

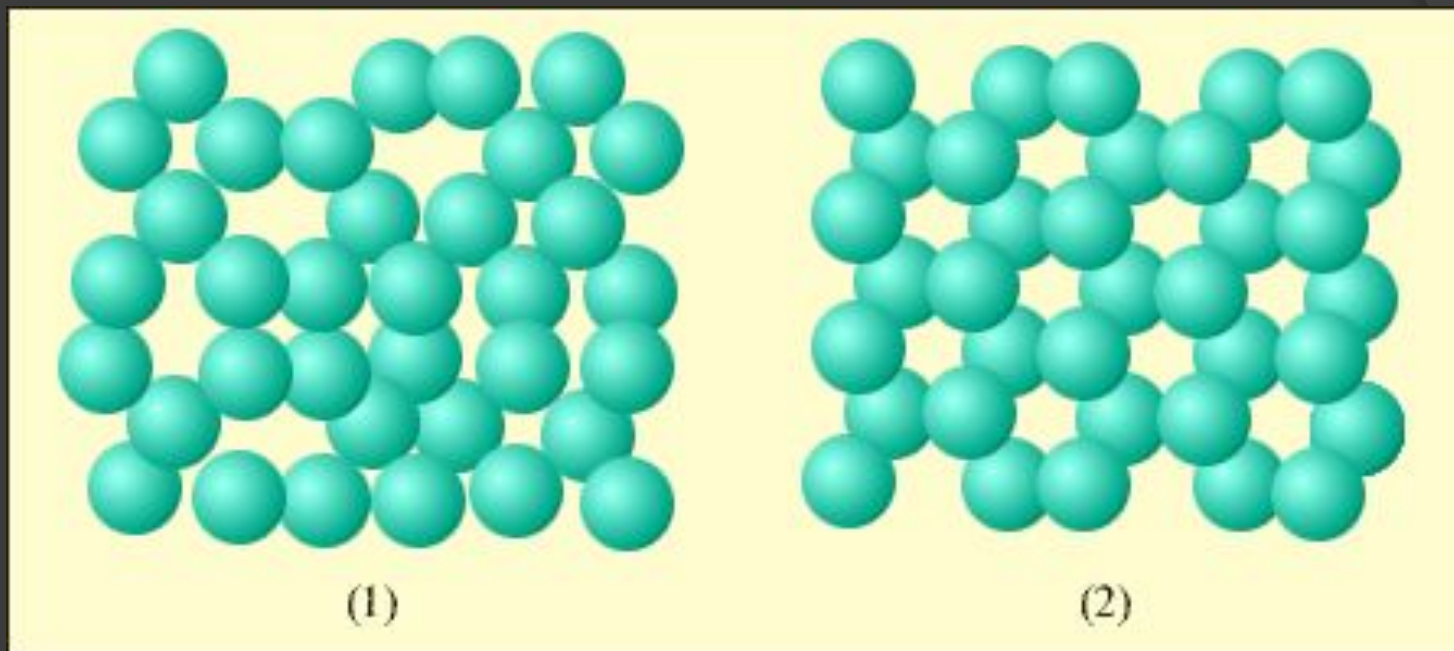
A high-speed photograph of a water droplet falling into a pool of water. The droplet is captured in mid-fall, just above the surface, creating a series of concentric ripples. The background is a soft, out-of-focus blue and orange gradient.

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ.

# Текучесть жидкости

Молекулы вещества в жидком состоянии расположены почти вплотную друг к другу. В отличие от твердых кристаллических тел молекулы жидкости обладают большей свободой. Каждая молекула жидкости, также как и в твердом теле, «зажата» со всех сторон соседними молекулами и совершает тепловые колебания около некоторого положения равновесия. Однако, время от времени любая молекула может переместиться в соседнее вакантное место. Молекулы не привязаны к определенным центрам, как в кристаллах, и могут перемещаться по всему объему жидкости. Этим объясняется текучесть жидкостей



