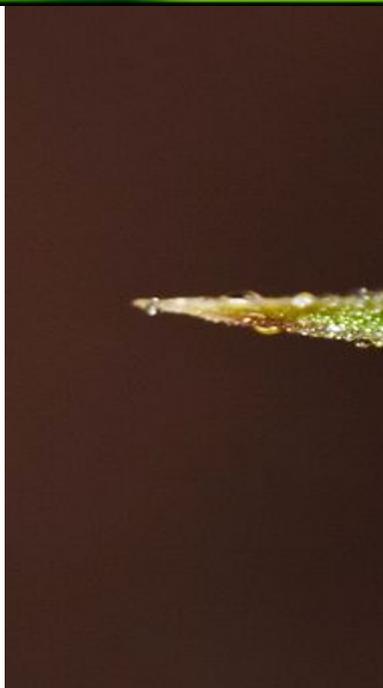


Изучение свойств жидкостей  
очень важно для человека.



# натяжение

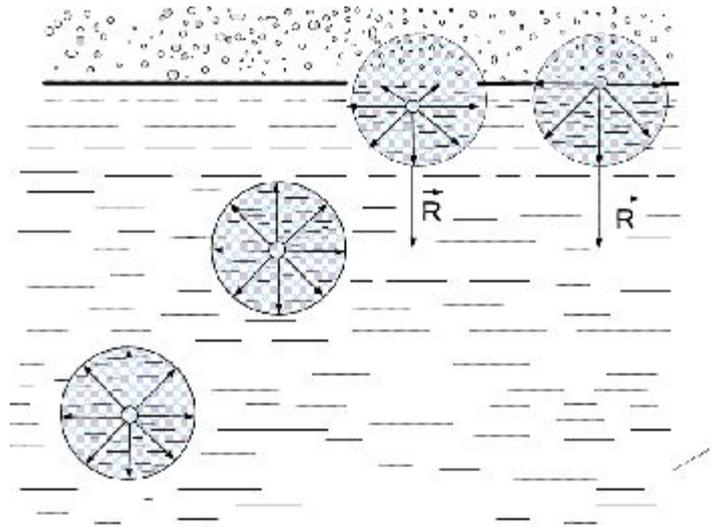


<http://fotki.yandex.ru/calendar/users/lorikss/v>  
i.../016000/

*Выдуйте мыльный пузырь и смотрите на него: вы можете заниматься всю жизнь его изучением, не переставая извлекать из него уроки физики*  
*Уильям Томсон (лорд Кельвин)*



# 1.Свойства поверхностного слоя жидкости.



Силы межмолекулярного взаимодействия, действующие на одну из молекул внутри жидкости со стороны соседних молекул, в среднем взаимно скомпенсированы. Любая молекула в пограничном слое притягивается молекулами, находящимися внутри жидкости (силами, действующими на данную молекулу жидкости со стороны молекул газа (или пара) можно пренебречь). В результате появляется некоторая равнодействующая сила, направленная вглубь жидкости.

Каждая молекула, находящаяся вблизи поверхности жидкости стремится уйти внутрь жидкости и свободная поверхность, граничащая с воздухом, принимает наименьшую возможную величину.

Если молекула переместится с поверхности внутрь жидкости, силы межмолекулярного взаимодействия совершат положительную работу. Наоборот, чтобы вытащить некоторое количество молекул из глубины жидкости на поверхность (т. е. увеличить площадь поверхности жидкости), надо затратить положительную работу внешних сил  $\Delta A_{\text{внеш}}$ , пропорциональную изменению  $\Delta S$  площади поверхности:

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

Следовательно, молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избыточной по сравнению с молекулами внутри жидкости потенциальной энергией. Потенциальная энергия  $E_p$  поверхности жидкости пропорциональна ее площади:

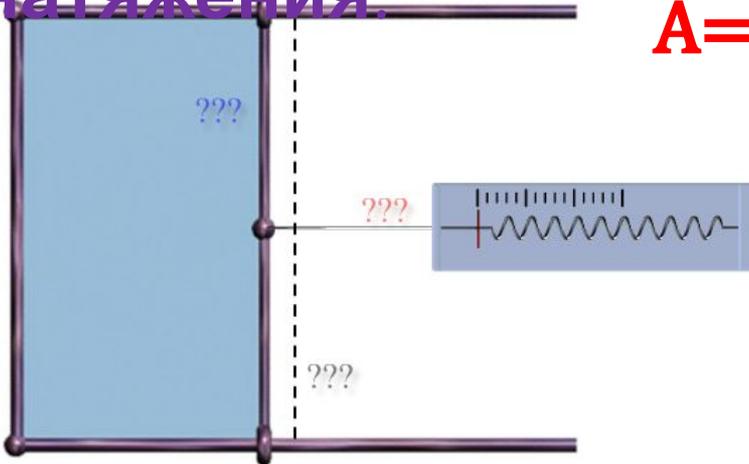
$$E_p = A_{\text{внеш}} = \sigma S$$

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

В СИ коэффициент поверхностного натяжения измеряется в **джоулях на метр квадратный** ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ) или в **ньютонах на метр** ( $1 \text{ Н}/\text{м} = 1 \text{ Дж}/\text{м}^2$ ).

