

0W/30

5W/30

10W/30

10W/40

15W/40

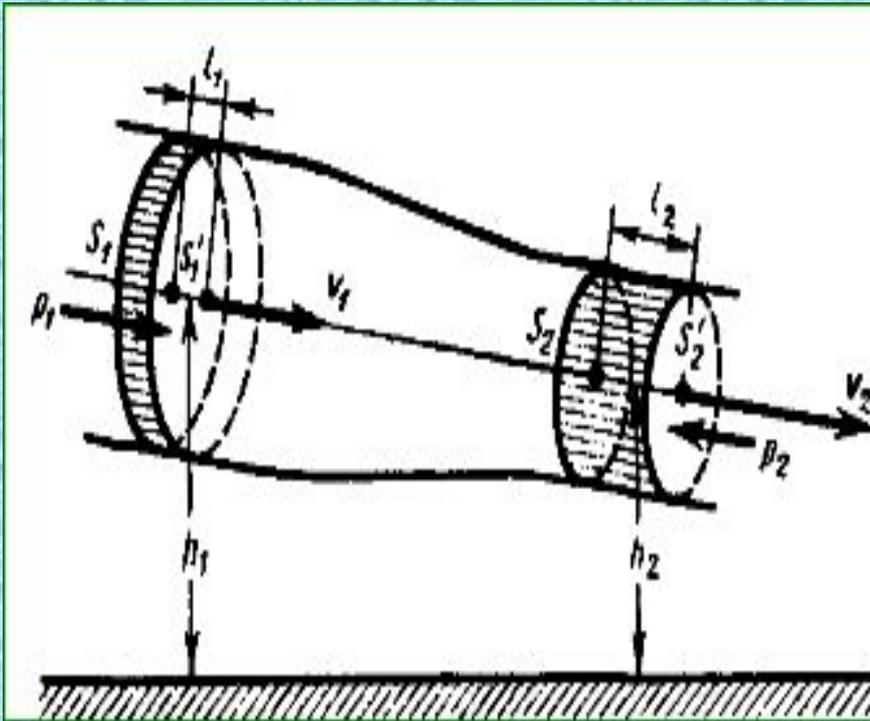
Лекция 3

Механика и свойства жидкостей

Содержание:

- 1) Условие неразрывности струи
- 2) Вязкость жидкостью Закон Ньютона
- 3) Течение вязкой жидкости по трубе
- 4) Измерение вязкости
- 5) Ламинарное и турбулентное течение
- 6) Поверхностное натяжение
- 7) Смачивание и несмачивание

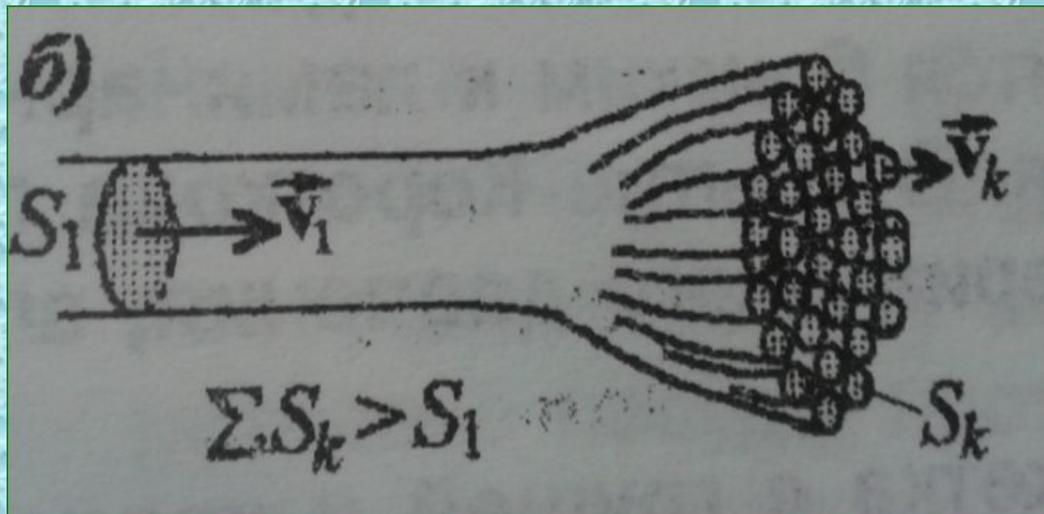
Условие неразрывности струи



- S_1, S_2 – площади сечений трубы
- h_1, h_2 – высота над уровнем земли
- v_1, v_2 – скорости жидкости
- в сечениях S_1 и S_2
- l_1, l_2 – пути, проходимые жидкостью за одно и то же время
- $\Delta h = h_1 - h_2$ – перепад высот

