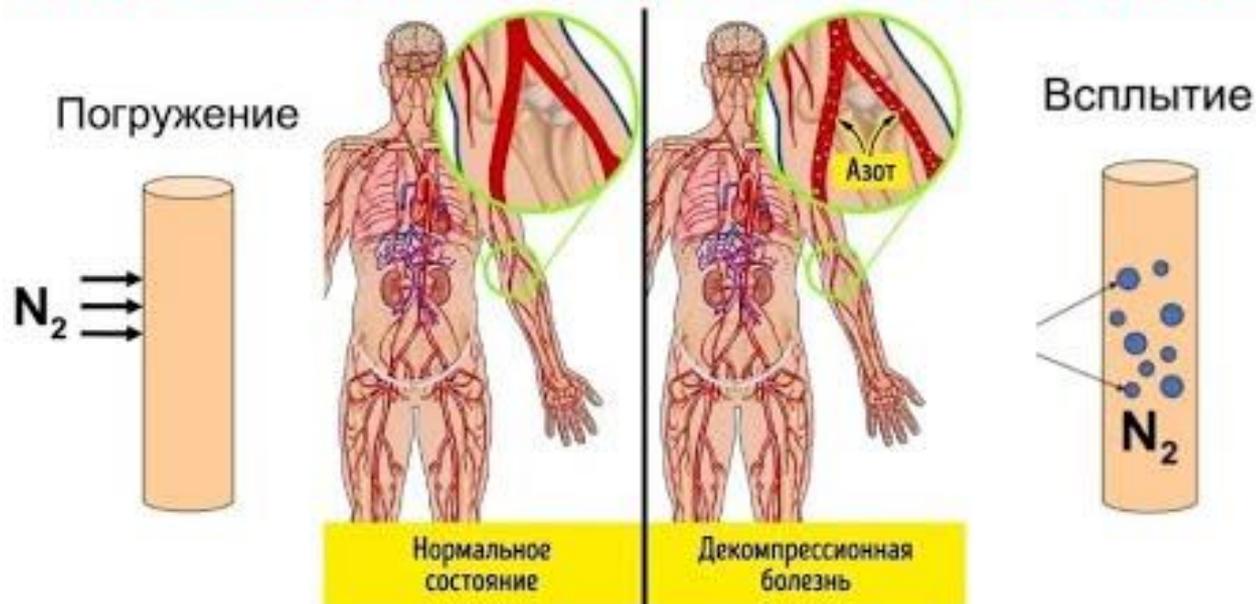
Тогда растворимость газа пропорциональна его парциальному давлению над раствором

