

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ





Монета, лежащая на воде в силу поверхностного натяжения

- **Поверхностное натяжение** — термодинамическая характеристика поверхности раздела двух находящихся в равновесии фаз, определяемая работой обратимого изотермокинетического образования единицы площади этой поверхности раздела при условии, что температура, объем системы и химические потенциалы всех компонентов в обеих фазах остаются постоянными.
- Поверхностное натяжение имеет двойной физический смысл — энергетический (термодинамический) и силовой (механический). Энергетическое (термодинамическое) определение: поверхностное натяжение — это удельная работа увеличения поверхности при её растяжении при условии постоянства температуры. Силовое (механическое) определение: поверхностное натяжение — это сила, действующая на единицу длины линии, которая ограничивает поверхность жидкости¹

Химический потенциал μ — термодинамическая функция, применяемая при описании состояния систем с переменным числом частиц. Определяет изменение термодинамических потенциалов (энергии Гиббса, внутренней энергии, энтальпии и т. д.) при изменении числа частиц в системе. Представляет собой энергию добавления одной частицы в систему без совершения работы. Применяется для описания материального взаимодействия.

Определение химического потенциала можно записать в виде:

$$dE = TdS - PdV + \mu dN,$$

где E — энергия системы, S — её энтропия, N — количество частиц в системе.

Эта формула определяет, кроме химического потенциала μ , также давление P и температуру T .

Для систем, состоящих из одного компонента, химический потенциал задаётся формулой

$$\mu = \frac{E - TS + PV}{N} = \frac{G}{N},$$

где G — потенциал Гиббса.

Если энергия системы зависит не от объёма, а от других термодинамических параметров A_1, A_2, \dots , исходная формула принимает вид

$$dE = TdS - \sum_i a_i dA_i + \mu dN.$$

Физический смысл химического потенциала

- Это изменение энергии Гиббса однородной многокомпонентной системы при добавлении к ней 1 моль данного компонента при постоянных давлении, температуре и составе системы (то есть, добавление должно происходить при бесконечно больших количествах всех компонентов, чтобы состав системы не изменился).
- Химический потенциал относится к числу вычисляемых, но не измеряемых на опыте параметров.

- Химический потенциал характеризует способность рассматриваемого компонента к выходу из данной фазы (путём испарения, растворения, кристаллизации и т.д.) или к выходу из данного состояния при химическом взаимодействии. В многофазных (гетерогенных) системах переход данного компонента может происходить самопроизвольно только из фазы, где его химический потенциал больше, в фазу, в которой его химический потенциал меньше. Такой переход сопровождается уменьшением химического потенциала этого компонента в 1-й фазе и увеличением во 2-й.

Энтальпия

$$H = U + pV; \quad dH = dU + pdV + Vdp;$$
$$dH = TdS - pdV + pdV + Vdp = TdS + Vdp$$

$$dH = TdS + Vdp$$

- ***Частные производные энтальпии:***
 - а) $p = \text{const}; dp = 0; dH = TdS; (\partial H / \partial S)_p = T$
 - б) $S = \text{const}; dS = 0; dH = Vdp; (\partial H / \partial p)_S = V$
 - ***Полный дифференциал функции H:***
- Энтальпия H является функцией двух переменных – энтропии (S) и давления (p):

$$H = f(S, p)$$

Энергия Гельмгольца

- Для нахождения полного дифференциала функции F продифференцируем уравнение $F = U - TS$:

$$dF = dU - TdS - SdT \quad (1)$$

- $\delta Q = dU + pdV$, $\delta Q = TdS$; $TdS = dU + pdV$, $dU = TdS - pdV$ (2)

- После подстановки уравнения (2) в уравнение (1) получим:

- $dF = TdS - pdV - TdS - SdT = -SdT - pdV$, **$dF = -SdT - pdV$** (3)

- Из уравнения (3) находим частные производные

$$(\partial F/\partial T)_V = -S; \quad (\partial F/\partial V)_T = -p,$$

$$dF = (\partial F/\partial V)_T \cdot dV + (\partial F/\partial T)_V \cdot dT$$

- Энергия Гельмгольца F является функцией двух переменных – объёма (V) и температуры (T): $F=f(V, T)$

Энергия Гиббса

- Для нахождения полного дифференциала функции G продифференцируем уравнение $G = H - TS$:

$$dG = dH - TdS - SdT \quad (1)$$

$$H = U + pV; \quad dH = dU + pdV + Vdp \quad (2)$$

- После подстановки уравнения (2) в уравнение (1) получим:

$$dG = dU + pdV + Vdp - TdS - SdT \quad (3)$$

- Из объединенного уравнения 1-го и 2-го законов термодинамики имеем:

$$dU = TdS - pdV \quad (4)$$

- После подстановки уравнения (4) в уравнение (3) получим:

$$dG = TdS - pdV + pdV + Vdp - TdS - SdT, \quad \mathbf{dG = Vdp - SdT} \quad (5)$$

- Из уравнения (5) находим частные производные

$$(\partial G / \partial p)_T = V; \quad (\partial G / \partial T)_p = -S$$

$$dG = (\partial G / \partial p)_T \cdot dp + (\partial G / \partial T)_p \cdot dT$$

- Энергия Гиббса G является функцией двух переменных – давления (p) и температуры (T):

$$G = f(p, T)$$

- Следует отметить, что все вышеприведенные соотношения справедливы только для закрытых систем постоянной массы и состава. Они применимы, например, для процессов фазовых превращений (испарение, плавление, кристаллизация и т.д).
- Для открытых же систем, в которых масса и состав могут изменяться за счёт выведения или добавления вещества, или за счёт протекания химической реакции, внутренняя энергия U , энтальпия H , энергия Гельмгольца F и энергия Гиббса G являются также функцией количества образующих данную систему индивидуальных компонентов.

- Следует отметить, что все вышеприведенные соотношения справедливы только для закрытых систем постоянной массы и состава. Они применимы, например, для процессов фазовых превращений (испарение, плавление, кристаллизация и т.д).
- Для открытых же систем, в которых масса и состав могут изменяться за счёт выведения или добавления вещества, или за счёт протекания химической реакции, внутренняя энергия U , энтальпия H , энергия Гельмгольца F и энергия Гиббса G являются также функцией количества образующих данную систему индивидуальных компонентов.