## 2. Сила поверхностного натяжения.

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



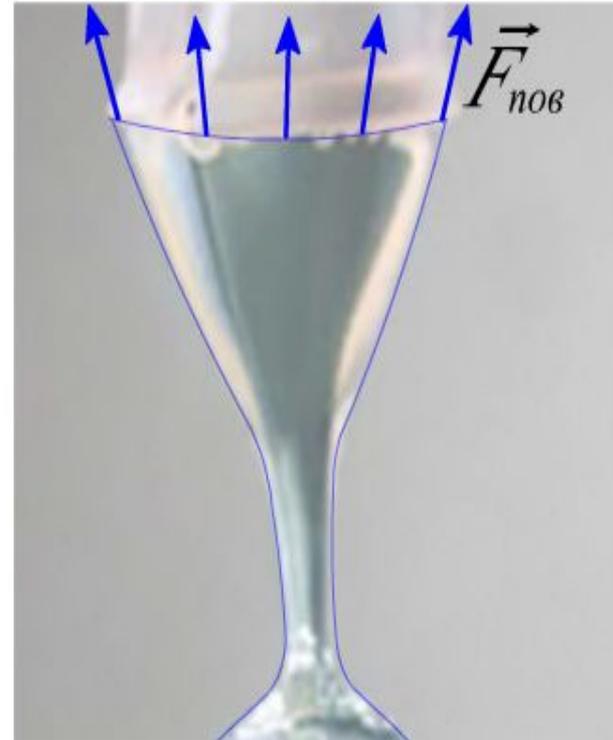
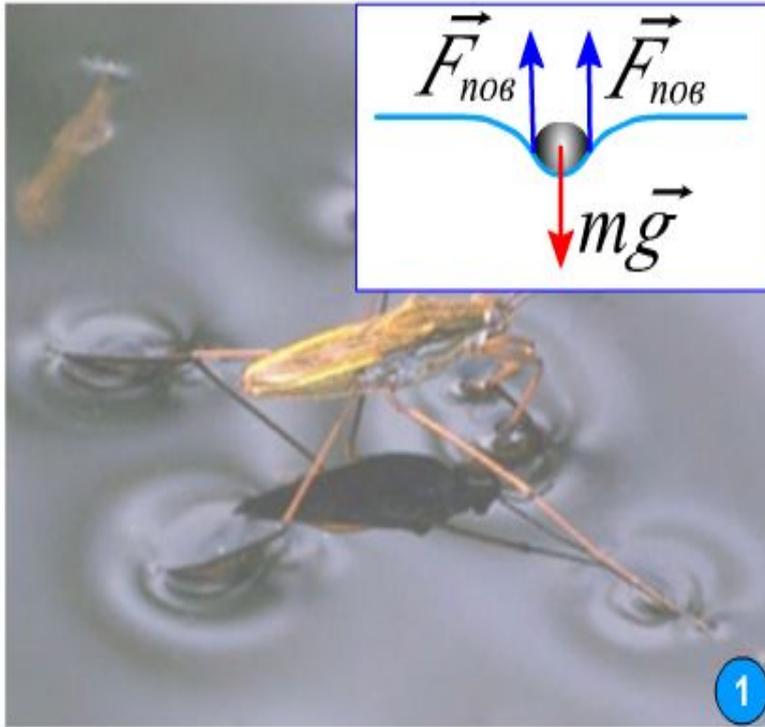
$$A = E_{p2} - E_{p1} = 2\sigma S_2 - 2\sigma S_1 = 2\sigma(S_2 - S_1)$$