$$c_i = k_i p_i$$

Закон Генри

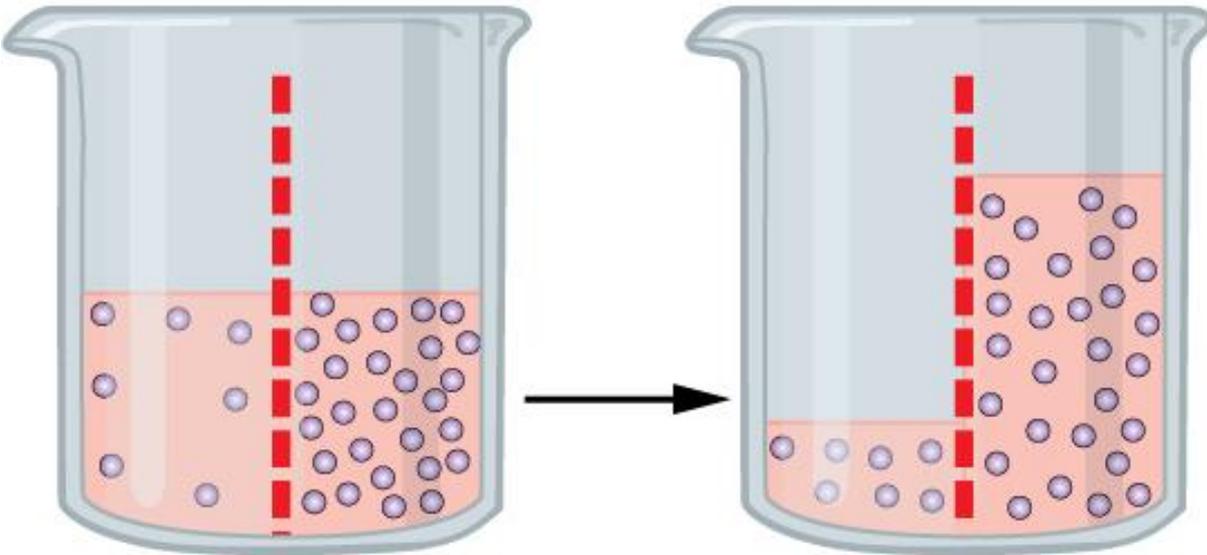


# КЕССОННАЯ БОЛЕЗНЬ



## Осмоз и осмотическое давление

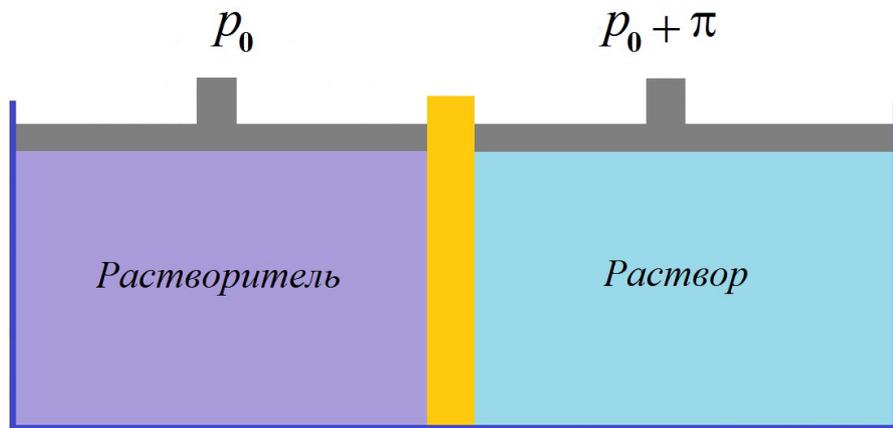
Существуют полупроницаемые пористые перегородки, которые проницаемы для молекул одного вещества и непроницаемы для другого. Такими свойствами обладают некоторые полимерные пленки.



В живой природе полупроницаемыми являются мембраны и оболочки клеток.

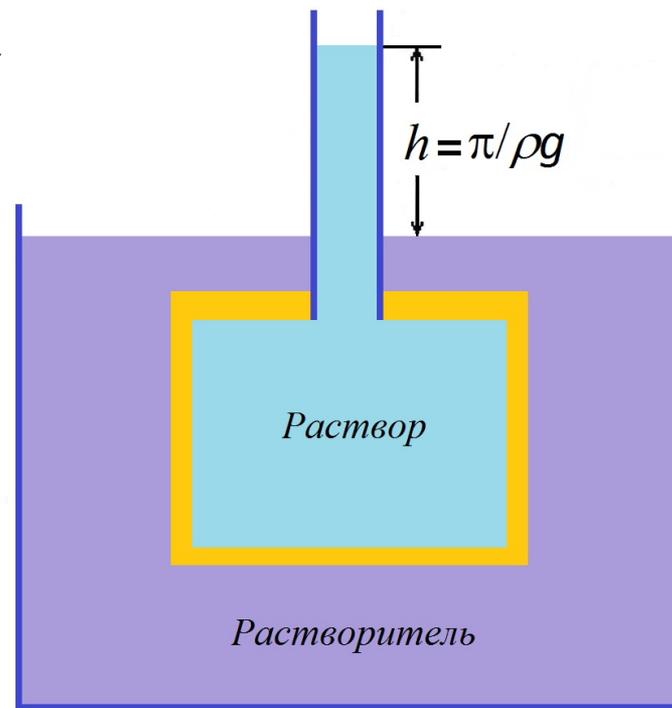
Полупроницаемые перегородки приводят к явлению в растворах, называемому осмосом.