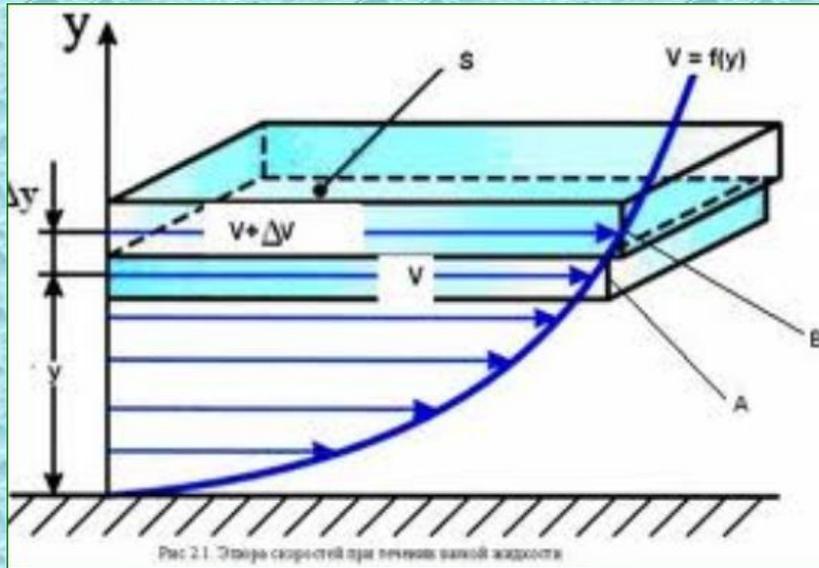
$$v_1/v_2 = S_2/S_1$$

Сосуды	Диаметр, мм	Скорость, 10^{-2} м/с	Давление, мм рт.ст.
Аорта	20	30–50	50–150
Артерии	10–5	20–50	80–20
Артериолы	0,1–0,5	1–20	50–20
Капилляры	0,5–0,01	0,01–0,05	20–10
Венулы	0,1–0,2	0,1–1,0	10–5
Вены	10–30	10–20	(–5)–(+5)



Разветвление крупного сосуда на множество капилляров равносильно увеличению площади его сечения, т.к. суммарная площадь сечения капилляров больше площади сечения до разветвления

