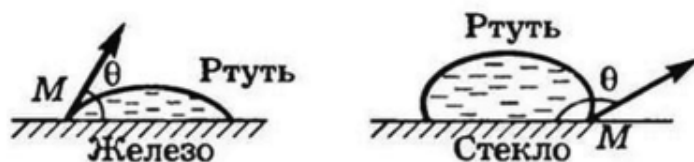


Поверхностное натяжение

Взаимодействие молекул жидкости вблизи её поверхностного слоя приводит к тому, что поверхность жидкости ведёт себя подобно упругой плёнке. Жидкость «стремится» минимизировать площадь своей поверхности — вот почему капли в невесомости приобретают сферическую форму.

Чтобы, наоборот, увеличить площадь поверхности жидкости на величину dS , нужно совершить работу $dA = \sigma dS$, где величина σ называется *коэффициентом поверхностного натяжения*. Эта работа совершается против *сил поверхностного натяжения*, которые действуют по касательной к поверхности жидкости перпендикулярно линии, ограничивающей эту поверхность. Можно показать, что сила поверхностного натяжения, действующая на небольшой участок границы поверхности, равна $F = \sigma l$, где l — длина этого участка.

На поверхности твёрдого тела капля жидкости приобретает ту или иную форму в зависимости от характера *смачивания* данной жидкостью поверхности данного вещества. Смачиваемость характеризуется величиной *краевого угла* θ . Например, ртуть хорошо смачивает железо (угол θ острый) и плохо смачивает стекло (угол θ тупой, см. рисунок).



ЗАДАЧА 1. Мыльная плёнка натянута на квадратную проволочную рамку со стороной a . Найдите силу поверхностного натяжения, действующую на одну сторону рамки со стороны одного из поверхностных слоёв. Коэффициент поверхностного натяжения равен σ .

$$v\sigma = \mathcal{L}$$

ЗАДАЧА 2. Найдите высоту поднятия жидкости в вертикальном капилляре радиуса r . Краевой угол $\theta < 90^\circ$. Коэффициент поверхностного натяжения равен σ . Плотность жидкости равна ρ .

$$\frac{\Delta h \rho}{\theta \cos \theta} = \rho$$

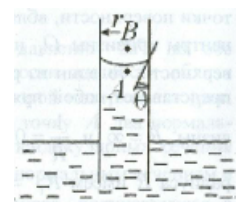
ЗАДАЧА 3. (Вспомогательная) Тонкий обруч массы m и радиуса r вращается вокруг своей оси с угловой скоростью ω . Найдите силу натяжения, действующую в сечении обруча

$$\Delta \sigma m \frac{\omega^2}{r} = \mathcal{L}$$

ЗАДАЧА 4. Найдите разность давлений по обе стороны сферической поверхности жидкости радиуса r . Коэффициент поверхностного натяжения равен σ .

$$\frac{\Delta p}{\rho} = d\nabla$$

ЗАДАЧА 5. В вертикальной капиллярной трубке радиусом r находится жидкость (см. рисунок). Краевой угол равен θ , коэффициент поверхностного натяжения равен σ . Найдите разность давлений в точках B и A .



$$\frac{\Delta p}{\rho} = d\nabla$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ) Капля ртути массой $m = 1$ г помещена между двумя параллельными стеклянными пластинками. Какую силу надо приложить к верхней пластинке, чтобы ртуть имела форму круглой лепёшки радиусом $r = 5$ см? Поверхностное натяжение ртути равно $\sigma = 0,465$ Н/м, плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³. Считайте, что ртуть совершенно не смачивает стекло, так что угол между свободной поверхностью ртути и стеклянной пластинкой равен нулю.

$$F = \sigma \cdot 2\pi r = 2,9 \text{ Н}$$

ЗАДАЧА 7. (МФТИ) Капля воды массой $m = 0,01$ г введена между двумя параллельными стеклянными пластинками, полностью смачиваемыми водой. Как велика сила притяжения между пластинками, если они находятся на расстоянии $d = 10^{-4}$ см друг от друга? Поверхностное натяжение воды равно $\sigma = 0,073$ Н/м.

$$F = \frac{2\sigma m}{d} = 1,46 \text{ мН}$$

ЗАДАЧА 8. Найдите давление воздуха внутри мыльного пузыря радиуса r . Поверхностное натяжение мыльной плёнки равно σ . Наружное давление равно p_0 .

$$p = p_0 + \frac{2\sigma}{r}$$

ЗАДАЧА 9. (МФТИ, 1993) Мыльный пузырь диаметром d , наполненный газом, находится в герметичной воздушной камере. После того как часть воздуха из камеры откачали, пузырь увеличил свой диаметр вдвое. Чему равно конечное давление воздуха в камере? Поверхностное натяжение мыльного раствора равно σ , начальное давление воздуха в камере равно p_0 .