$$A = 2\sigma l x$$

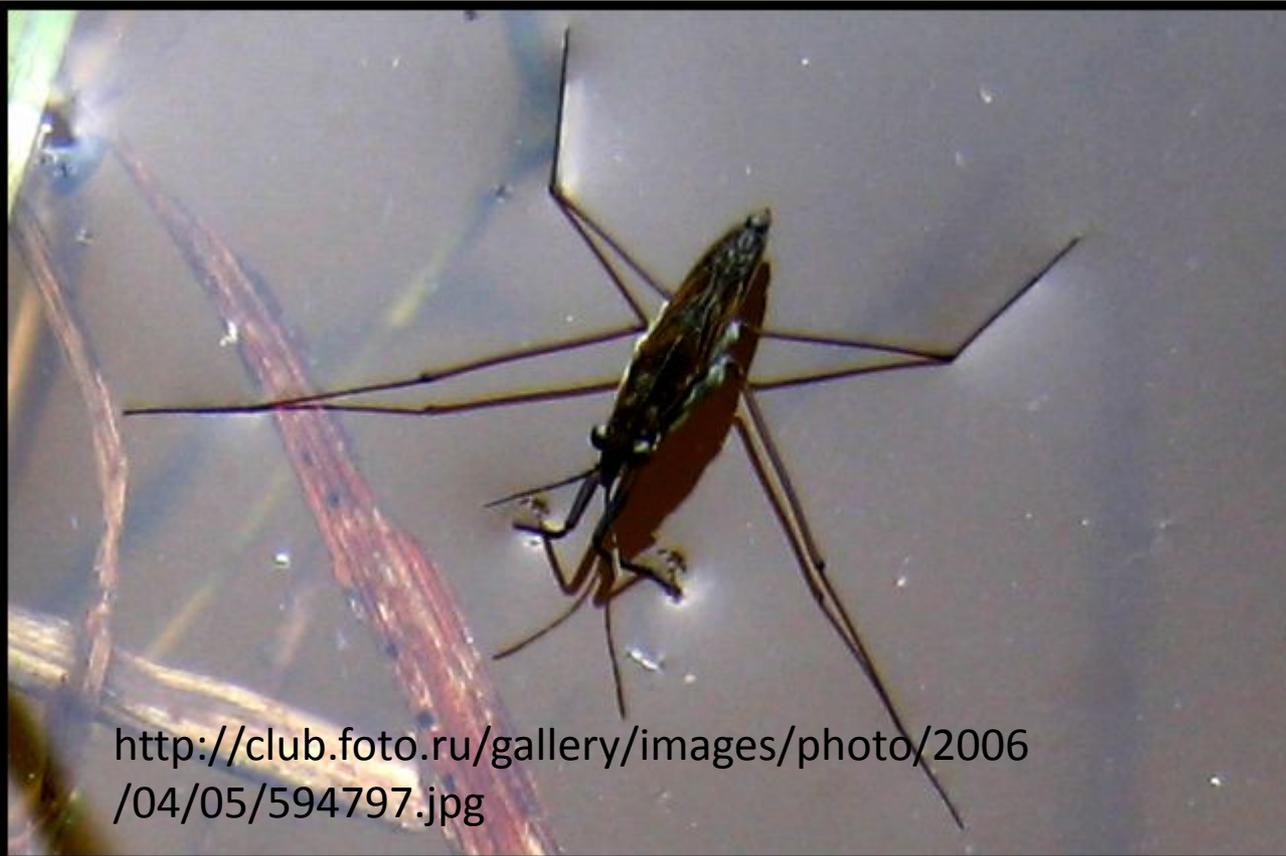
$$2Fx = 2\sigma l x$$

$$F = \sigma l$$

$$\sigma = \frac{F}{l}$$



**Направлена сила поверхностного натяжения по касательной к поверхности перпендикулярно границе поверхностного слоя**



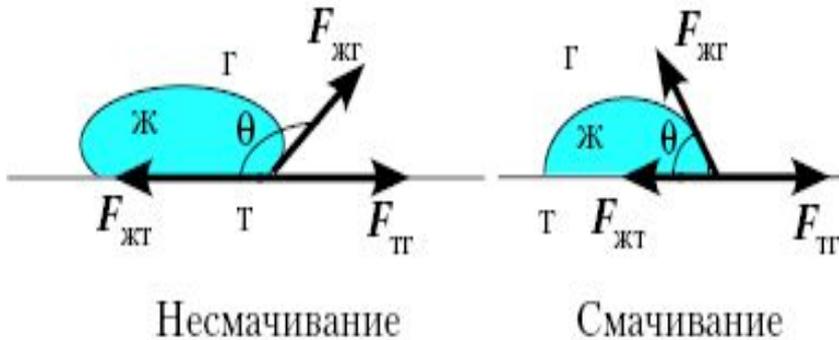


Из механики известно, что равновесным состояниям системы соответствует минимальное значение ее потенциальной энергии. Отсюда следует, что свободная поверхность жидкости стремится

сократить свою площадь. Поскольку при одном и том же объеме наименьшая площадь поверхности имеется у шара, жидкость в состоянии невесомости принимает форму шара. По этой же причине маленькие капли жидкости имеют шарообразную форму. Форма мыльных пленок на различных каркасах всегда соответствует