## Два типа опытов по наблюдению осмоса



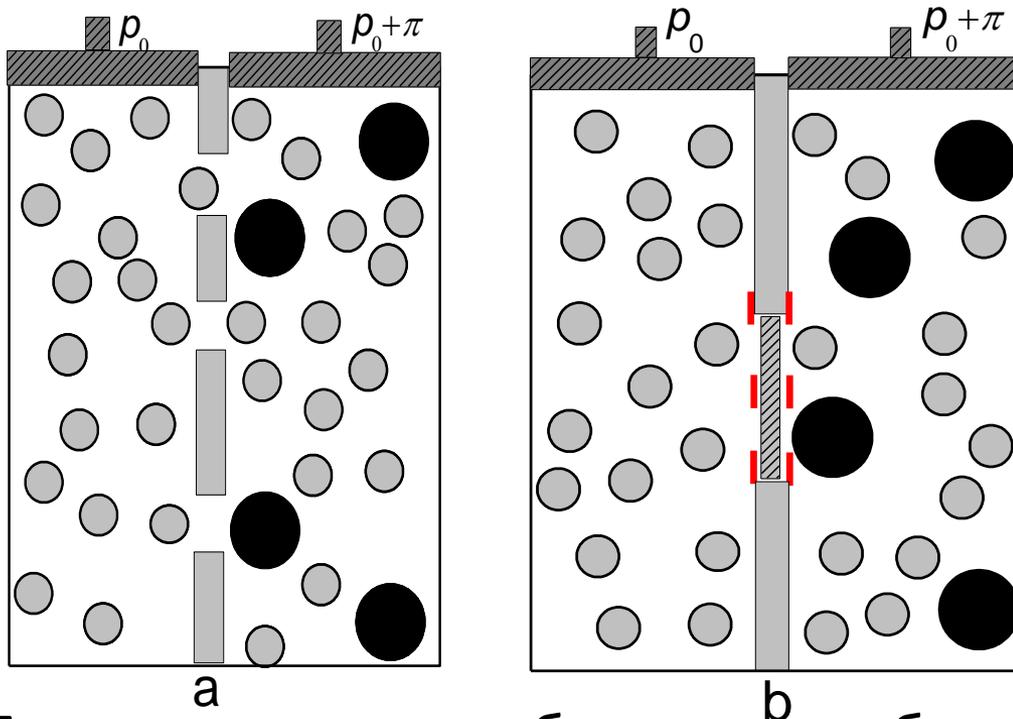
Для поддержания равновесия в системе давление на раствор должно быть на некоторую величину  $\pi$  больше давления на чистый растворитель.

$\pi$  – осмотическое давление



Внешнее давление одинаково, но при этом происходит повышение уровня раствора на величину  $h = \pi / \rho_{p-p} g$ , где  $\rho_{p-p}$  – плотность раствора,  $\pi$  – давление.

# Молекулярная природа осмоса



## Модель.

Поры в перегородке заменены подвижным поршнем, окруженным решеткой, через которую молекулы растворенного вещества проникать не могут.

Для равновесия необходимо, чтобы справа давление молекул растворителя компенсировало «потерянное» давление молекул растворенного вещества. Это дополнительное давление можно определить, пользуясь аналогией с идеальным газом.

$$\pi = \nu_2 \frac{RT}{V}$$

## Закон Вант-Гоффа

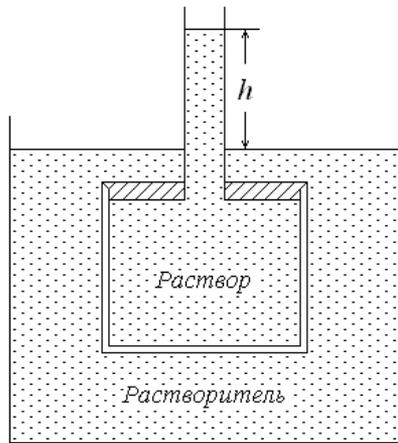
$\nu_2$  – количество молей растворенного вещества.