Вязкость жидкости

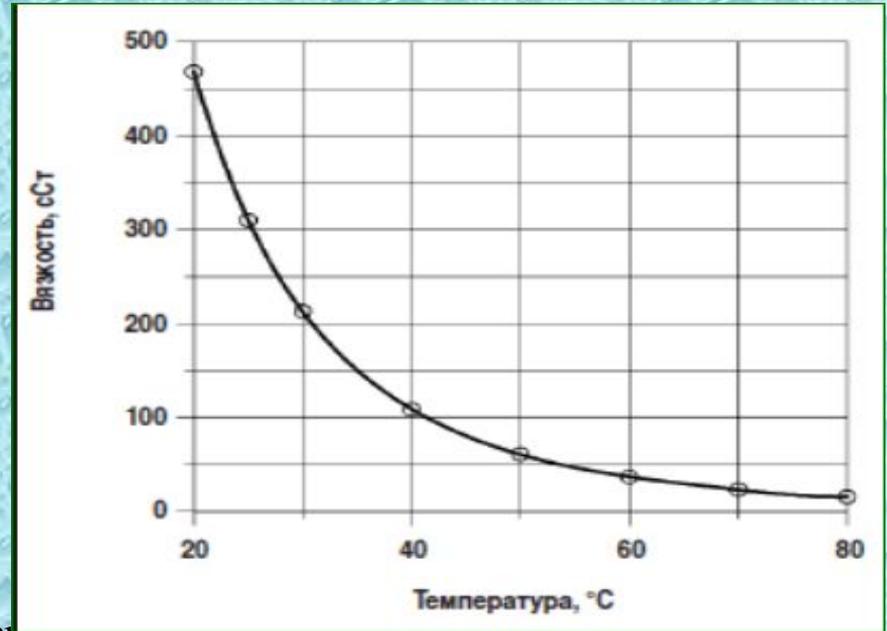
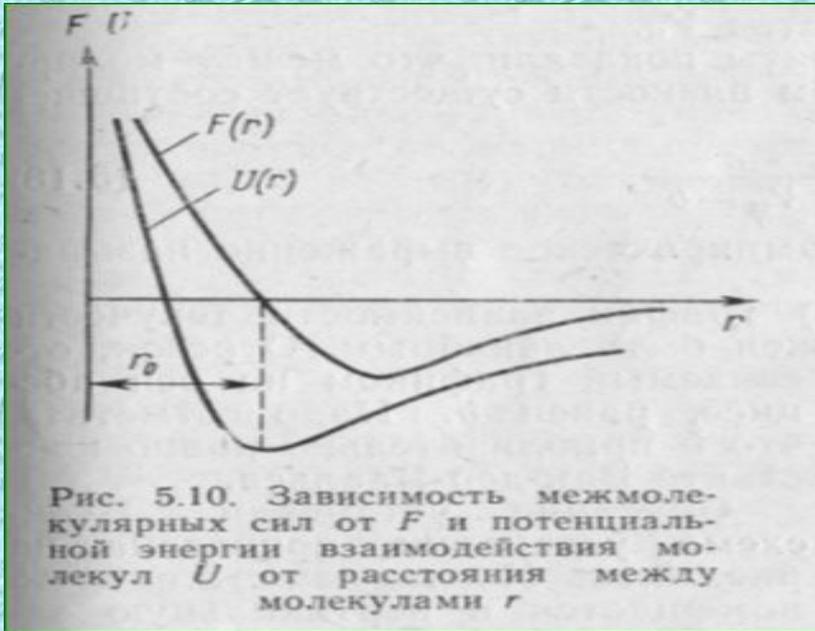


Способность реальных жидкостей оказывать сопротивление движению в них тел или собственному течению за счет сил межмолекулярного взаимодействия называется **внутренним трением или вязкостью**

Закон Ньютона для вязкой жидкости:

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y} S$$

Зависимость вязкости жидкости от температуры



Зависимость коэффициента вязкости от температуры для жидкостей описывается следующим уравнением:

$$\eta = Ae^{W/kT}$$

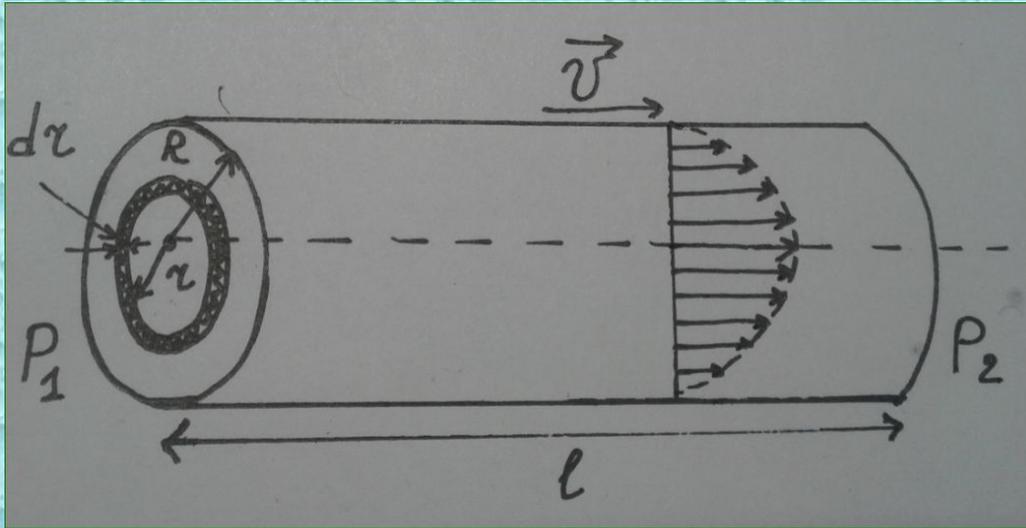
Где η — коэффициент вязкости, W — энергия активации, T — абсолютная температура, k — постоянная Больцмана, A — коэффициент, который зависит от температуры.