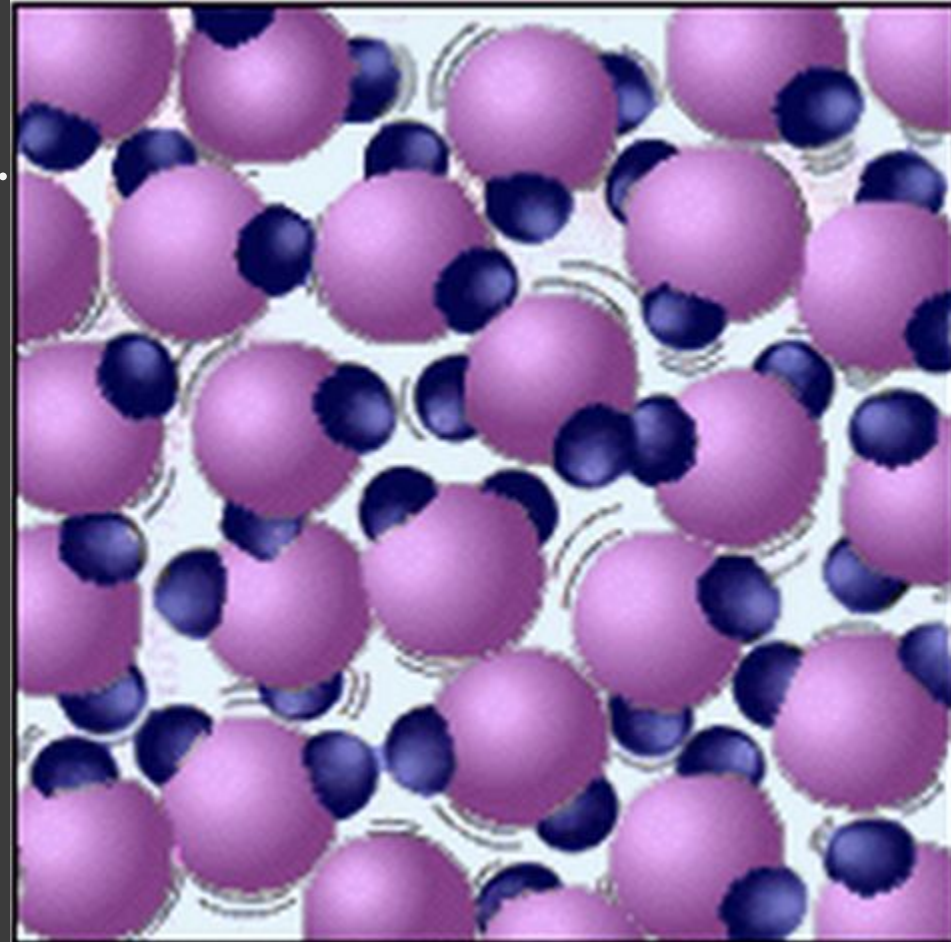


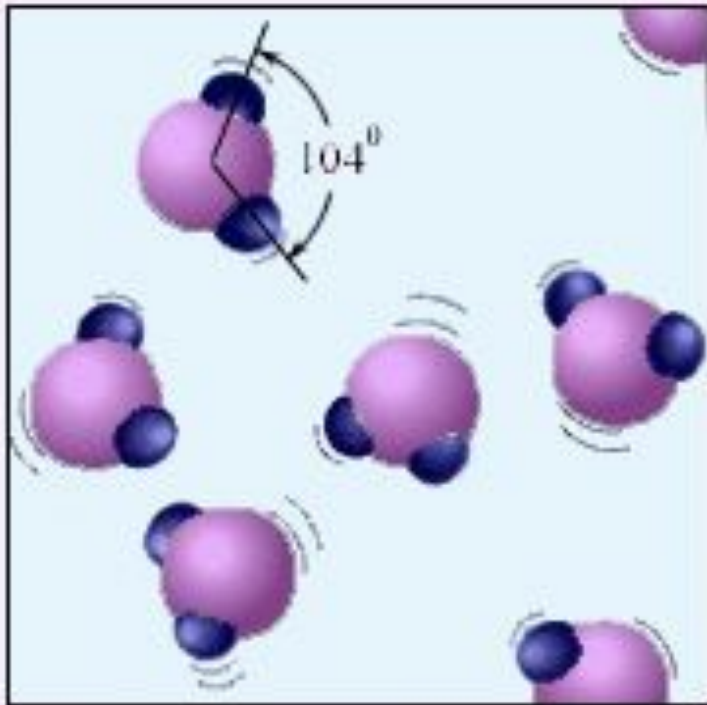
Пример ближнего порядка молекул жидкости и дальнего порядка молекул кристаллического вещества: 1 – вода; 2 – лед.



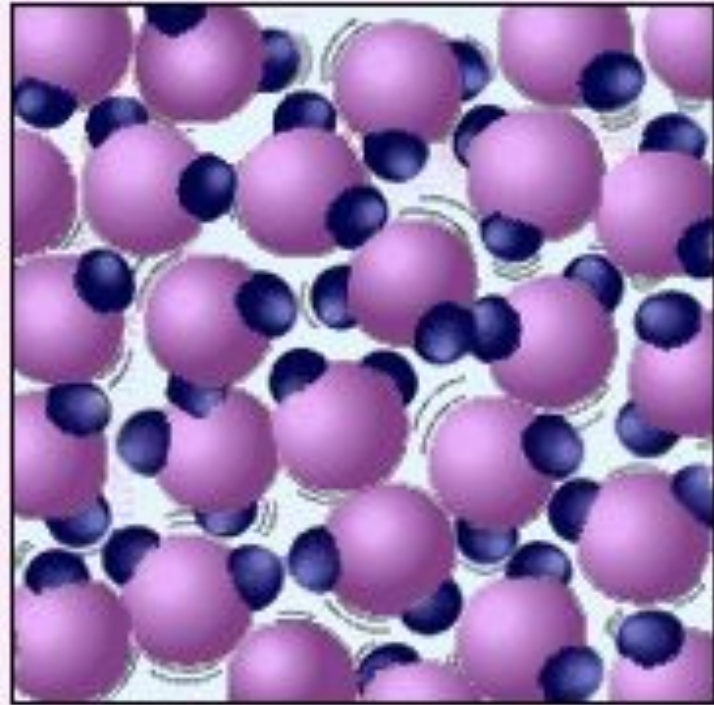
# Сжимаемость жидкости

Вследствие плотной упаковки молекул сжимаемость жидкостей, т. е. изменение объема при изменении давления, очень мала; она в десятки и сотни тысяч раз меньше, чем в газах. Например, для изменения объема воды на 1 % нужно увеличить давление приблизительно в 200 раз. Такое увеличение давления по сравнению с атмосферным достигается на глубине около 2 км.





(1)



(2)

Водяной пар (1) и вода (2). Концентрация молекул воды увеличены примерно в  $5 \cdot 10^7$  раз.

# Объемное расширение жидкости

- Жидкости, как и твердые тела, изменяют свой объем при изменении температуры. Для не очень больших интервалов температур относительное изменение объема  $\Delta V / V_0$  пропорционально изменению температуры  $\Delta T$ :

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T.$$

Коэффициент  $\beta$  называют *температурным коэффициентом объемного расширения*.

Этот коэффициент у жидкостей в десятки раз больше, чем у твердых тел. У воды, например, при температуре  $20\text{ }^\circ\text{C}$   $\beta_{\text{в}} \approx 2 \cdot 10^{-4}$ ,  
у стали  $\beta_{\text{ст}} \approx 3,6 \cdot 10^{-5}$ ,  
у кварцевого стекла  $\beta_{\text{кв}} \approx 9 \cdot 10^{-6}$ .

# Поверхностное натяжение жидкостей





# Поверхностное натяжение в природе









Мыльный пузырь –  
самое красивое и самое  
совершенное, что  
существует в  
природе.  
Марк Твен

Мыльный пузырь - тонкая многослойная пленка мыльной воды, наполненная воздухом, обычно в виде сферы с переливчатой поверхностью.





Водомерки легко скользят по поверхности воды. Лапка водомерки, покрытая воскообразным налётом, не смачивается водой, поверхностный слой воды прогибается под давлением лапки, образуя небольшое углубление.