- Если система переходит из состояния 1 «реагенты» в состояние 2 «продукты», то эти уравнения можно записать **для изменений соответствующих потенциалов в результате протекания химической реакции:**

$$\Delta F = \Delta U + T(\partial \Delta F / \partial T)_V \quad (3)$$

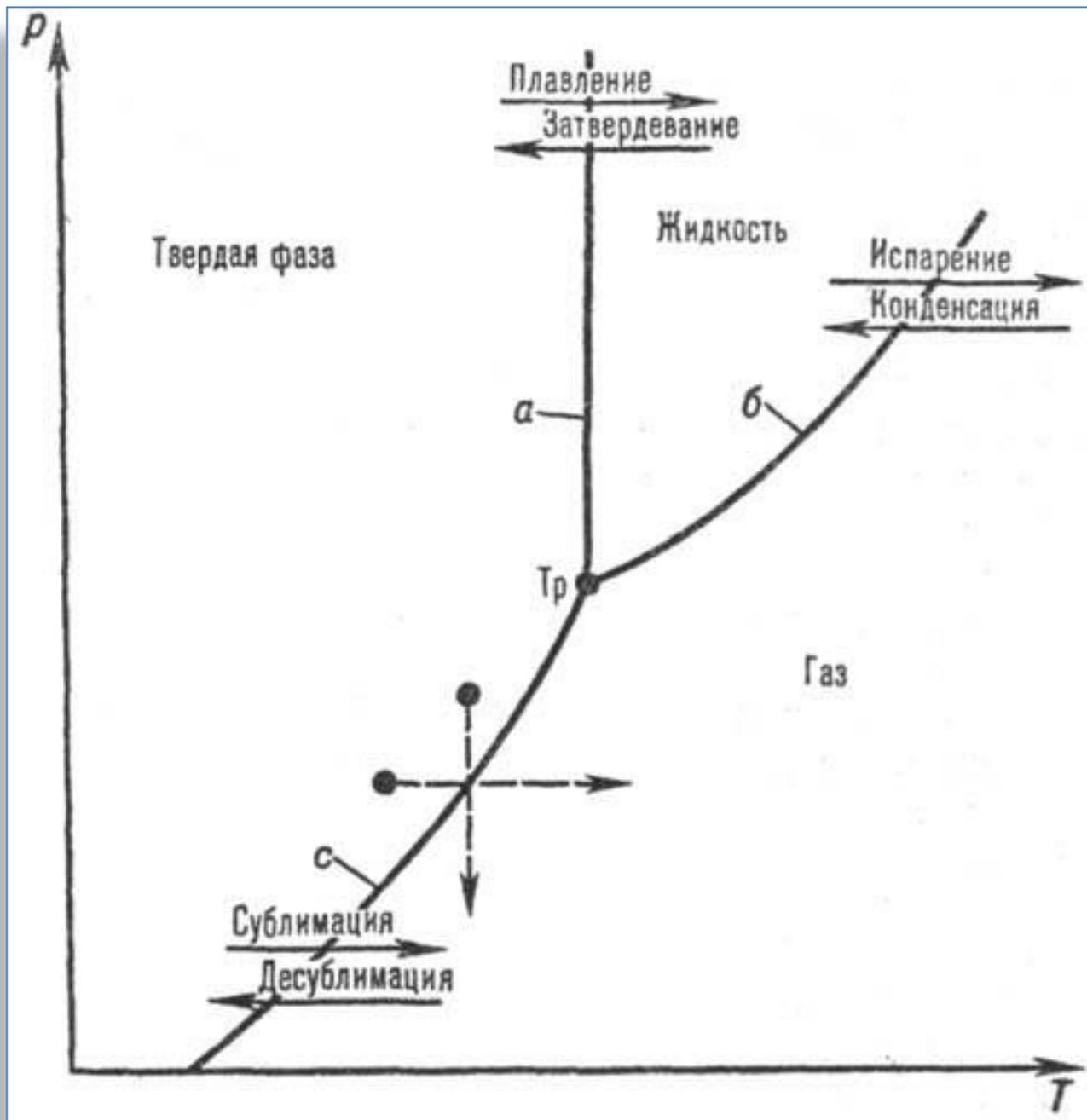
$$\Delta G = \Delta H + T(\partial \Delta G / \partial T)_p \quad (4)$$

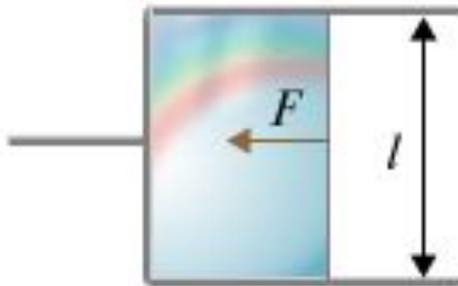
- Эти уравнения также известны под названием «уравнения Гиббса-Гельмгольца» **для процессов.** Они позволяют получить зависимость ΔF и ΔG от T . Преобразуем уравнение (4) в более явную и удобную форму. Сделаем перегруппировку и разделим обе части на T^2

$$[(\partial \Delta G / \partial T)_p] / T - \Delta G / T^2 = - \Delta H / T^2$$

$$[\partial(\Delta G/T)/dT]_p = -\Delta H/T^2$$

- 1) $\Delta H < 0$, $[\partial(\Delta G/T)/\partial T]_p > 0$, значит с увеличением T растёт $(\Delta G/T)$. Поскольку T всегда > 0 , то $\Delta G > 0$, то есть, с увеличением T ΔG увеличивается (ΔG становится менее отрицательной величиной – более положительной).
- 2) $\Delta H > 0$, $[\partial(\Delta G/T)/\partial T]_p < 0$, значит с увеличением T снижается $(\Delta G/T)$. Поскольку T всегда > 0 , то $\Delta G < 0$, то есть, с увеличением T ΔG уменьшается (ΔG становится менее положительной – более отрицательной величиной).