Вязкости некоторых жидкостей

Температура воды, °С	Поверхностное натяжение, дин/см	Вязкость МПа С
0	75,6	1,8
18	73	1,0
37	70	0,7
45	69	0,6
70	64,5	0,4

Жидкость	t, °С	ρ, г	ν, Ст
Бензин	15	0,0065	0,0093
Глицерин:			
50%-ный водный раствор	20	0,0603	0,0598
86%-ный водный раствор	20	1,2970	1,0590
безводный	20	14,990	11,890
Керосин	15	0,0217	0,0270
Мазут	18	38,700	20,000
Молоко цельное	20	0,0183	0,0174
Нефть:			
легкая	18	0,178	0,250
тяжелая	18	1,284	1,400
Патока	18	888	600
Ртуть	15	0,0154	0,0011
Скипидар	16	0,0160	0,0183
Спирт этиловый	20	0,0119	0,0154
Эфир	20	0,0246	0,00327

Течение вязкой жидкости по трубе



$P_1 > P_2$ $\Delta P = P_1 - P_2$
жидкость течет за счет
разности давлений
 R - радиус трубы
 l - длина трубы

$$v = \frac{\Delta P}{4l\eta} (R^2 - r^2)$$

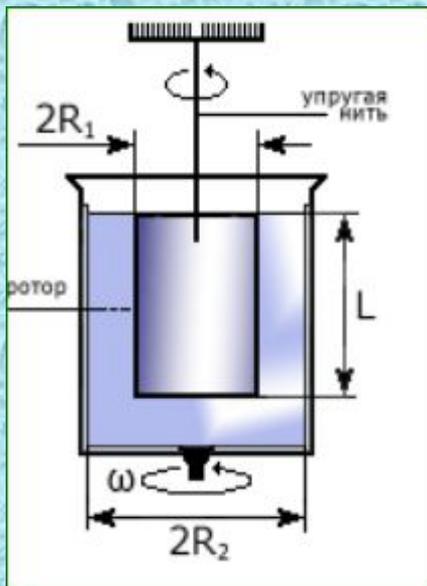
- Распределение скорости жидкости по трубе круглого сечения

$$V = \frac{\pi r^4 t \Delta p}{8l\eta}$$

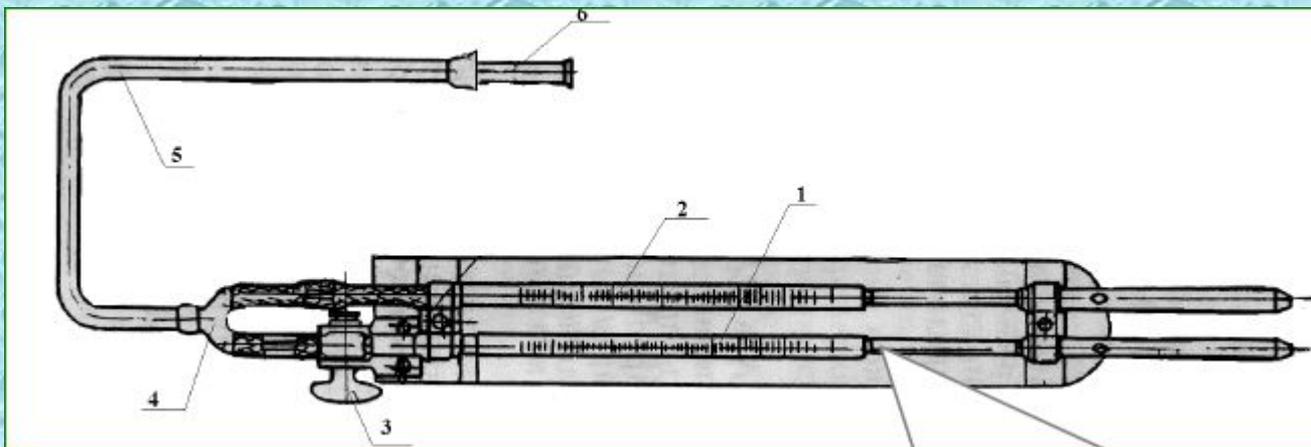
- Объем жидкости, протекающий по трубе за время t