### 3. Явления на границе жидкость- твердое тело

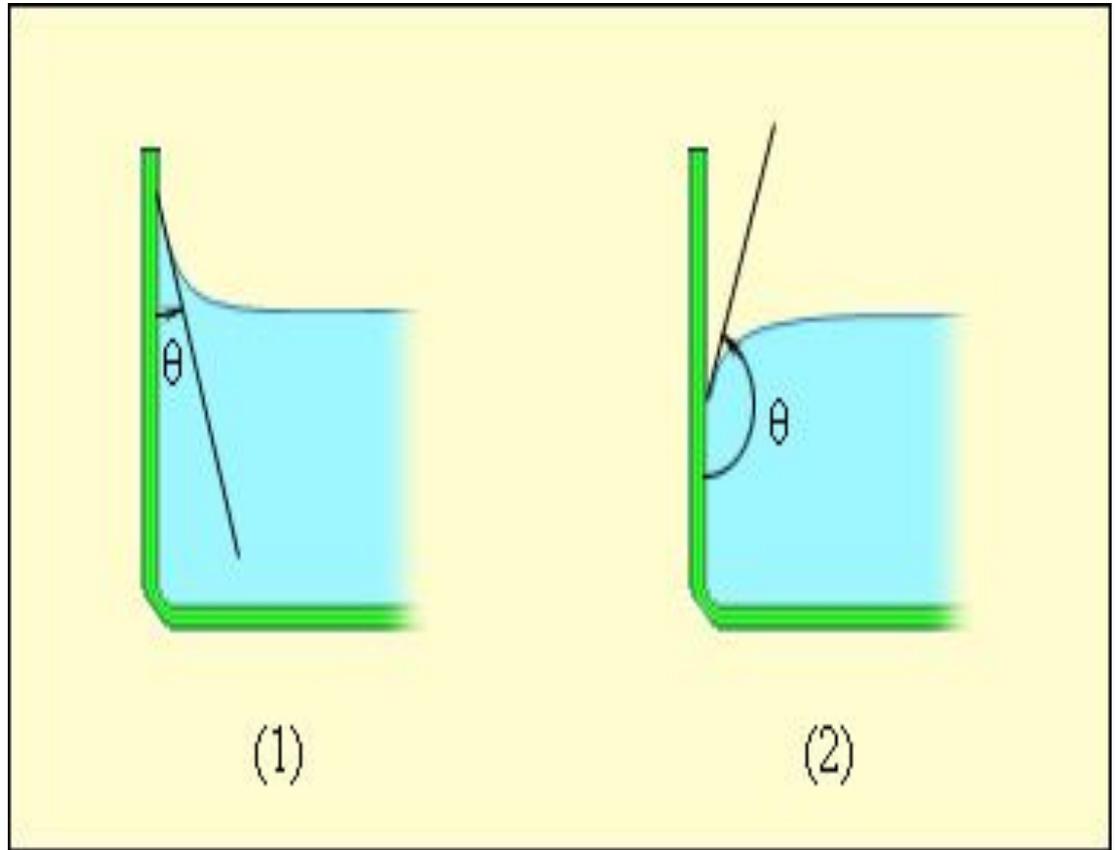
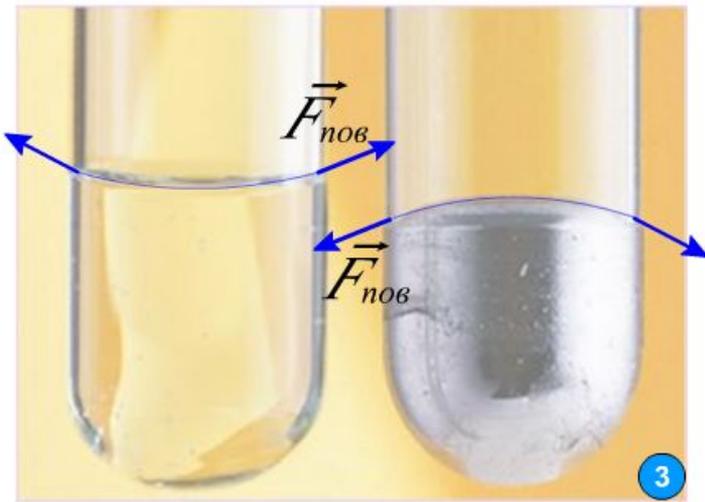


Если молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твердого вещества, то жидкость называют смачивающей это вещество. Например, вода смачивает чистое стекло и не смачивает парафин. Если молекулы жидкости притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам твердого вещества, то жидкость называют не смачивающей это вещество.

**Краевой угол образуется плоской поверхностью твердого тела и плоскостью, касательной к свободной поверхности жидкости, где граничат твердое тело, жидкость и газ; внутри краевого угла всегда находится жидкость.**

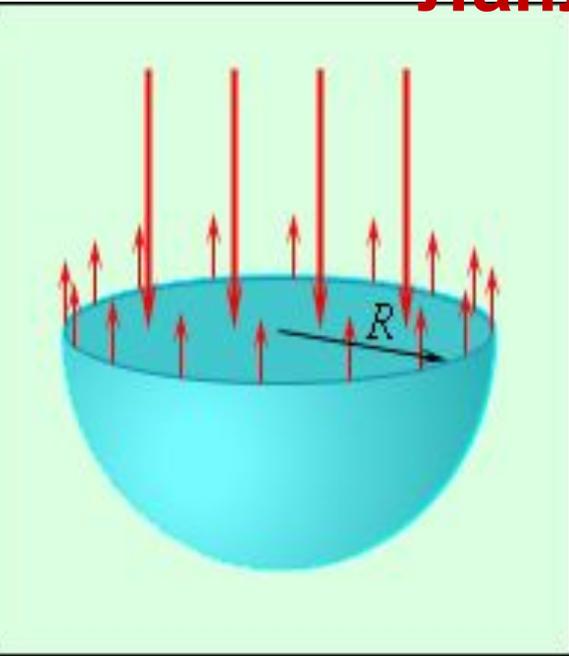
**Мениск – искривленная поверхность жидкости.**

Ртуть не смачивает стекло, однако она смачивает чистые медь и



Краевые углы смачивающей (1) и несмачивающей (2) жидкостей.