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

$$[\sigma] = \frac{H}{M}$$

Измерение силы поверхностного
натяжения

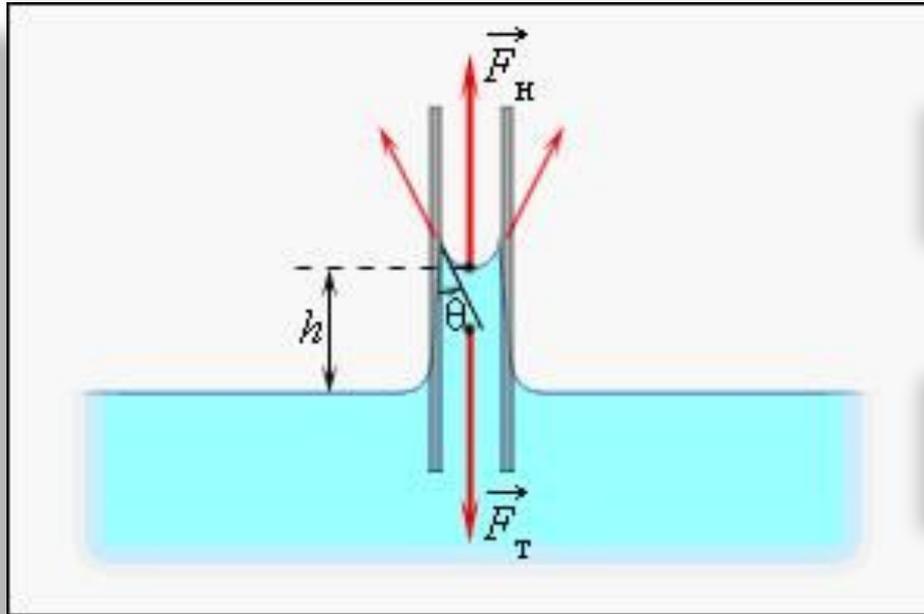
σ - коэффициент поверхностного натяжения, измеряется в Н/м,
 F – сила поверхностного натяжения, измеряется в Ньютонах,
 l - длина свободной поверхности жидкости, измеряется в метрах.

ТЕНЗИОМЕТР



- Поверхностное натяжение может быть на границе газообразных, жидких и твёрдых тел. Обычно имеется в виду поверхностное натяжение жидких тел на границе «жидкость — газ». В случае жидкой поверхности раздела поверхностное натяжение правомерно также рассматривать как силу, действующую на единицу длины контура поверхности и стремящуюся сократить поверхность до минимума при заданных объёмах фаз.
- В общем случае прибор для измерения поверхностного натяжения называется тензиометр

Проявления



Подъем смачивающей
жидкости в капилляре

$$h = 2 \sigma / \rho g r$$

Высота подъёма жидкости - h в капилляре.

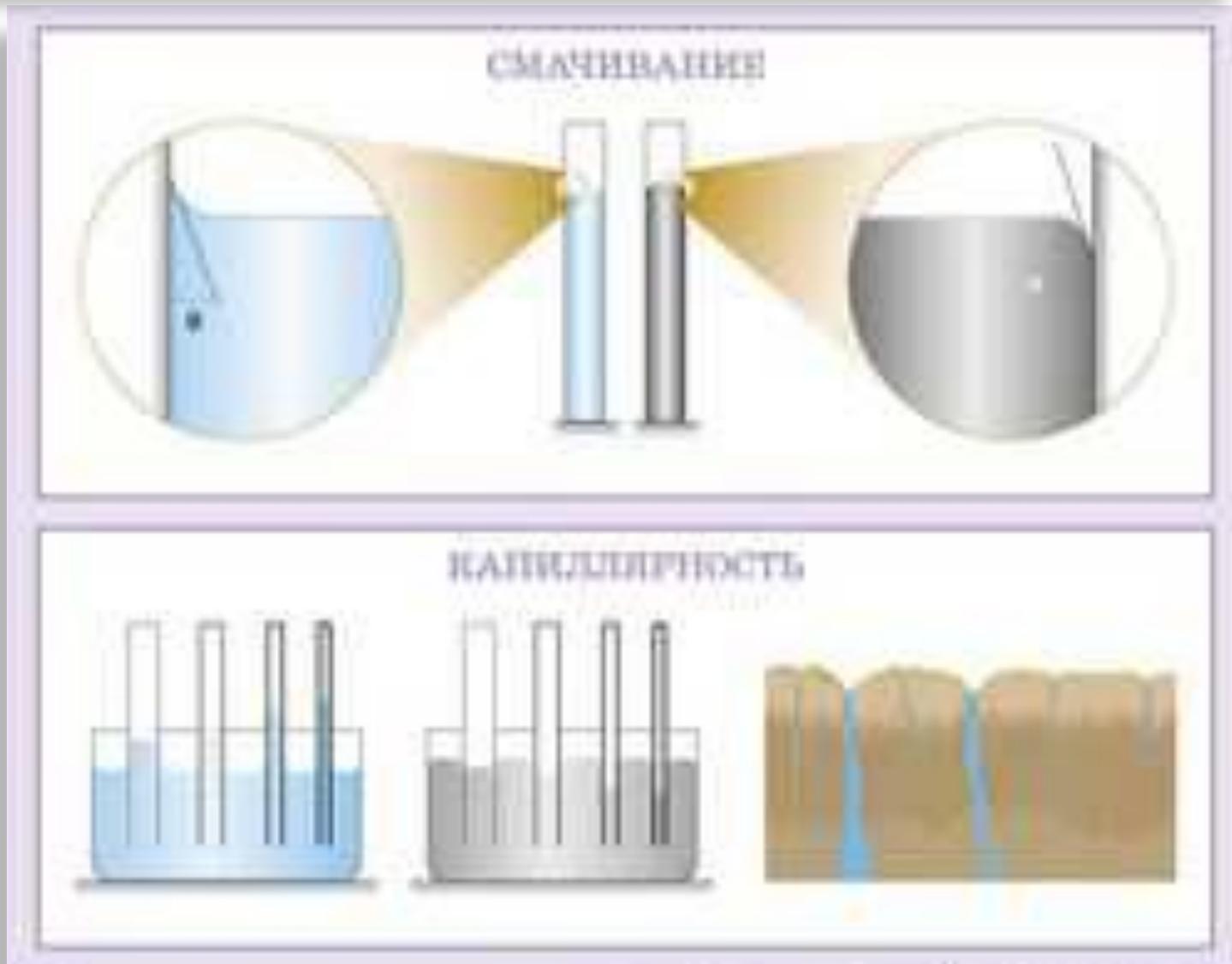
σ - коэффициент поверхностного натяжения, измеряется в Н/м,

ρ - плотность жидкости, измеряется в $\text{кг}/\text{м}^3$,

$g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ – ускорение свободного падения,

r – радиус капилляра, измеряется в метрах.