Другая запись:

$$\pi = x_2 \frac{RT}{\tilde{V}}$$

$$\left( x_2 = \frac{\nu_2}{\nu_1 + \nu_2}, \quad \tilde{V} = \frac{V}{\nu_1 + \nu_2} \right)$$

Осмотическое давление для морской воды равно 2,7 атм:  
может подняться на 27 м.



Осмотическая электростанция в Норвегии, работающая на полупроницаемой мембране, разделяющей речную и морскую воду

# Пример применения осмоса в промышленности: опреснение морской воды

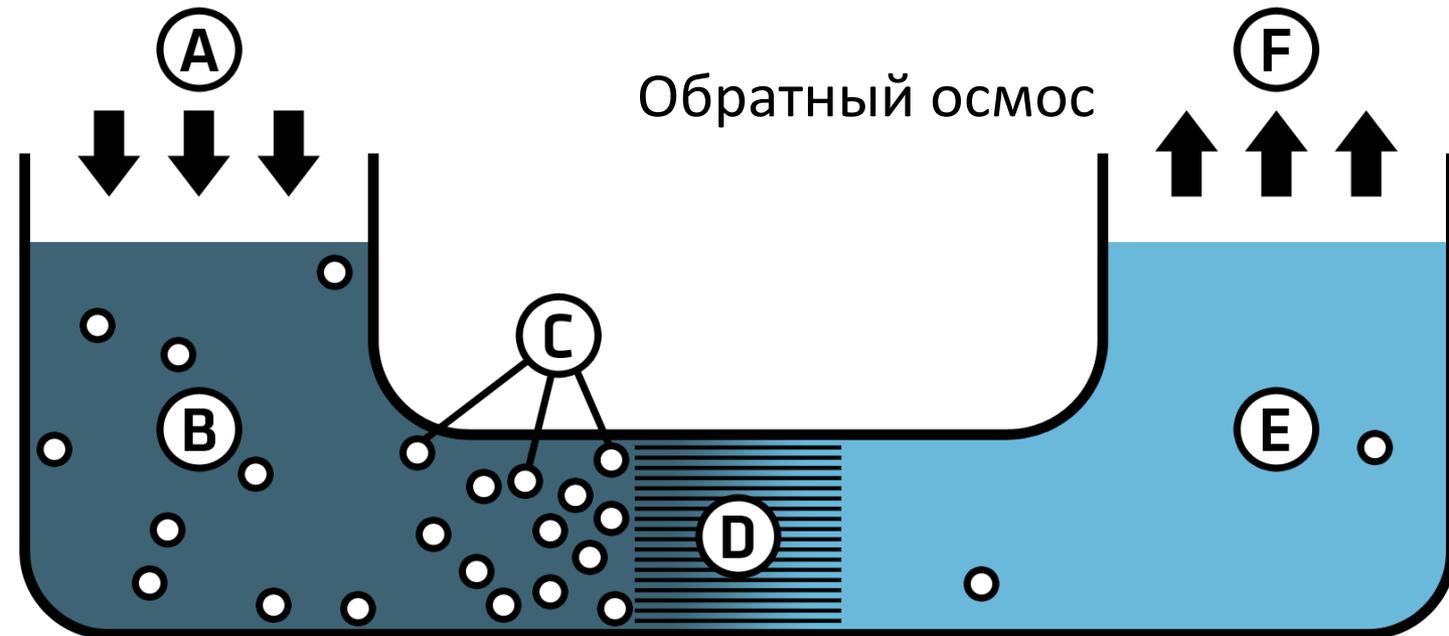


Опреснительная установка, Оман

Один из вариантов:

Концентрированный раствор карбоната аммония находится по другую сторону полупроницаемой мембраны от солёной воды и благодаря осмосу вода перемещается в раствор карбоната аммония. Последний затем нагревается до температуры 60-80 °С, карбонат аммония разлагается и покидает раствор. В итоге получается почти дистиллированная вода.