Измерение вязкости

Ротационный вискозиметр



Капиллярный вискозиметр Гесса



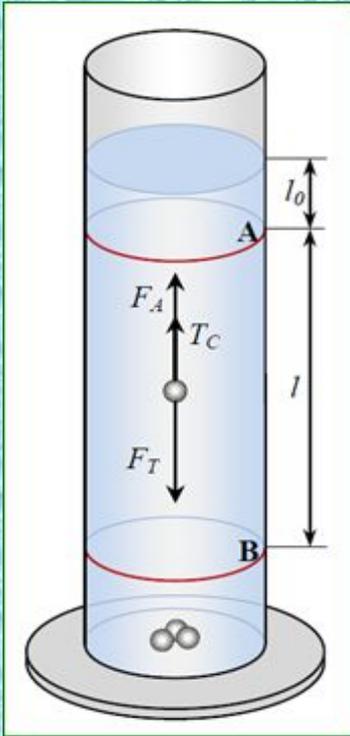
Метод падающего шарика

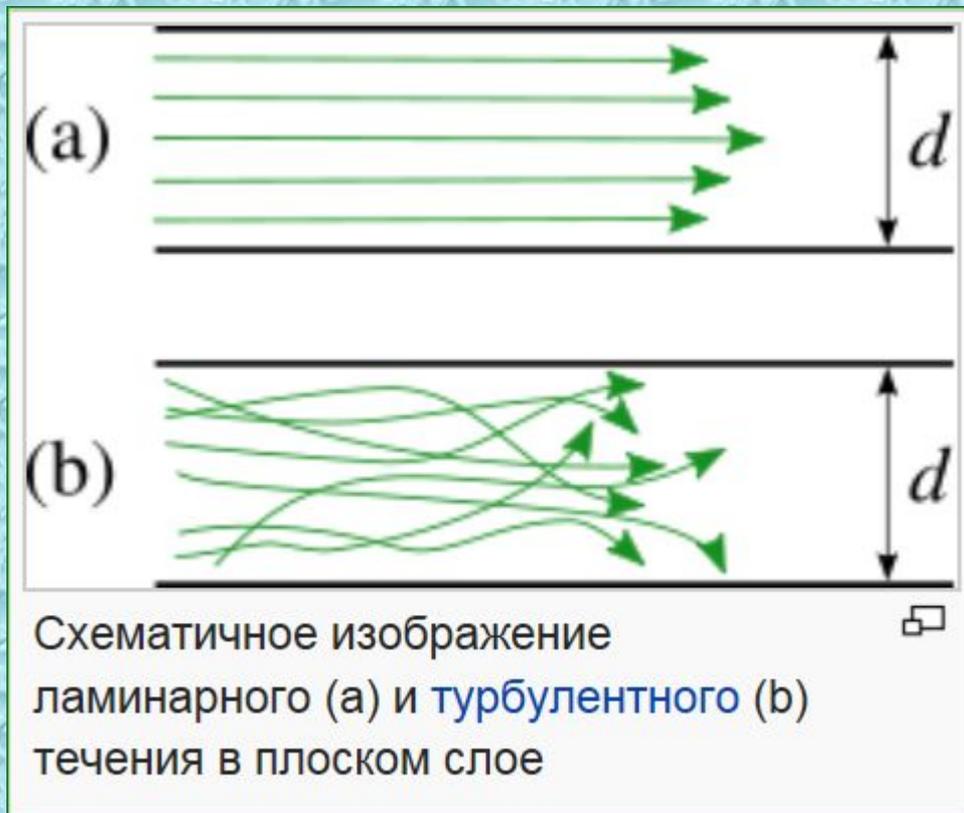
Закон

$$F = 6\pi\eta r v$$

где

- F — сила трения, так же называемая силой Стокса,
- r — радиус сферического объекта,
- η — динамическая вязкость жидкости,
- v — скорость частицы.