Проявления



Вещество	Температура °С	Поверхностное натяжение(10^{-3} Н/м)
<u>Ртуть</u>	20	486,5
<u>Вода</u>	20	72,86
<u>Глицерин</u>	20	59,4
<u>Нефть</u>	20	26
<u>Серная кислота</u> 85 %	20	57,4
<u>Спирт этиловый</u>	20	22,8
<u>Уксусная кислота</u>	20	27,8
<u>Эфир этиловый</u>	20	16,9
<u>Раствор мыла</u>	20	40

ВЫВОДЫ

$$\sigma = F/l$$

$$h = 2 \sigma / \rho g r$$

- I. Жидкость может смачивать и не смачивать твёрдое тело.
- II. Коэффициент поверхностного натяжения зависит от рода жидкости.
- III. Коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры. $T \uparrow \sigma \downarrow$
- IV. Высота подъёма жидкости в капилляре зависит от его диаметра. $d \uparrow h \downarrow$
- V. Сила поверхностного натяжения зависит от длины свободной поверхности жидкости. $l \uparrow F \uparrow$

Проявления



- Так как появление поверхности жидкости требует совершения работы, каждая среда «стремится» уменьшить площадь своей поверхности:

Проявления



- некоторые насекомые (например, [Водомерки](#)) способны передвигаться по воде, удерживаясь на её поверхности за счёт сил поверхностного натяжения.

Проявления



- Так как появление поверхности жидкости требует совершения работы, каждая среда «стремится» уменьшить площадь своей поверхности:
- в невесомости капля принимает сферическую форму (сфера имеет наименьшую площадь поверхности среди всех тел одинакового объёма).

Проявления



- На многих поверхностях, именуемых несмачиваемыми, вода (или другая жидкость) собирается в капли.

Решение задач

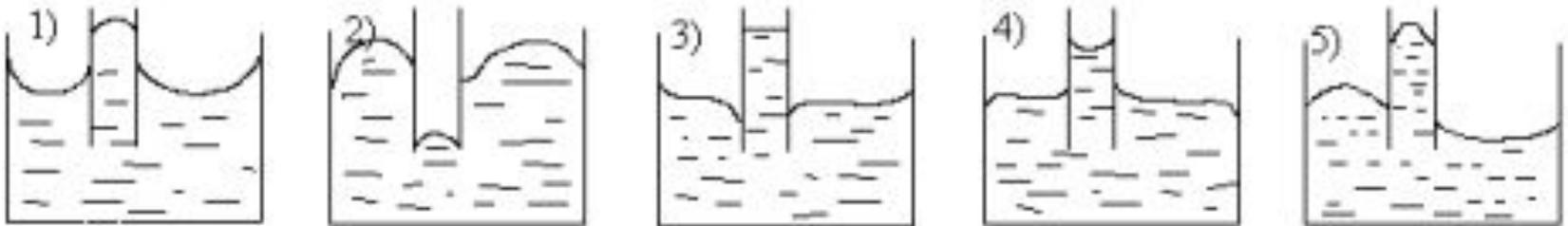
Какой чертёж соответствует следующей ситуации?

1. В стеклянный сосуд с несмачивающей его жидкостью опущена стеклянная трубка?

Ответ рисунок №2.

2. В стеклянный сосуд с ртутью опущена стальная трубка?

Ответ рисунок №4.



Решение задач

- Какую массу имеет капля воды, вытекающая из стеклянной трубки диаметром 10^{-3} м, если считать, что диаметр шейки капли равен диаметру трубки.
- 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.
- 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.
- В спирт опущена трубка. Диаметр её внутреннего канала равен $5 \cdot 10^{-4}$ м. на какую высоту поднимется спирт в трубке? Плотность спирта 800 кг/м^3 .
- 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 кг/м^3 .

Решение задач

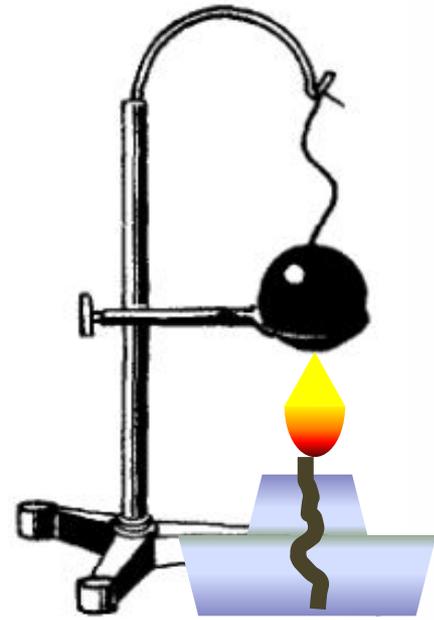
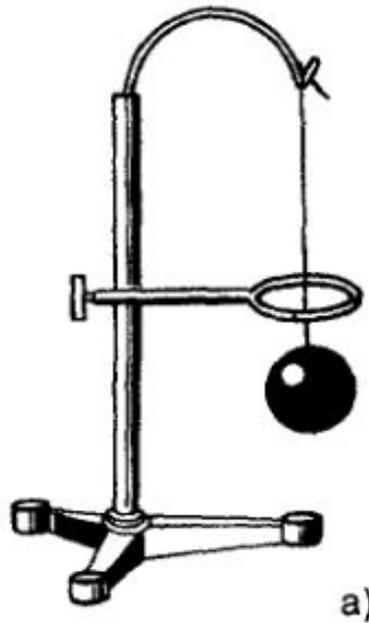
- В капиллярной трубке радиусом $0,5 \cdot 10^{-3}$ м жидкость поднялась на $11 \cdot 10^{-3}$ м. определите плотность данной жидкости, если её коэффициент поверхностного натяжения $0,022$ Н/м.
- Тонкое металлическое кольцо диаметром 15 см соприкасается с водой. Какую силу нужно приложить к кольцу, чтобы оторвать его от воды? Масса кольца 10 г, коэффициент поверхностного натяжения воды принять равным $0,07$ Н/м.
- Рамка с подвижной перекладиной длиной 10 см затянута мыльной плёнкой. Какую работу надо совершить против сил поверхностного натяжения, чтобы переместить перекладину на 2 см.
- 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.