#### 4. Давление Лапласа.

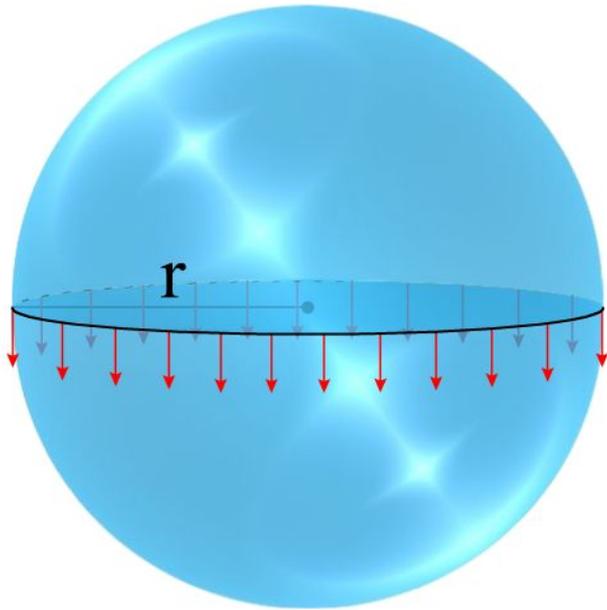


Из-за действия сил поверхностного натяжения в каплях жидкости и внутри мыльных пузырей возникает избыточное давление  $\Delta p$ . Если мысленно разрезать сферическую каплю радиуса  $R$  на две половинки, то каждая из них должна находиться в равновесии под действием сил поверхностного натяжения, приложенных к границе  $2\pi R$  разреза, и сил избыточного давления, действующих на площадь  $\pi R^2$  сечения.

Отсюда равновесия записываем в виде

$$\sigma 2\pi R = \Delta p \pi R^2 \quad \Delta p = \frac{2\sigma}{r}$$

Избыточное давление внутри мыльного пузыря в два раза больше, так как пленка имеет две поверхности:



$$\Delta p = \frac{4\sigma}{r}$$

## 5. Капиллярные

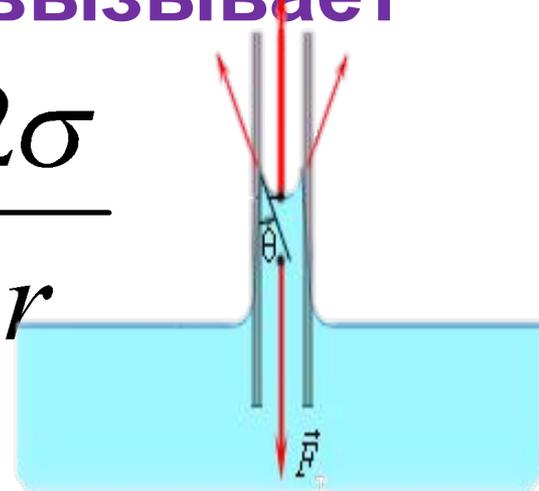
### явления.

*Капиллярными явлениями* называют подъем или опускание жидкости в трубках малого диаметра – капиллярах. Смачивающие жидкости поднимаются по капиллярам, несмачивающие – опускаются.

**Расчет высоты столба жидкости в капилляре.**

1). Под действием результирующей силы натяжения создаётся дополнительное лапласово давление, которое вызывает подъём (опускание) жидкости.

$$P_{л} = \frac{F_n}{S} = \frac{\sigma l}{S} = \frac{\sigma 2\pi r}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r}$$

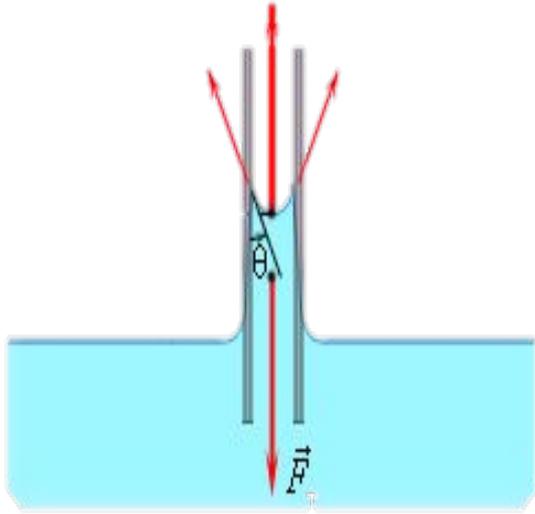


Подъём (опускание) происходит до тех пор пока

$$p_{л} = \rho g h$$

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

2) Подъем жидкости в капилляре продолжается до тех пор, пока сила тяжести  $F_T$ , 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:



$$F_T = F_H,$$

где  $F_T = mg = \rho h \pi r^2 g$ ,

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

Отсюда следует:

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

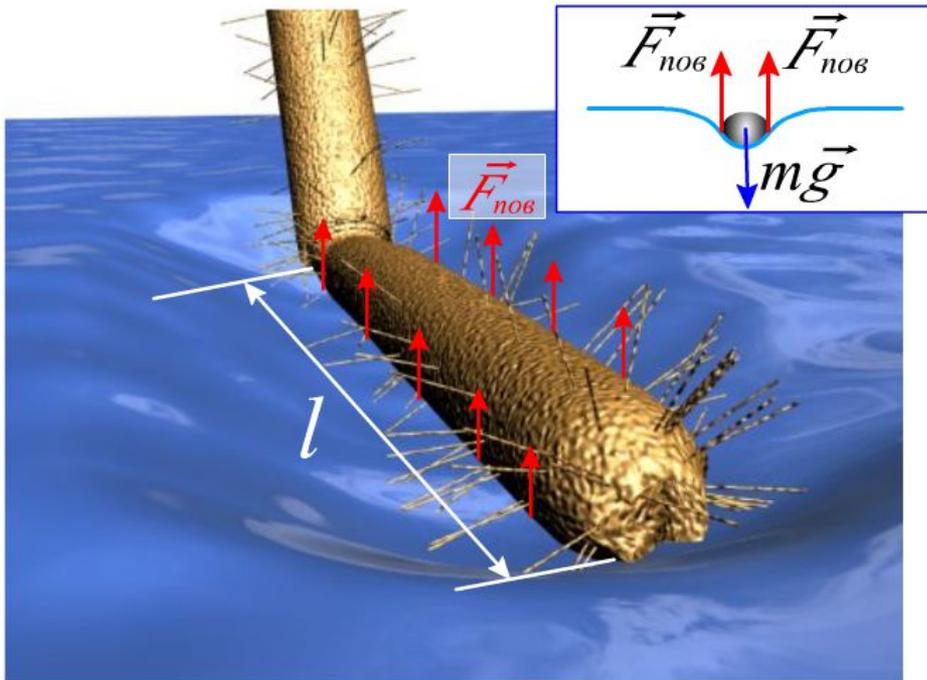
При полном смачивании  $\theta = 0$ ,  $\cos \theta = 1$ . В этом случае

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

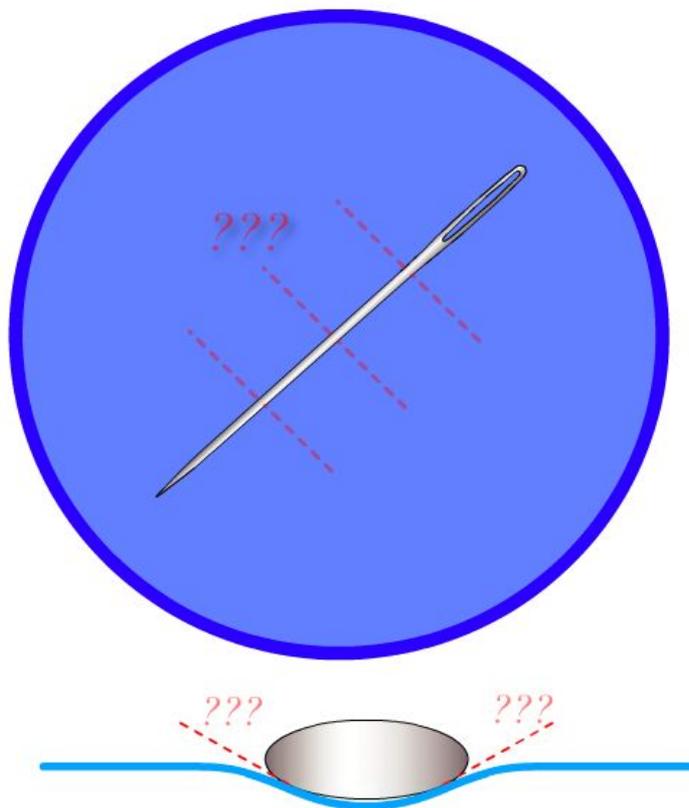
При полном несмачивании  $\theta = 180^\circ$ ,  $\cos \theta = -1$  и, следовательно,  $h < 0$ . Уровень несмачивающей жидкости в капилляре опускается ниже уровня жидкости в сосуде, в которую опущен капилляр.

## 6. Задачи.

Средняя длина фрагмента лапки водомерки, которая стоит на поверхности воды, 3 мм (см. фото 1). Какова максимальная масса водомерки? Сделайте рисунок.

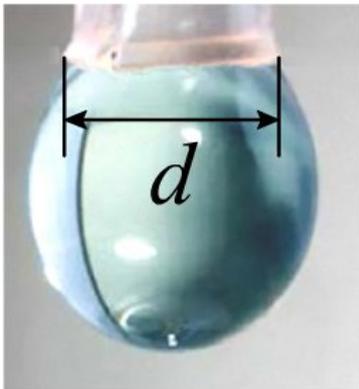


Металлическая булавка массой 0,5 г лежит на поверхности воды и не тонет. Объясните почему? Какова длина булавки?  
Температура воды 0 °С.