Лапки водомерки



Лапки берегового паука









## Общее в рассмотренных примерах

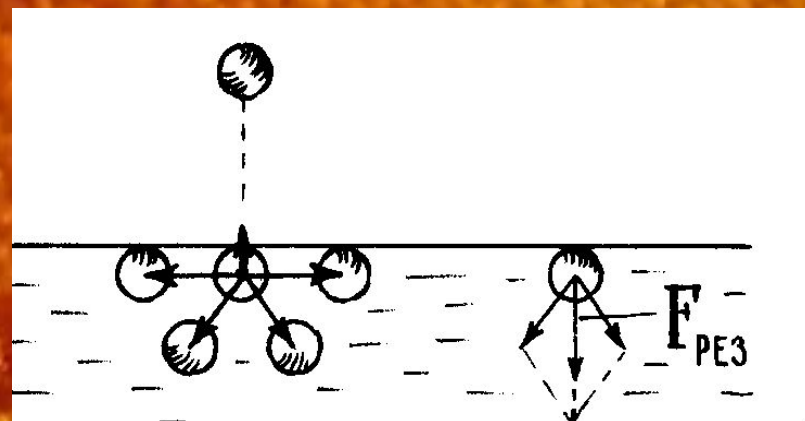
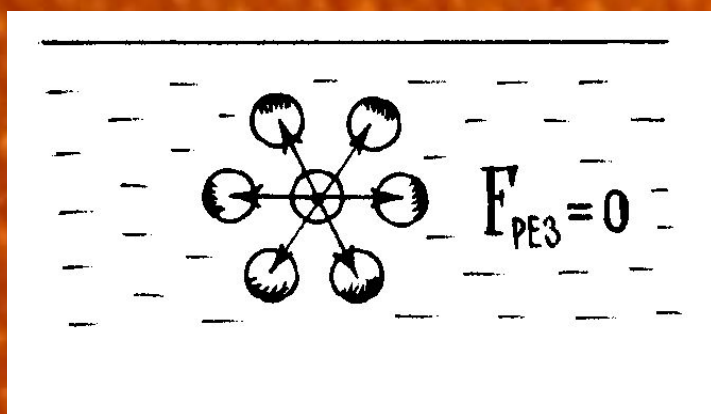
1. Явления протекают на поверхности жидкости.
2. На тела, находящиеся на поверхности жидкости действуют с ее стороны силы .





## Происхождение

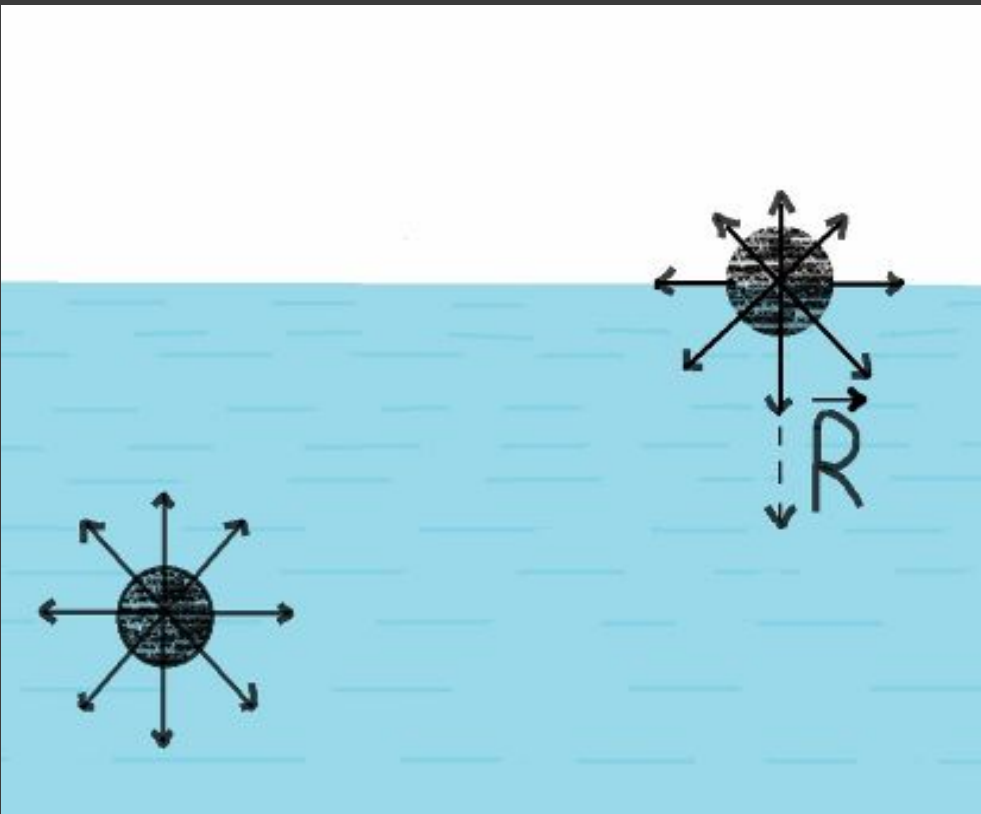
Молекулы внутри жидкости притягиваются соседними молекулами со всех сторон, поэтому молекулярные силы здесь скомпенсированы.



Молекулы, расположенные на поверхности жидкости, притягиваются соседними молекулами в основном внутрь жидкости, так как плотность водяных паров, находящихся над жидкостью, несравнимо меньше плотности самой жидкости.