ВЫВОДЫ

$$\sigma = F/l$$

$$h = 2 \sigma / \rho g r$$

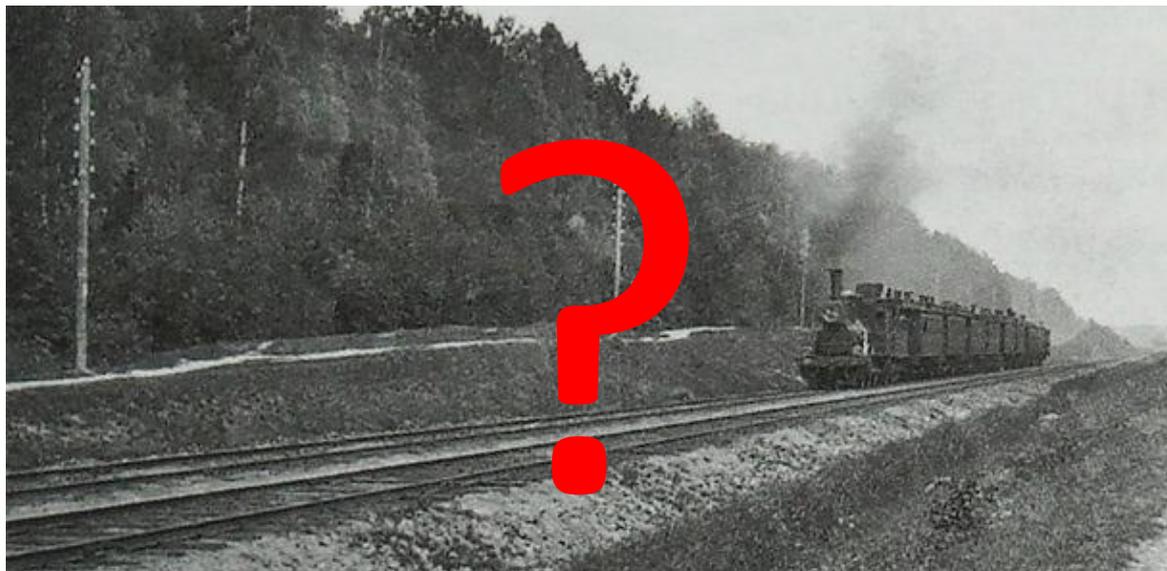
- I. Жидкость может смачивать и не смачивать твёрдое тело.
- II. Коэффициент поверхностного натяжения зависит от рода жидкости.
- III. Коэффициент поверхностного натяжения зависит от температуры. $T \uparrow \sigma \downarrow$
- IV. Высота подъёма жидкости в капилляре зависит от его диаметра. $d \uparrow h \downarrow$
- V. Сила поверхностного натяжения зависит от длины свободной поверхности жидкости. $l \uparrow F \uparrow$