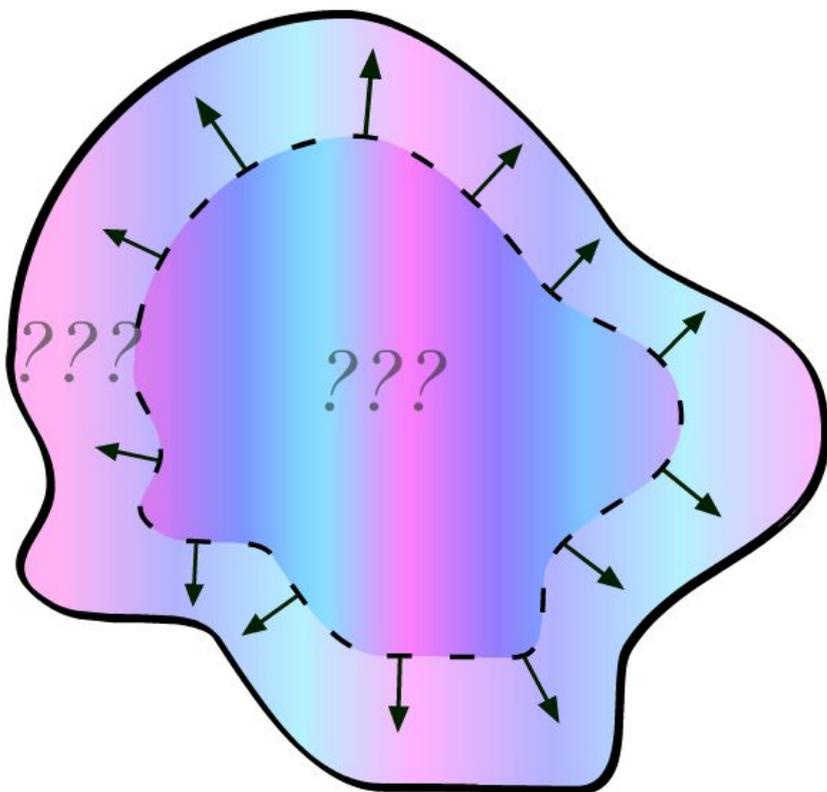


Диаметр выходного отверстия пипетки 3 мм (см. фото 5).

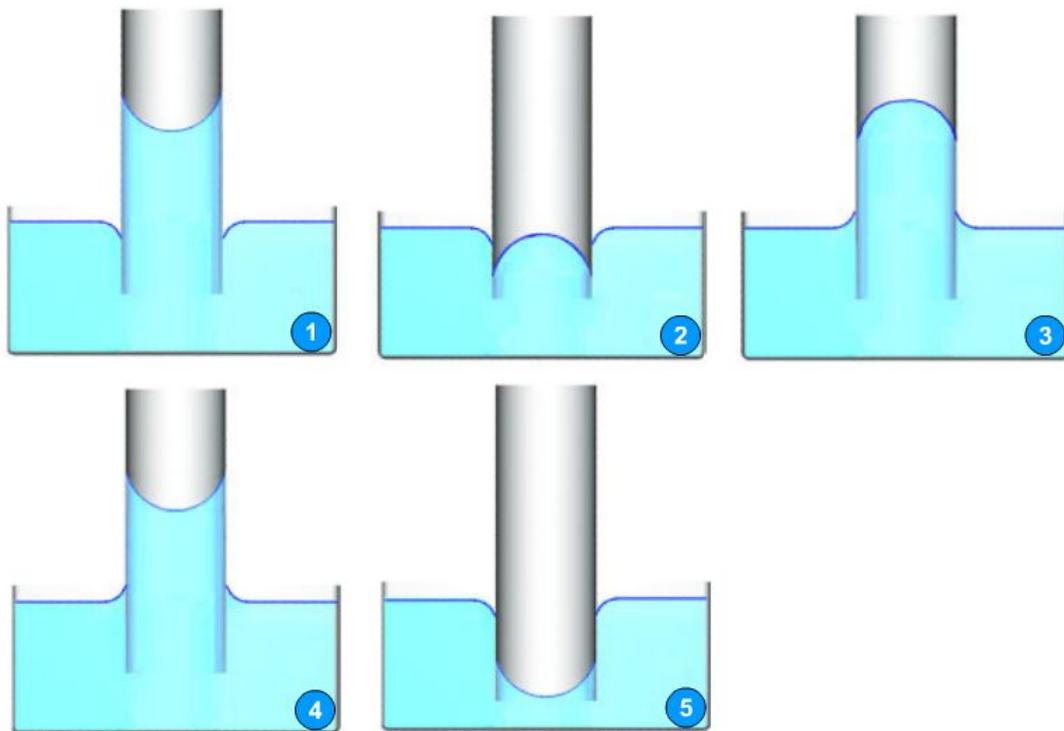
Какова максимальная масса капли воды, которая может висеть на конце пипетки не отрываясь? Какой диаметр имеет такая капля (если считать ее сферой)?



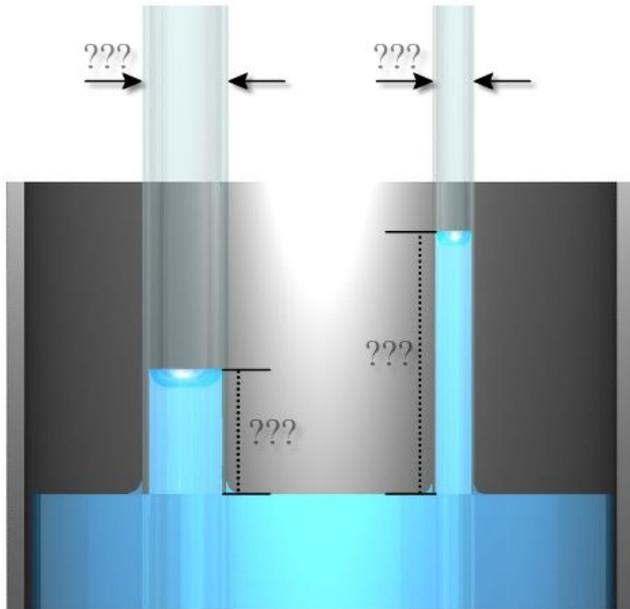
Какую работу совершают силы поверхностного натяжения при сокращении площади свободной поверхности жидкости на  $1 \text{ м}^2$ ? Приведите несколько примеров, используя данные таблицы.