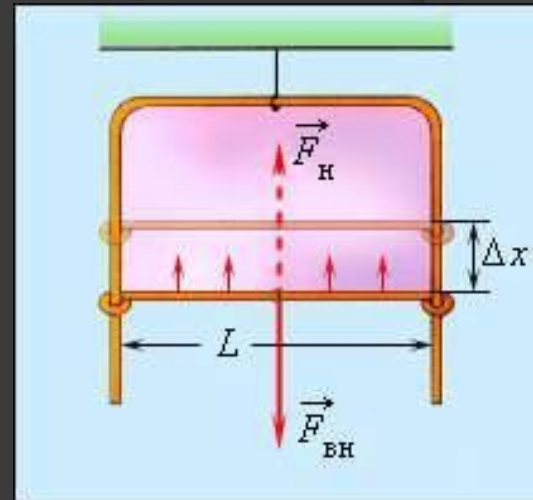
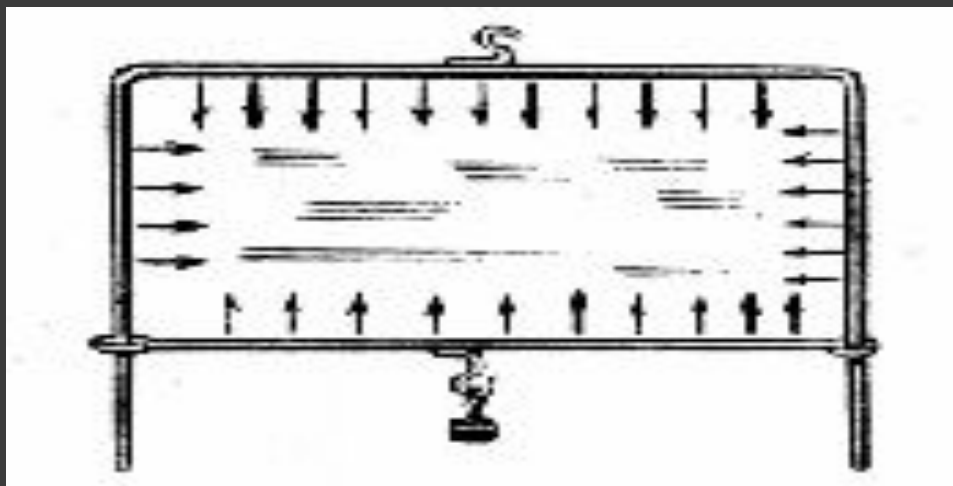
# Поверхностное натяжение жидкостей



Равнодействующая сил, действующая на каждую молекулу на поверхности жидкости, будет направлена вглубь жидкости, перпендикулярно поверхности.

И поверхностные молекулы втягиваются внутрь жидкости.

Сила поверхностного натяжения — это сила, действующая вдоль поверхности жидкости, перпендикулярная к линии, ограничивающей эту поверхность, стремящаяся сократить ее до минимума.





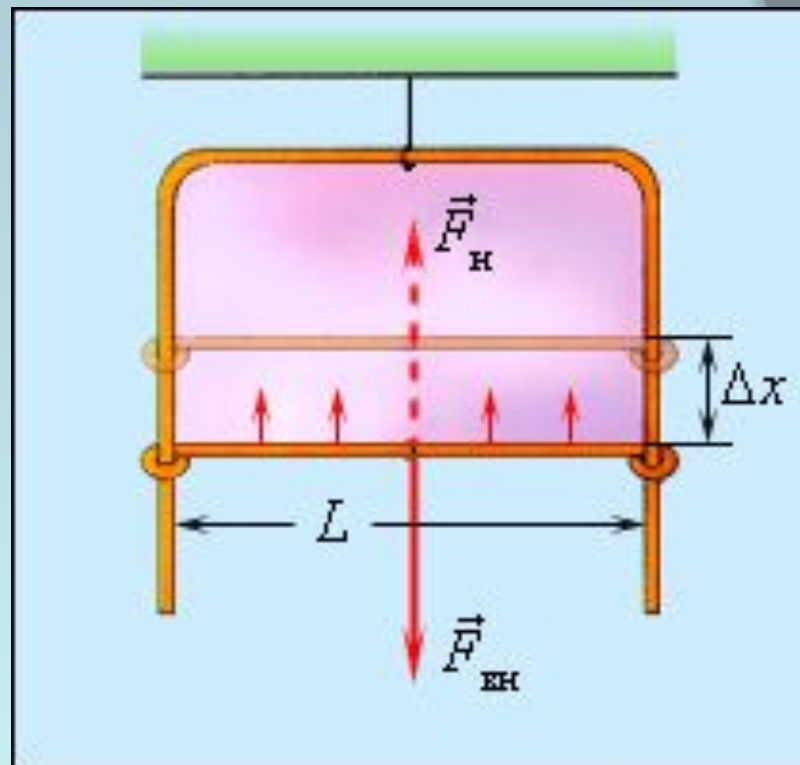
Форма шара – число молекул на поврхности минимално