Тепловое расширение тел

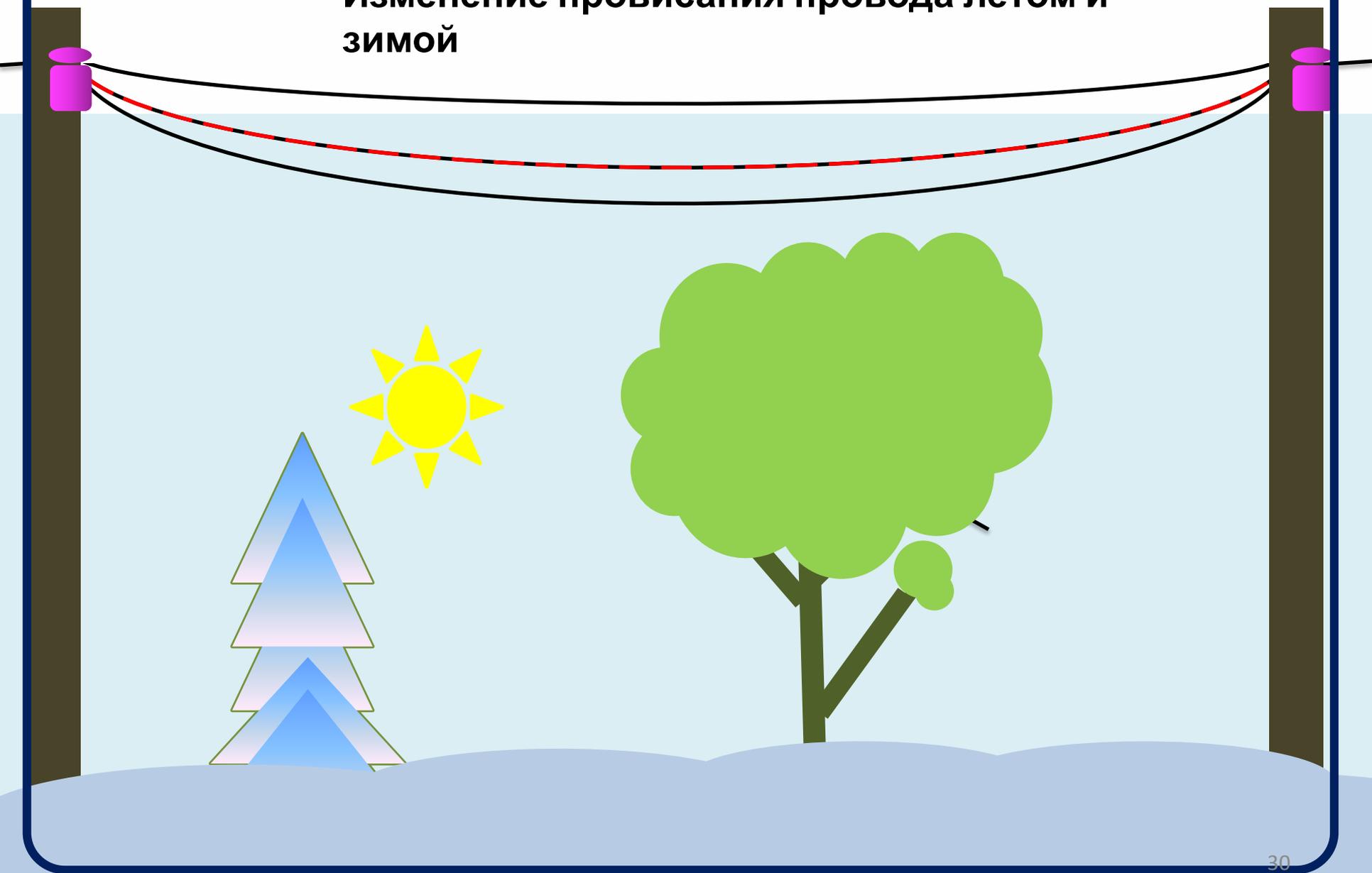
«Преступление» без наказания

На 600-верстной Николаевской железной дороге Петроград – Москва ежегодно в летнее время кем-то неизвестным прибавляется несколько сот сажень дорогой телефонной проволоки, а зимой то же количество проволоки бесследно похищается.



На вопрос: “Какой длины Октябрьская (Николаевская) железная дорога?” — кто-то ответил:
— Шестьсот сорок километров в среднем; летом метров на триста длиннее, чем зимой.

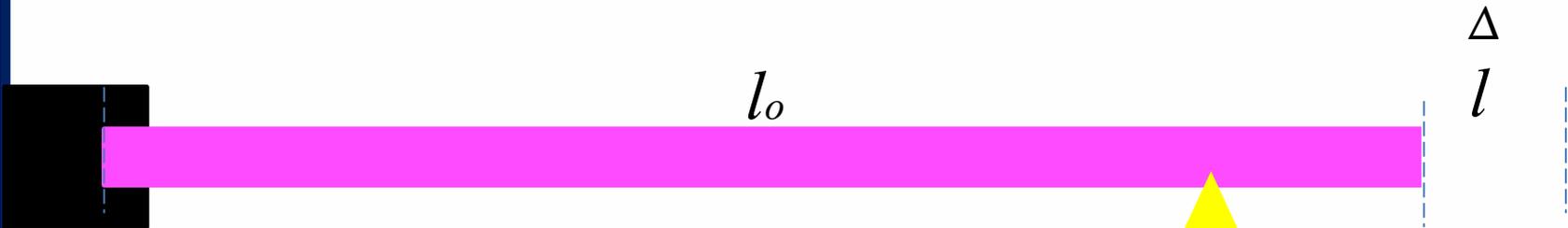
Изменение провисания провода летом и зимой



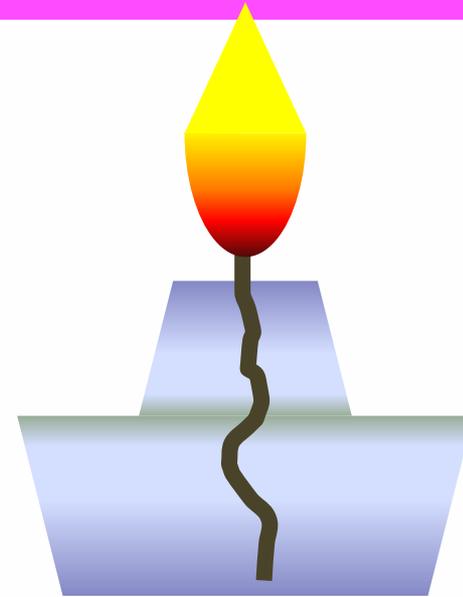
Для чего между рельсами оставляют зазоры?



Тепловое расширение тел



$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$$



Коэффициент линейного
расширения

Изменение
температуры

Линейный коэффициент расширения

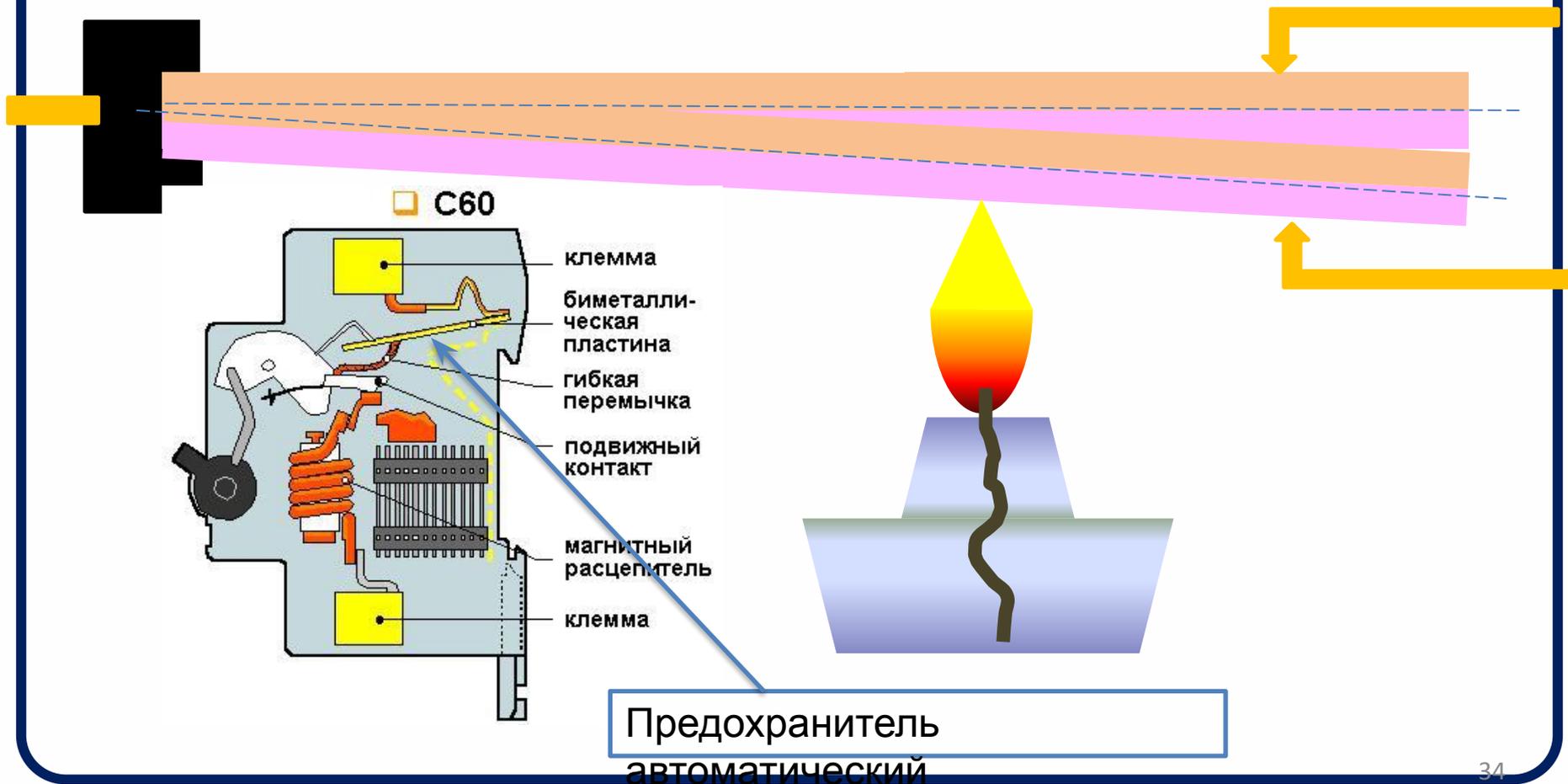
$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