Ламинарное течение — течение, при котором жидкость или газ перемещается слоями без перемешивания и пульсаций (то есть беспорядочных быстрых изменений скорости и давления).

Увеличение скорости течения вязкой жидкости вследствие неоднородности давления создает завихрения и движение становится вихревым, или **турбулентным**. При турбулентном течении скорость частиц в каждом месте беспорядочно и хаотически изменяется, движение является нестационарным

Характер течения жидкости по трубе зависит от свойств жидкости, скорости ее течения, размеров трубы и определяется *числом Рейнольдса*:

$$Re = \rho_{\text{ж}} v D / \eta,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости; η — ее вязкость; D — диаметр трубы; v — скорость течения.

Если число Рейнольдса больше некоторого критического ($Re > Re_{\text{кр}}$), то движение жидкости турбулентное. Например, для гладких цилиндрических труб $Re_{\text{кр}} \approx 2300$.

Так как число Рейнольдса зависит от вязкости и плотности жидкости, удобно ввести их отношение, называемое *кинематической вязкостью*:

$$\nu = \eta / \rho_{\text{ж}}.$$

Используя это понятие, число Рейнольдса можно выразить в виде

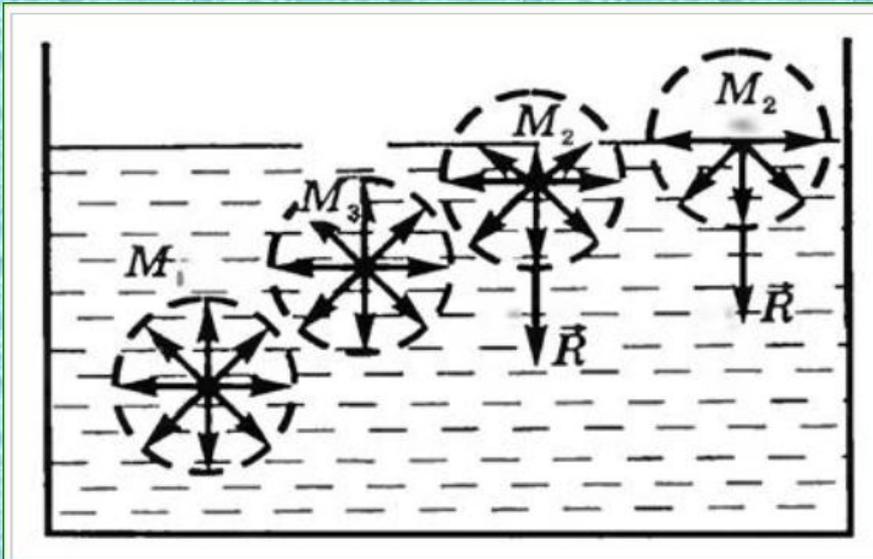
$$Re = v D / \nu. \quad (9.17)$$

Единицей кинематической вязкости является *квадратный метр на секунду* ($\text{м}^2/\text{с}$), в системе СГС — *стокс* (Ст); соотношение между ними: $1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Поверхностное натяжение

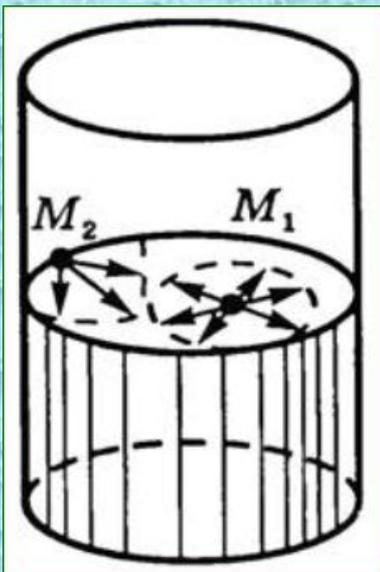
$$\sigma = \frac{A}{\Delta S}$$

Коэффициент поверхностного натяжения — величина, численно равная работе, совершенной молекулярными силами при изменении площади свободной поверхности жидкости на 1 м^2 при постоянной температуре.