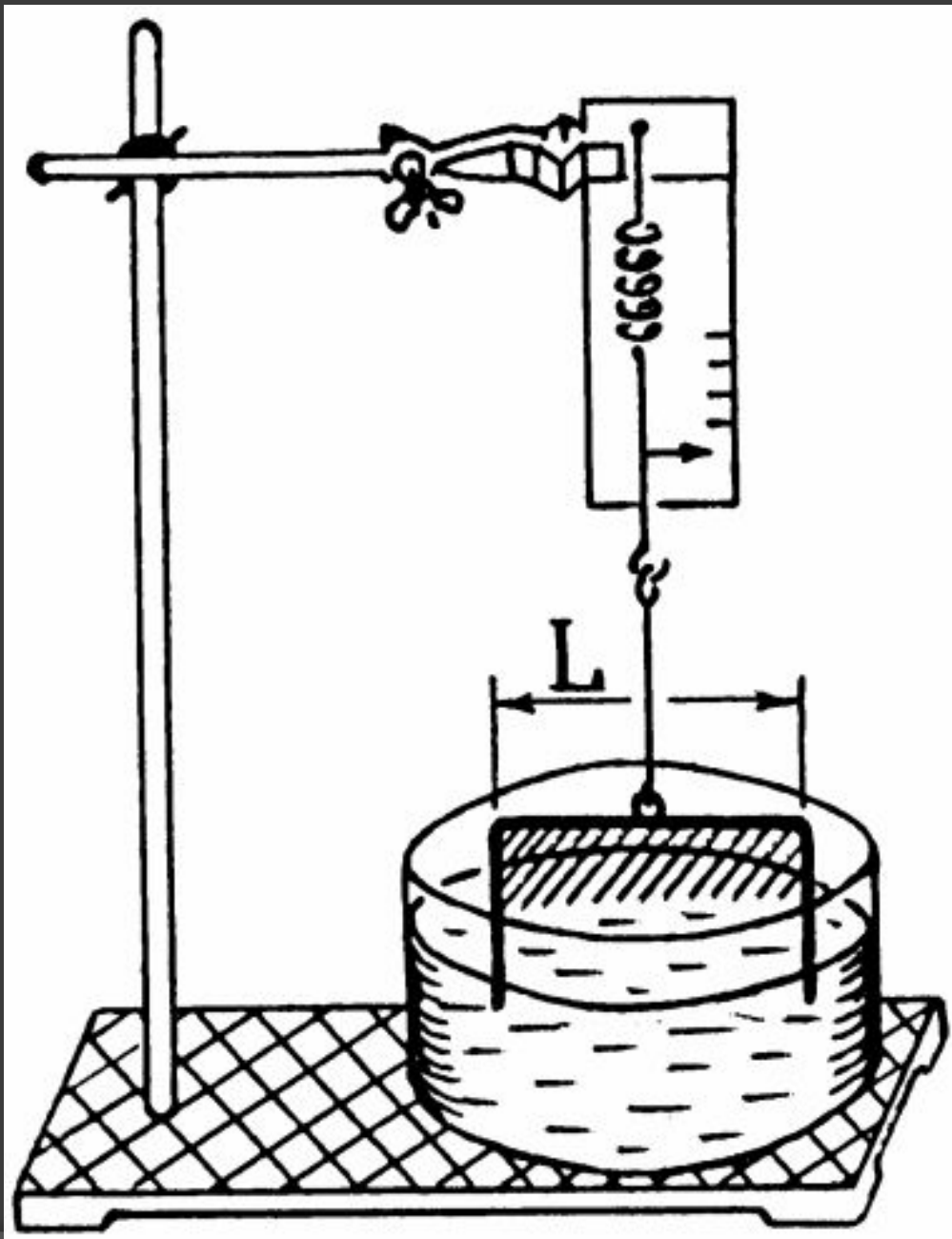


# Механизм возникновения поверхностного натяжения

Если в мыльный раствор опустить проволочную рамку, одна из сторон которой подвижна, то на ней образуется пленка жидкости.

Силы поверхностного натяжения стремятся сократить поверхность пленки и направлены вверх.





Сила поверхностного натяжения прямо пропорциональна длине линии, разделяющей поверхность жидкости и соприкасающегося с ней тела.

$$F = \sigma L_0$$

$$L_0 = 2L$$

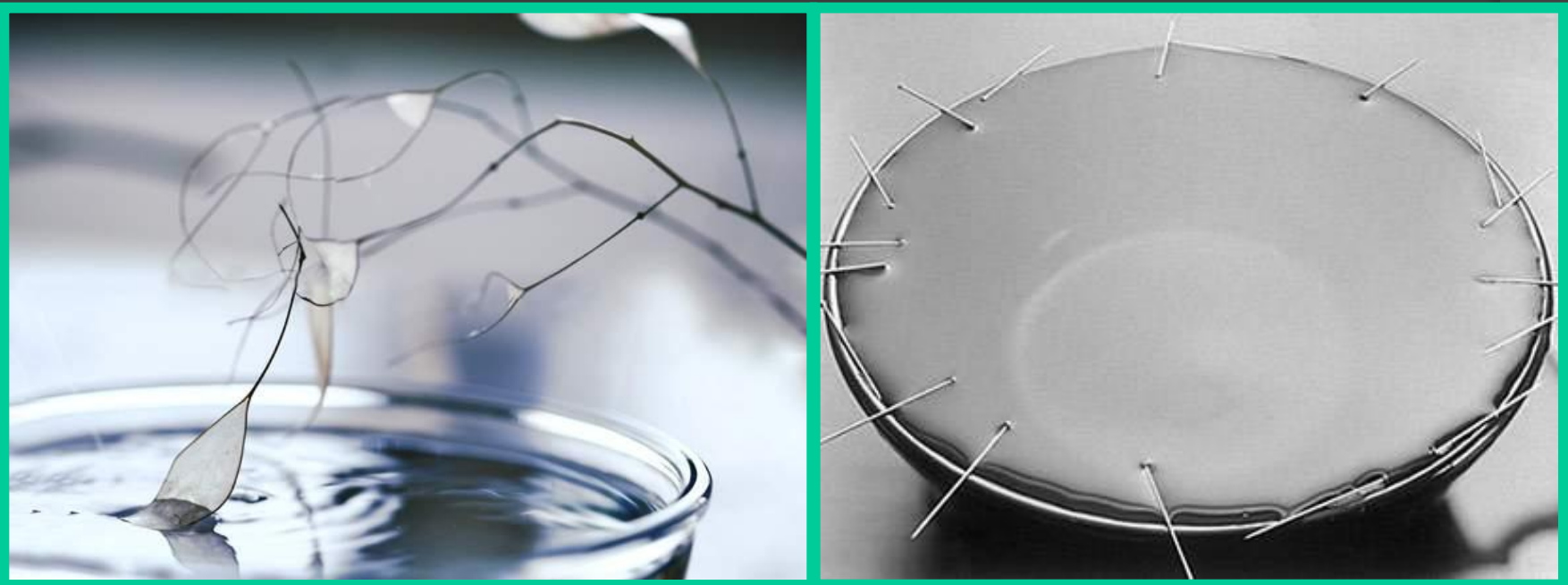
*так как пленка имеет две поверхности*

где  $\sigma$  - коэффициентом поверхностного натяжения жидкости.

$$F = \sigma L_o$$

**Коэффициент поверхностного натяжения жидкости** показывает, какая сила поверхностного натяжения действует на единицу длины контура свободной поверхности жидкости.

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{М}}$$





# Коэффициент поверхностного натяжения жидкости

$$\sigma = \frac{F_{\text{пов}}}{2L}$$

$\sigma$  - модуль силы поверхностного натяжения, действующей на единицу длины линии, ограничивающей поверхность.