Вещество	α , $1/^\circ\text{C}$	Вещество	α , $1/^\circ\text{C}$
Алюминий	0,000024	Платина	0,000009
Железо	0,000012	Серебро	0,000019
Золото	0,000014	Сталь	0,000012
Латунь	0,000019	Стекло	0,000009
Медь	0,000017	Цемент	0,000014
Олово	0,000027	Цинк	0,000029

Линейный коэффициент расширения показывает на сколько увеличивается каждый метр длины при изменении температуры на один градус.

Биметаллическая пластина

При нагревании биметаллическая пластина изгибается

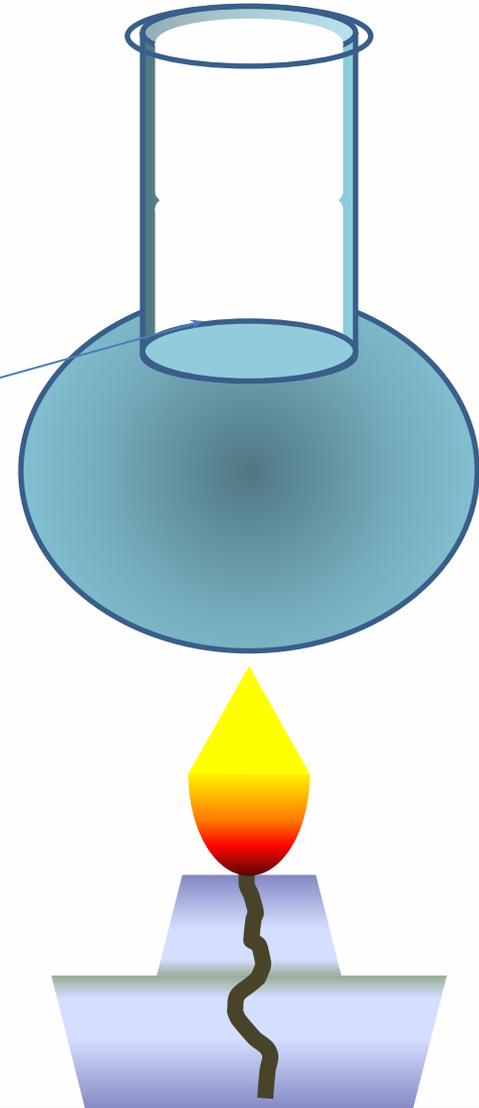


Объемное расширение тел

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta t$$

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$$

Коэффициент объемного расширения





Обруч
и



Нагретый
обруч

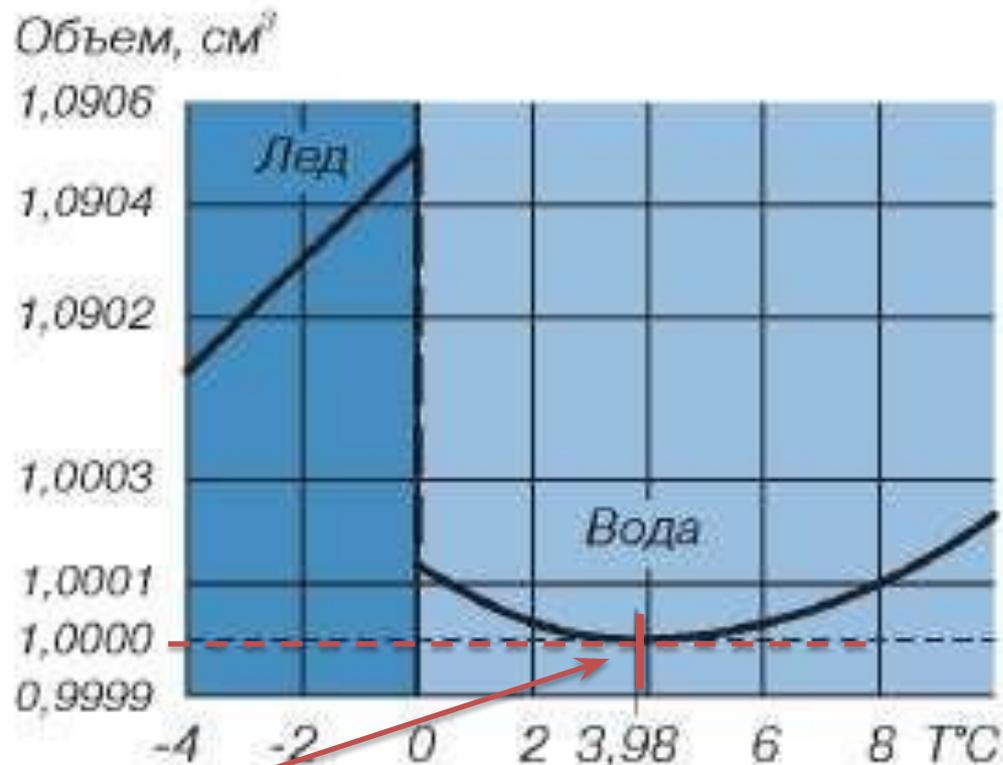
Остывший
обруч

Примером использования свойств тел сужаться при охлаждении может служить известный прием натягивания раскаленных железных шин (обручей) на обод тележного колеса. Когда шина остынет, она станет меньше и плотно обхватит обод.