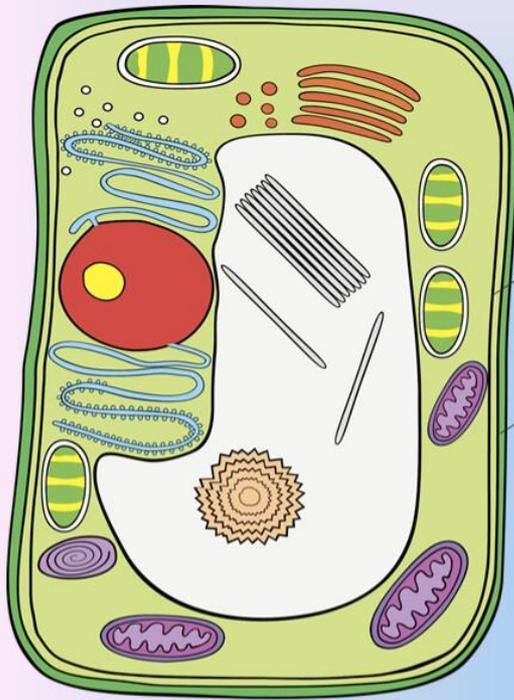


Авторство: Colby Fisher. Собственная работа, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25213532>

Используют для очистки воды, опреснения морской воды, получения особо чистой воды для медицины и промышленности. В частности, с помощью обратного осмоса получают концентраты фруктовых соков.



# Значение осмоса для живых организмов



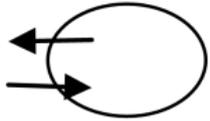
Клеточная  
мембрана

Клеточная  
стенка

**Тончайшая мембрана сортирует вещества, входящие в клетку и покидающие её. Она обычно покрыта прочной клеточной стенкой.**

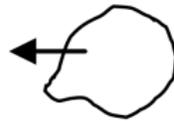
Клетки любого живого организма окружены полупроницаемой мембраной

## Изменение осмотического давления в окружении клеток:



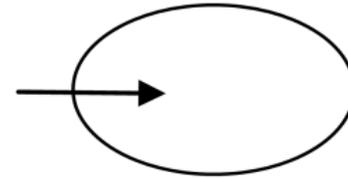
Изотоническая среда

осмотическое  
давление в среде  
равно  
осмотическому  
давлению в клетке



Гипертоническая среда

осмотическое  
давление в среде  
больше, чем в  
клетке



Гипотоническая среда

осмотическое  
давление в среде  
меньше, чем в  
клетке

## Учет явления осмоса в медицине

- При уколах используется разведение лекарств в так называемом физиологическом растворе, который является изотоническим клеткам крови. Обычно это 0,9 % раствор NaCl в воде.
- Лечебные спреи изготавливаются на основе изотонических для крови растворов
- Гипертонические солевые и спиртовые растворы используются при наложении компрессов



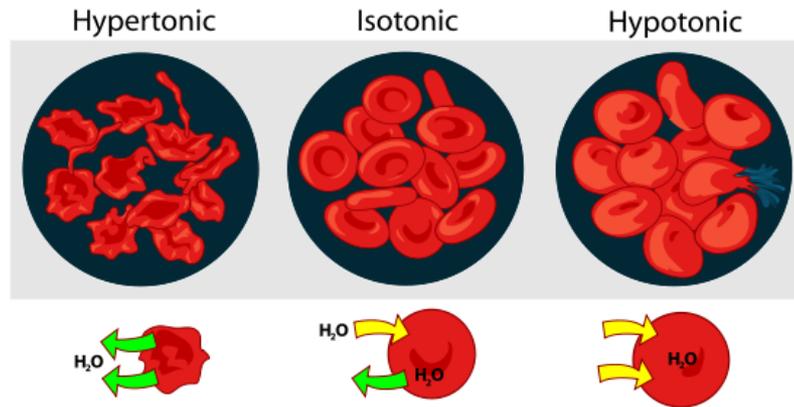
Биологическое значение осмоса состоит еще в «подкачке» клеток водой