$\sigma$  - ЗАВИСИТ ОТ:

- рода жидкости
- наличия примесей
- температуры

## Для капли

Если среднее расстояние между молекулами внутри жидкости равно  $r_0$ , то молекулы поверхностного слоя упакованы несколько более плотно, а поэтому они обладают дополнительным запасом потенциальной энергии по сравнению с внутренними молекулами. Чтобы вытащить некоторое количество молекул из глубины жидкости на поверхность (т. е. увеличить площадь поверхности жидкости), внешние силы должны совершить положительную работу  $\Delta A_{\text{внеш}}$ , пропорциональную изменению  $\Delta S$  площади поверхности:

$$\Delta A_{\text{внеш}} = \sigma \Delta S.$$



$\sigma$  называется *коэффициентом поверхностного натяжения* ( $\sigma > 0$ ).

**Коэффициент поверхностного натяжения равен работе, необходимой для увеличения площади поверхности жидкости при постоянной температуре на единицу.**

В СИ  $\sigma$  (Дж/м<sup>2</sup>) или (1 Н/м = 1 Дж/м<sup>2</sup>).

Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избыточной по сравнению с молекулами внутри жидкости **потенциальной энергией**.

$$E_p = A_{\text{внеш}} = \sigma S.$$



Из механики известно, что равновесным состояниям системы соответствует минимальное значение ее потенциальной энергии. Отсюда следует, что свободная поверхность жидкости стремится сократить свою площадь. По этой причине свободная капля жидкости принимает **шарообразную форму**.

Жидкость ведет себя так, как будто по касательной к ее поверхности действуют силы, сокращающие (стягивающие) эту поверхность.

Эти силы - **силы поверхностного натяжения**.

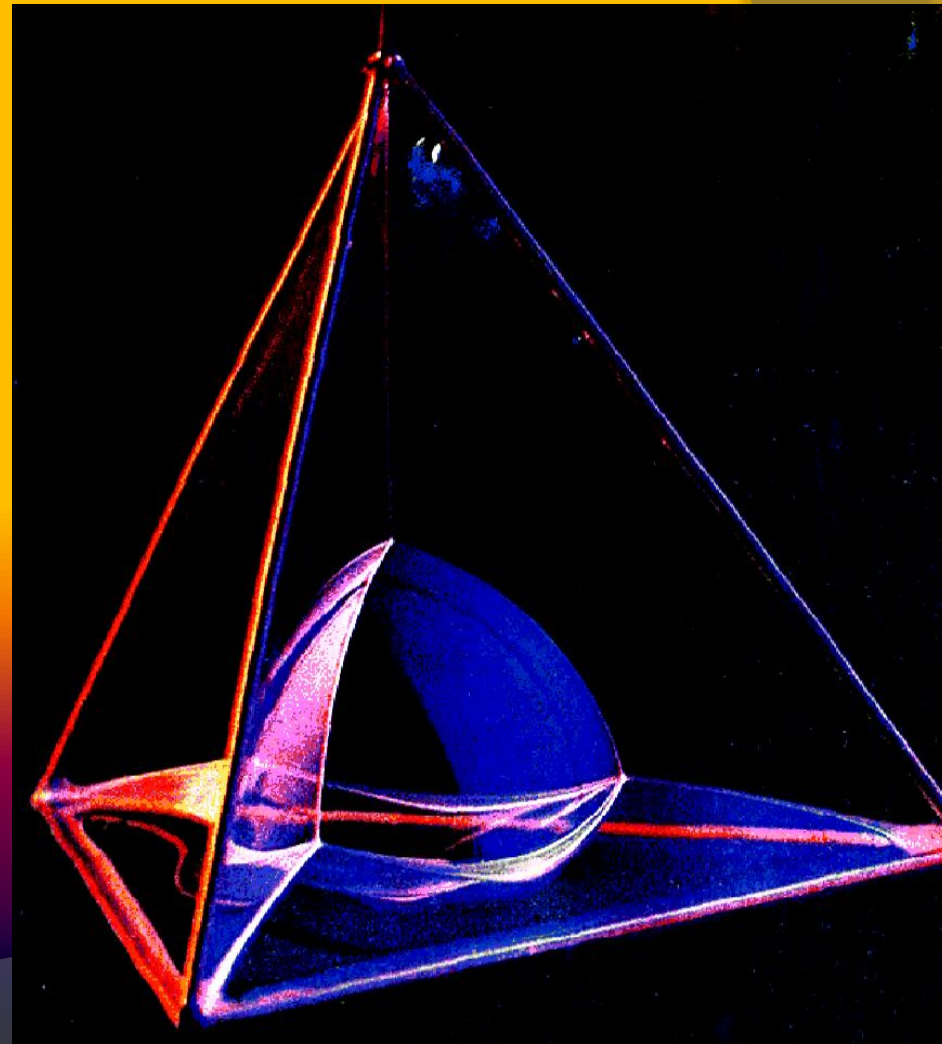


# Формы минимальных поверхностей жидкостей



Жидкость в свободном состоянии принимает форму шара

Мыльные пленки на каркасах



# Примеры минимальных поверхностей в природе

- барабанная перепонка в нашем ухе
- мембраны, служащие границами живых клеток;
- мембраны в живых организмах, отделяющие один орган от другого
- скелеты радиолярий, микроскопических морских животных.