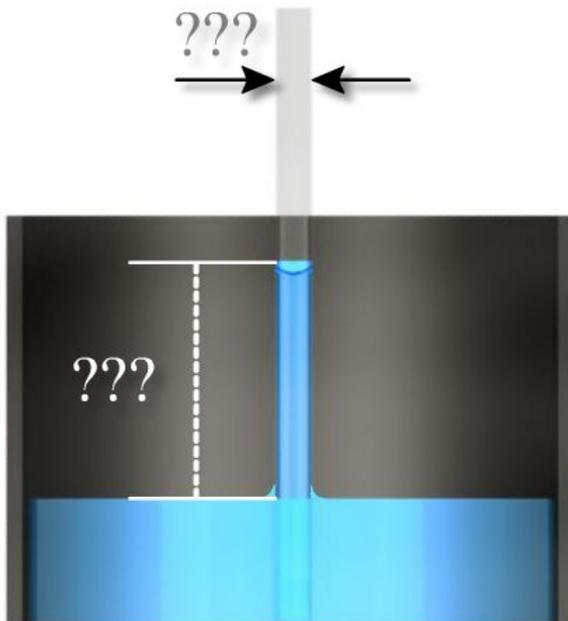
Капиллярная трубка из однородного материала опущена в жидкость. Укажите правильные и неправильные рисунки. Поясните свой ответ.



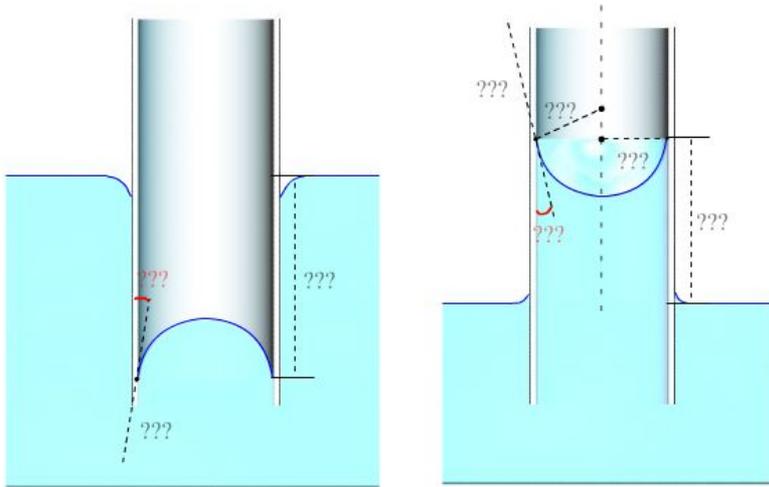
Во сколько раз отличаются диаметры капилляров на рис., если высоты столбиков жидкости  $h_1 = 2$  см,  $h_2 = 5$  см?



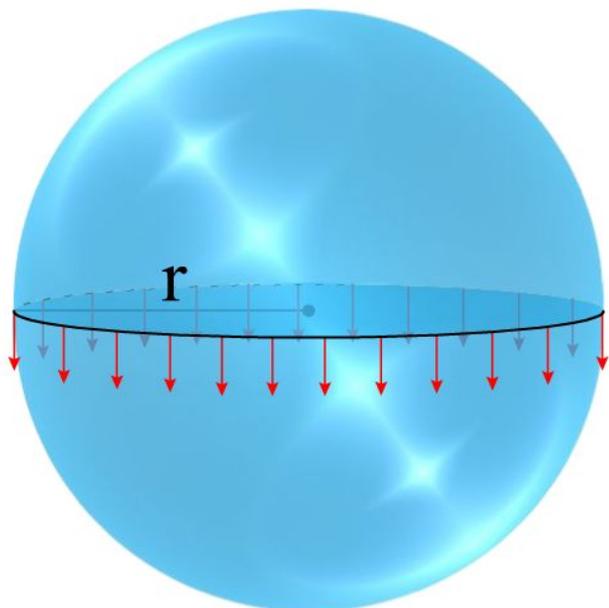
Найдите коэффициент поверхностного натяжения для жидкости, если диаметр тонкой трубки 2 мм, высота столбика жидкости 7,5 мм, плотность жидкости  $790 \text{ кг/м}^3$ . По таблице определите, какая это жидкость.



Выведите формулу для вычисления высоты столбика жидкости в капилляре (с учетом краевого угла).  
Сделайте необходимые дополнения к рисунку.



Каково давление воздуха в мыльном пузыре диаметром 5 см?



## №6.

Муравьи в муравейнике сделали лифт из рамки с мыльной пленкой. Подвижная сторона рамки имеет длину 1 см. Масса одного муравья 1 мг. Сколько муравьев сможет поднимать такой лифт? Как при этом нужно расположить рамку? Сделайте рисунок. Считать подвижную сторону рамки невесомой.