$$p = p_0 \left(\frac{d}{2} \right)^3 + \frac{2\sigma}{d}$$

ЗАДАЧА 10. (МФТИ, 1993) Мыльный пузырь надувается воздухом, температура которого выше комнатной. При диаметре пузыря $d = 0,3$ мм он начинает всплывать (в комнате). На сколько процентов температура воздуха в пузыре выше комнатной? Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 0,038$ Н/м. Весом плёнки пренебречь.

$$\frac{p}{p_0} = 1 + \frac{2\sigma}{p_0 r} \approx 1,0001 \approx \frac{p}{p_0} \approx \frac{p}{p_0} \approx \frac{p}{p_0}$$

ЗАДАЧА 11. (МФТИ, 1993) Мыльный пузырь находится в воздушной камере при комнатной температуре $t_1 = 20$ °С. Давление воздуха в пузыре вдвое отличается от давления в камере. При нагревании воздуха в пузыре и в камере до температуры $t_2 = 70$ °С радиус пузыря увеличивается на $\alpha = 15\%$, а давление в камере остаётся неизменным. Найти отношение коэффициентов поверхностного натяжения мыльного раствора при конечной и начальной температурах опыта.

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{p_2 r_2}{2} = \frac{p_1 r_1}{2} = \frac{p_1 r_1}{2} = \frac{p_1 r_1}{2}$$

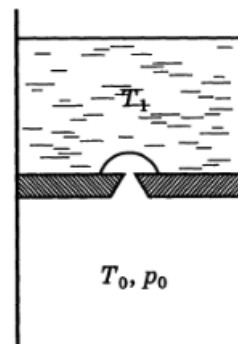
ЗАДАЧА 12. (МФТИ, 1993) Мыльный пузырь надувается азотом при комнатной температуре. При каком диаметре пузырь начнёт всплывать в атмосферном воздухе? Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 0,04$ Н/м, весом плёнки пренебречь.

$$d = \frac{2\sigma}{\rho g} = \frac{2 \cdot 0,04}{1,25 \cdot 9,8} \approx 0,0065 \text{ м} = 0,65 \text{ мм}$$

ЗАДАЧА 13. К идеальному одноатомному газу, заключённому внутри масляного пузыря, подводится тепло. Найдите молярную теплоёмкость газа в этом процессе. Наружным давлением пренебречь.

УЭ

ЗАДАЧА 14. (Всеросс., 1995, финал, 10) Вертикально расположенный сосуд разделён на два отсека теплонепроницаемой перегородкой (рис.), в которой имеется маленькое отверстие размером, много меньшим длины свободного пробега молекул газа. В нижнем отсеке сосуда находится газ, давление которого $p_0 = 6$ мм рт. ст. Верхний отсек, высота которого $h = 9$ см, заполнен маслом. Коэффициент поверхностного натяжения масла $\sigma = 0,03$ Н/м, плотность $\rho = 870$ кг/м³. Над отверстием перегородки образовался пузырь газа, радиус которого $r = 1$ мм. Найдите отношение T_1/T_0 температуры масла к температуре газа, при котором размер пузыря остаётся неизменным. Температура газа в пузыре равна температуре масла. Внешнее давление по поверхности масла не учитывать.



$$z\Gamma_1 \approx z \left(\frac{\sigma d}{r/\sigma z + q\sigma d} \right) = \frac{\sigma z}{r}$$

ЗАДАЧА 15. (Всеросс., 2006, ОЭ, 11) Найдите скорость u уменьшения радиуса R мыльного пузыря при его сдувании через трубку радиусом $r \ll R$. Объём трубки пренебрежимо мал по сравнению с объёмом пузыря, воздух в пузыре можно считать неподвижным. Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора σ . Считайте, что при истечении из пузыря воздух ведёт себя как идеальная невязкая несжимаемая жидкость плотностью ρ .

$$\frac{d\sigma}{\sigma} \wedge \frac{z/\sigma H}{z^x} = n$$

ЗАДАЧА 16. (МОШ, 2016, 11) Вася выдувает через длинную трубку сферический мыльный пузырь. Надув пузырь до некоторого размера, он выпускает трубку изо рта, при этом воздух из пузыря выходит наружу обратно через трубку. Окончательно пузырь исчезает, так и не лопнув, через время τ после того как его перестали надувать. За какое время сдуется надутый таким же образом мыльный пузырь вдвое большего радиуса? Считайте, что воздух движется по трубке достаточно медленно, свойства мыльной пленки у обеих пузырей одинаковы.

УЭ