# Тензиометр

прибор для  
измерения  
поверхностного  
натяжения



# Смачивание и несмачивание

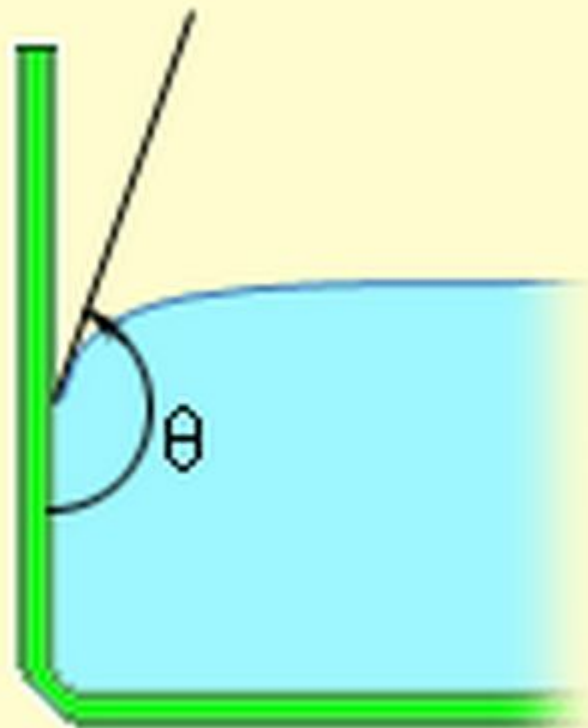
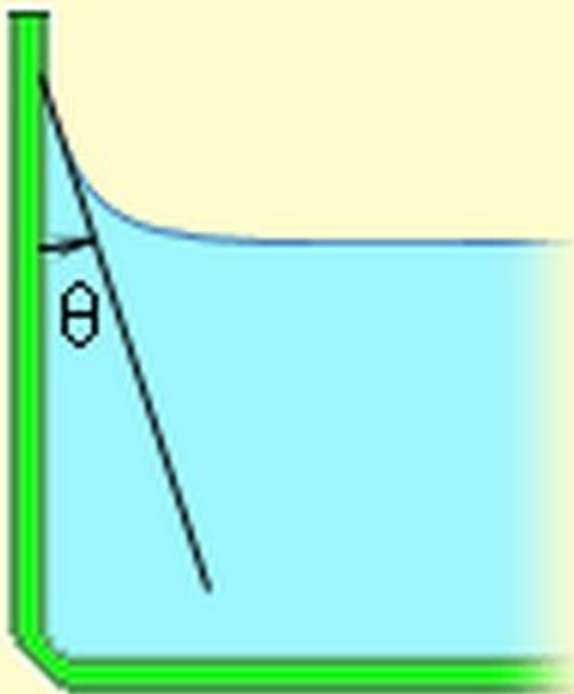
Если силы взаимодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела больше сил взаимодействия между молекулами самой жидкости - жидкость **смачивает** поверхность твердого тела.

Если меньше - **не смачивает**.

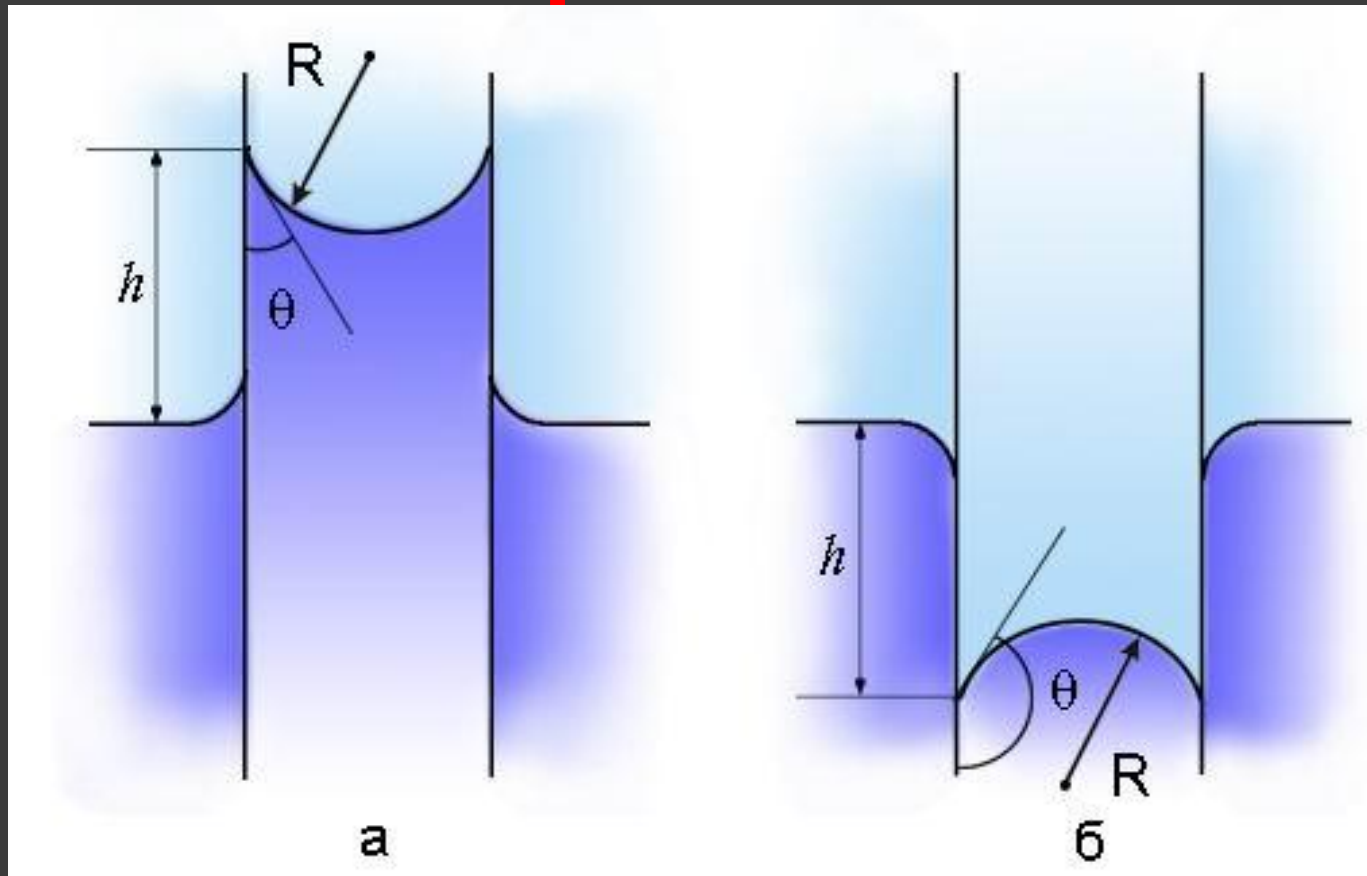
Угол  $\theta$  называется **краевым углом**.