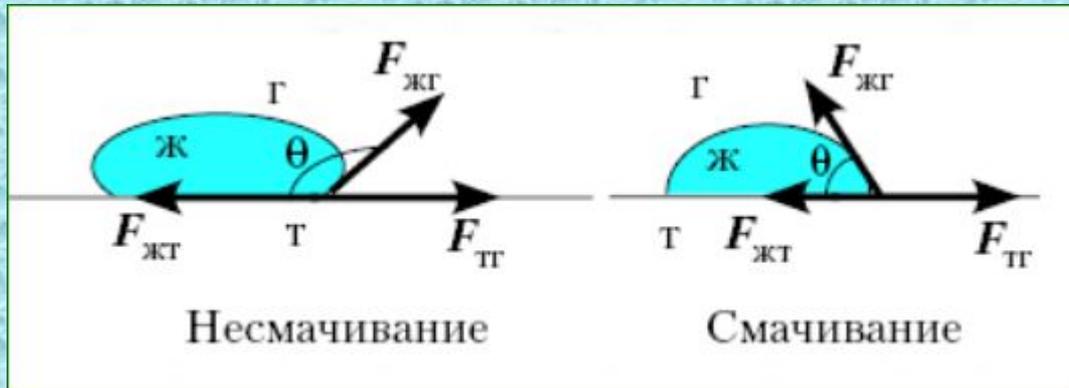


$$\sigma = \frac{F}{l}$$

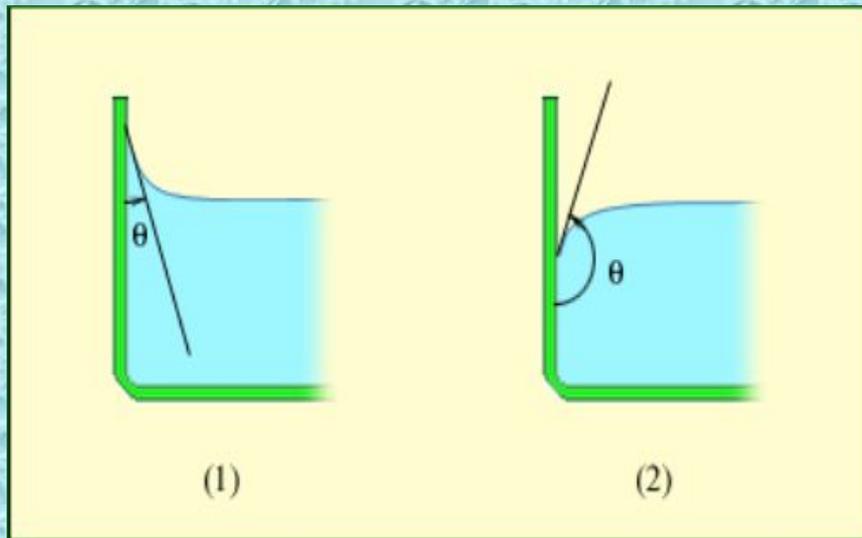
Коэффициент поверхностного натяжения σ численно равен силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины границы свободной поверхности жидкости. Коэффициент поверхностного натяжения зависит от природы жидкости, от температуры и от наличия примесей. При увеличении температуры он уменьшается. При критической температуре, когда исчезает различие между жидкостью и паром, $\sigma = 0$.



Смачивание и несмачивание



Смачивание — это поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с поверхностью твердого тела или другой жидкости.



Отмеченный на рисунке угол θ называют краевым углом. 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. Для смачивающих жидкостей краевой угол острый, а для не смачивающих — тупой. Чтобы действие силы тяжести не искажало краевой угол, каплю надо брать как можно меньше.