Тепловое расширение воды

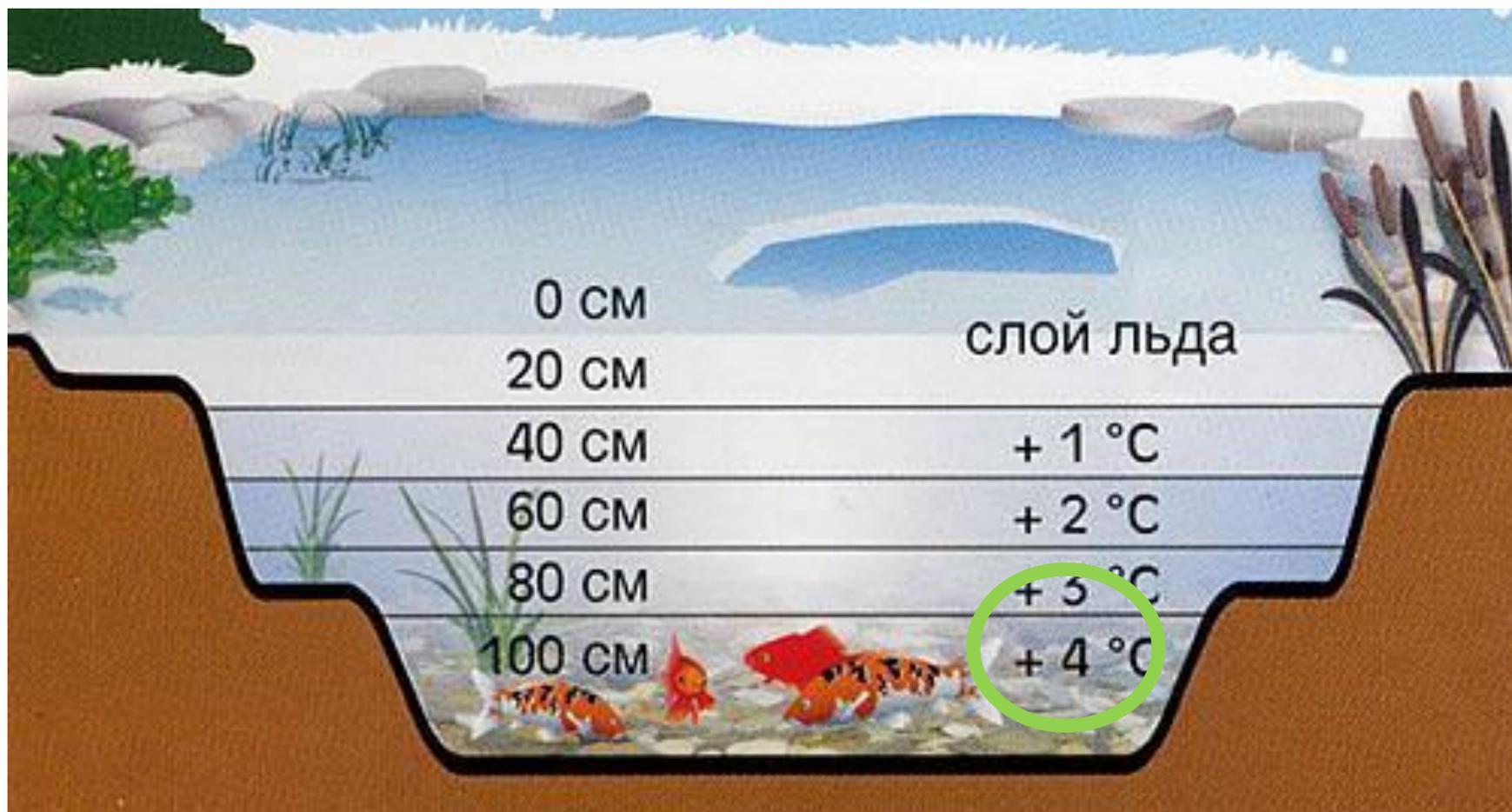


**Плотность воды
максимальна при +4
градусах**



**«Аномалия»
воды**

Распределение температуры воды в пруду с глубиной



Вопросы на закрепление

1. Как изменится объем воздушного шарика, если мы перенесем его из холодного помещения в теплое? Почему?
2. Что происходит с расстояниями между частичками жидкости в термометре в случае похолодания?
3. Вспомните опыт с медным шариком. Вследствие нагревания он застревал в обруче. Как изменились вследствие нагревания объем шара; его масса; плотность?

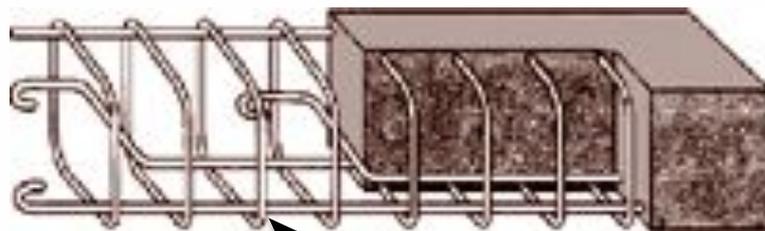


Зачем в автомобилях ставят расширительные бачки?

Где еще вы встречали такие устройства?



Renault-duster.info



Можно ли заменить железо в железобетонных конструкциях другим металлом?

Почему так «не экономно» укладывают трубы?



Что случилось с рельсами?



монтаж компенсаторов

Вычислительные задачи

1. После того как пар кипящей воды пропустили через латунную трубку, длина трубки увеличилась на 1,62 мм. Чему равен коэффициент линейного расширения латуни, если при температуре

15 °С длина трубки равна 1 м?

Напоминаем, что температура кипящей воды равна 100 °С.

2. Платиновый провод длиной 1,5 м находился при температуре 0 °С. Вследствие пропускания электрического тока провод раскалился и удлинился на 15 мм. До какой температуры он был нагрет?

3. Медный лист прямоугольной формы, размеры которого при температуре 20 °С составляют 60 см х 50 см, нагрели до 600 °С. Как изменилась площадь листа?