$\Theta < 90^0$  - смачивание

$\Theta > 90^0$  - несмачивание

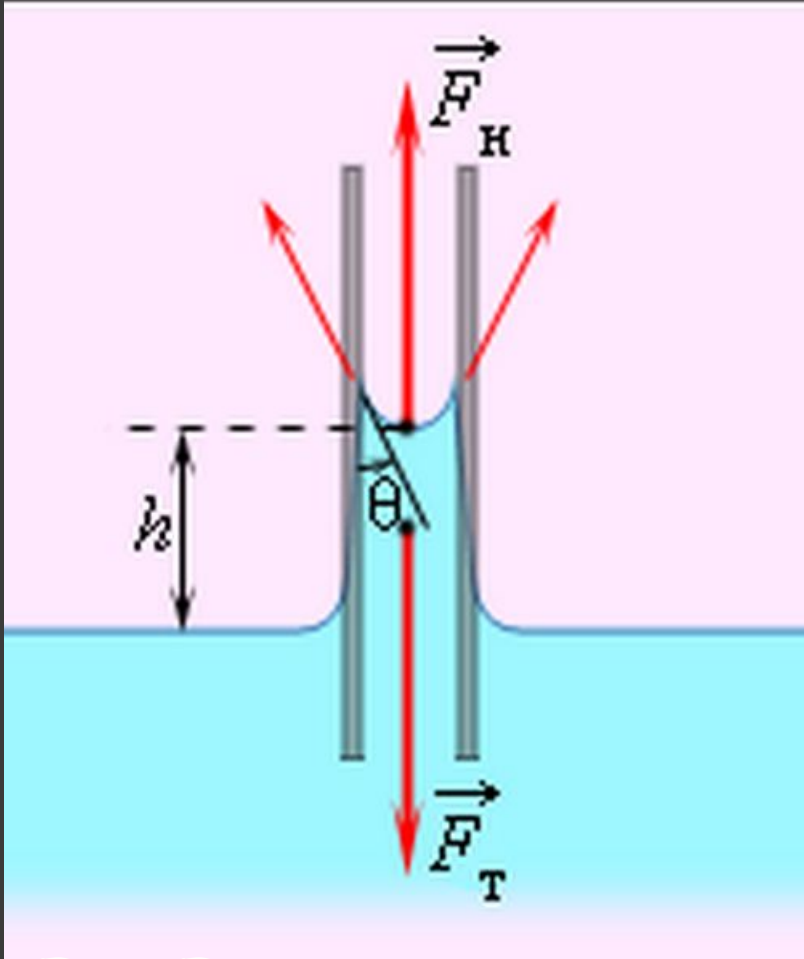


# Капиллярные явления



Капиллярными явлениями называют подъем или опускание жидкости в трубках малого диаметра – **капиллярах**.

Смачивающие жидкости поднимаются по капиллярам, несмачивающие – опускаются.



Капиллярная трубка некоторого радиуса  $r$ , опущенная нижним концом в смачивающую жидкость плотности  $\rho$ .

Подъем жидкости в капилляре продолжается до тех пор, пока сила тяжести действующая на столб жидкости в капилляре, не станет равной по модулю результирующей  $F_H$  сил поверхностного натяжения, действующих вдоль границы соприкосновения жидкости с поверхностью капилляра:

$$F_T = F_{H'}$$

$$F_T = mg = \rho h \pi r^2 g$$

$$F_H = \sigma 2\pi r \cos \theta$$

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



1. Мыльный пузырь выдули через соломинку так, что он повис на одном ее конце. Что произойдет с пламенем свечи, если к нему поднести другой, открытый конец соломинки? Как будет зависеть поведение пламени от диаметра пузыря?

Пламя отклонится в сторону под действием струйки воздуха, вытекающего через соломинку из стягиваемого поверхностными силами пузыря. Отклонение пламени будет тем сильнее, чем меньше диаметр пузыря.

2. Почему две спички, плавающие на поверхности воды вблизи друг от друга, притягиваются?

Из-за капиллярных эффектов вода между двумя близко расположенными спичками поднимается вверх. Давление в воде между спичками оказывается ниже атмосферного. Это и приводит к тому, что спички сближаются.

3. Если кусочек мела положить в воду, то из него по всем направлениям начнут выходить пузырьки. Почему это происходит?

Вода смачивает мел, входит в его поры и вытесняет из них воздух.

1. Какую массу имеет капля воды, вытекающая из стеклянной трубки диаметром  $10^{-3}$  м, если считать, что диаметр шейки капли равен диаметру трубки.
2. Вычислите коэффициент поверхностного натяжения масла, если при пропускании через пипетку  $3,6 \cdot 10^{-3}$  кг масла получено 304 капли. Диаметр шейки пипетки  $1,2 \cdot 10^{-3}$  м.
3. С помощью пипетки отмерили 152 капли минерального масла. Их масса оказалась равной 1,82 г. определите диаметр шейки пипетки, если коэффициент поверхностного натяжения минерального масла  $3 \cdot 10^{-2}$  Н/м.
4. В спирт опущена трубка. Диаметр её внутреннего канала равен  $5 \cdot 10^{-4}$  м. на какую высоту поднимется спирт в трубке? Плотность спирта  $800 \text{ кг/м}^3$ .
5. Керосин поднялся по капиллярной трубке на высоту  $15 \cdot 10^{-3}$  м. определите радиус трубки, если коэффициент поверхностного натяжения керосина  $24 \cdot 10^{-2}$  Н/м, а его плотность  $800 \text{ кг/м}^3$ .

6. В капиллярной трубке радиусом  $0,5 \cdot 10^{-3}$  м жидкость поднялась на  $11 \cdot 10^{-3}$  м. определите плотность данной жидкости, если её коэффициент поверхностного натяжения  $0,022$  Н/м.
7. Тонкое металлическое кольцо диаметром 15 см соприкасается с водой. Какую силу нужно приложить к кольцу, чтобы оторвать его от воды? Масса кольца 10 г, коэффициент поверхностного натяжения воды принять равным  $0,07$  Н/м.
8. Рамка с подвижной перекладиной длиной 10 см затянута мыльной плёнкой. Какую работу надо совершить против сил поверхностного натяжения, чтобы переместить перекладину на 2 см.
9. К проволочке АВ длиной 3 см прикреплена нить, при помощи которой можно перемещать проволочку, растягивая мыльную плёнку. Каково поверхностное натяжение мыльной воды, если при перемещении проволочки на 2 см была совершена работа  $0,5 \cdot 10^{-4}$  Дж.