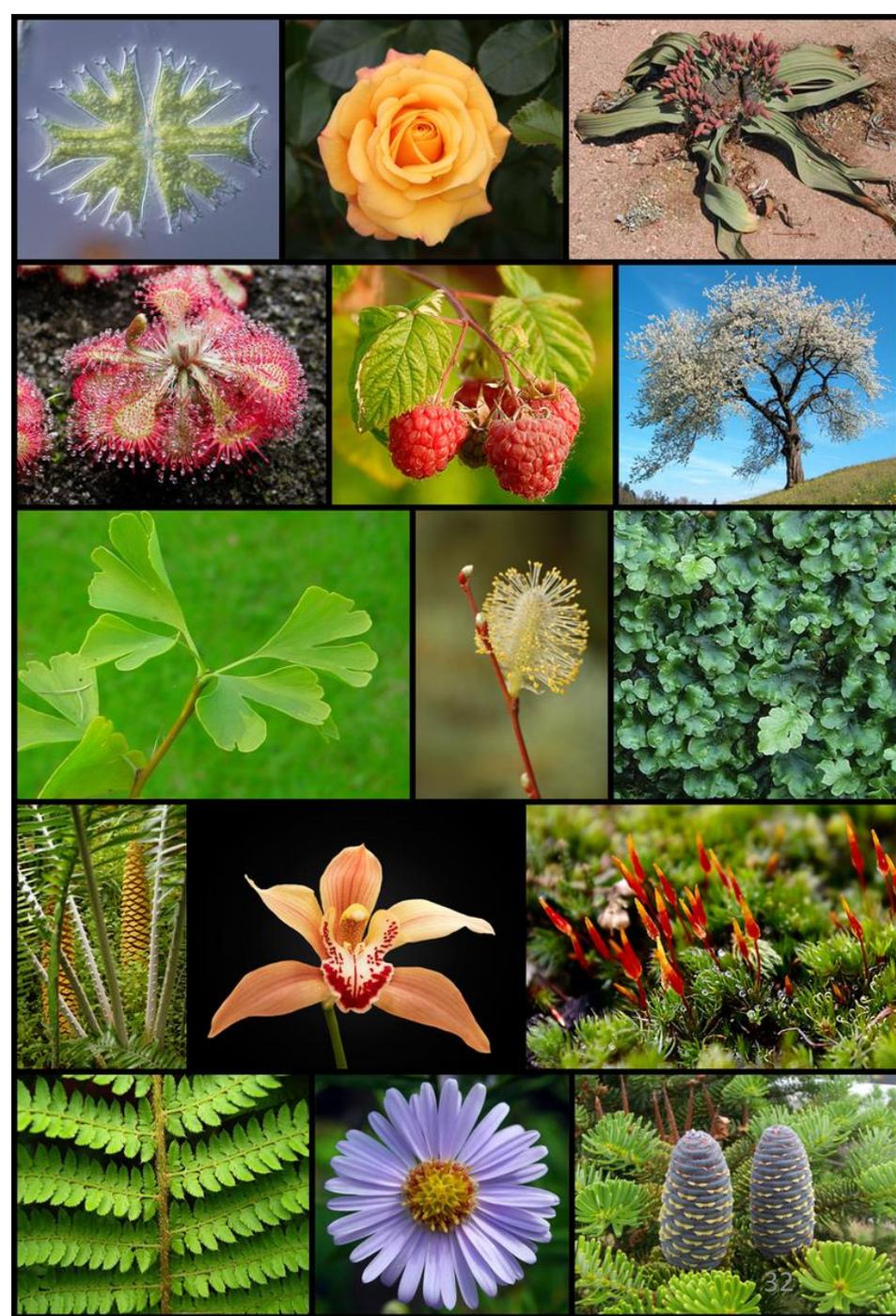
Форма надувных конструкций поддерживаются подкачкой воздуха



Осмоз «подкачивает» воду  
внутри клеток, что и придает  
им форму



Клетки крови в  
гипертоническом,  
изотоническом и  
гипотоническом окружении.



Осмоз обеспечивает движение соков по стволу дерева от корней вверх.

