

### 3.4. Тепловое расширение тел

**Пример 3.9.** На сколько отстанут за сутки маятниковые часы, если температура станет на  $20^\circ\text{C}$  выше той, при которой часы были сверены. Маятник часов железный.

$$\text{Дано: } t = 24 \cdot 3600 \text{ с, } \Delta T = 20 \text{ К} \\ \Delta t = ?$$

**Решение:** Период колебаний маятника данных часов (если считать его математическим) можно определить по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

После повышения температуры длина маятника увеличится:

$$l_1 = l(1 + \alpha \Delta T),$$

$$\text{поэтому } T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{l(1 + \alpha \Delta T)}{g}}$$

Отставание часов за сутки равно  $\Delta t = (T_1 - T)n$ , где  $n = t/T_1$  — число колебаний маятника.

Таким образом,

$$\Delta t = \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) \cdot t = \left(1 - \frac{2\pi\sqrt{l/g}}{2\pi\sqrt{t(1 + \alpha\Delta T)/g}}\right) \cdot t = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha\Delta T}}\right) \cdot t.$$

Значение коэффициента линейного расширения железа  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  находим в таблице.

Числовое значение:

$$\Delta t = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 20}}\right) \cdot 24 \cdot 3600 = 10,4 \text{ (с)}.$$

**Пример 3.9.** Железная цистерна высотой 4 м и диаметром 8 м при  $0^\circ\text{C}$  заполнена нефтью так, что не доходит до краев цистерны на 10 см. При какой температуре нефть заполнит весь объем цистерны?

$$\text{Дано: } h_0 = 4 \text{ м, } d = 8 \text{ м, } T_0 = 273 \text{ К, } \Delta h = 0,1 \text{ м}$$


---


$$T \text{ — ?}$$

**Решение:** Объемы цистерны и нефти при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$  соответственно равны:

$$V_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h_0 \quad V'_0 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h'.$$

Согласно условию задачи  $h' = h_0 - \Delta h$ .

Объем цистерны после повышения температуры на  $\Delta T$ :

$$V = V_0 (1 + \beta\Delta T) = \frac{\pi d^2 h_0}{4} (1 + 3\alpha\Delta T)$$

(учтено, что  $\beta = 3\alpha$ ), где  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  — коэффициент линейного расширения железа.

Объем нагретой нефти:

$$V' = V'_0 (1 + \beta'\Delta T) = \frac{\pi d^2 h'}{4} (1 + \beta'\Delta T),$$

где  $\beta' = 1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  — коэффициент объемного расширения нефти (см. табл.).

При заполнении нефтью всего объема цистерны:

$$(h_0 - \Delta h) (1 + \beta' \Delta T) = h_0 (1 + 3\alpha \Delta T),$$

откуда 
$$\Delta T = \frac{\Delta h}{\beta' (h_0 - \Delta h) - 3\alpha h_0}.$$

Таким образом, температура, при которой нефть заполнит весь объем цистерны,  $T = T_0 + \Delta T$ .

Числовое значение:

$$T = 273 + \frac{0,1}{0,001 \cdot (4 - 0,1) - 3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 4} = 300 \text{ (К)}.$$

3.55. Почему наиболее точные измерительные инструменты изготавливаются из специального сплава — инвара?

3.56. При нагревании куба, вырезанного из монокристалла, изменяется не только его объем, но и форма. Почему?

3.57. На медный цилиндр плотно надето железное кольцо. Как надо поступить, чтобы снять кольцо?

3.58. Железный стержень при 273 К имеет длину 40 см. Определите температуру, при которой он удлинится на 4 мм.

3.59. Стальная линейка при 15 °С имеет длину 1 м. На сколько изменится ее длина при понижении температуры до -35 °С?

3.60. Стальная телеграфная проволока имеет наименьшую длину при -30 °С. При нагревании до 32 °С она удлиняется на 15 мм. Найдите наименьшую длину проволоки.

3.61. При обработке на токарном станке чугунного шкива его температура достигла 453 К. Каким должен быть диаметр шкива после обработки для того, чтобы при температуре 293 К он был равен 0,4 м?

3.62. Стальной мост через Днепр около Киева имеет длину 1082 м при 273 К. На сколько изменится длина моста при повышении температуры от 263 К до 293 К?

3.63. Разница длин алюминиевого и медного стержней при любой температуре составляет 15 см. Найдите длину этих стержней при 273 К.

3.64. При измерении стальным штангенциркулем диаметр детали оказался равным 9 см. Температура при измерении была 303 К. Определите абсолютную погрешность этого измерения, если деления шкалы штангенциркуля были нанесены при температуре 293 К.

3.65. Какую силу надо приложить к стальному стержню сечением  $1 \text{ см}^2$  для того, чтобы растянуть его на столько же, на сколько он удлинится при нагревании на  $1 \text{ К}$ ?

3.66. \*Маятниковые часы за сутки спешат на  $8 \text{ с}$  при температуре  $276 \text{ К}$  и отстают на  $7 \text{ с}$  при  $296 \text{ К}$ . Определите коэффициент линейного расширения материала маятника.

3.67. Определите плотность железа при  $203 \text{ К}$ .

3.68. Кусок свинца имеет объем  $100 \text{ см}^3$  при  $273 \text{ К}$  и  $101,68 \text{ см}^3$  при  $473 \text{ К}$ . Определите коэффициент линейного расширения свинца.

3.69. Полностью заполненная стеклянная колба содержит  $330 \text{ г}$  ртути при  $273 \text{ К}$  и  $325 \text{ г}$  ртути при  $373 \text{ К}$ . Определите коэффициент объемного расширения ртути.

3.70. Железный бидон объемом  $10 \text{ л}$  полностью заполнен керосином при температуре  $273 \text{ К}$ . Сколько керосина вытечет, если бидон перенести в помещение с температурой  $293 \text{ К}$ ? Расширение бидона не учитывать.

3.71. При нагревании объем сосуда из латуни увеличился на  $0,6\%$ . Найдите изменение его температуры.

3.72. Уровень электролита в аккумуляторной банке высотой  $0,3 \text{ м}$  при  $278 \text{ К}$  на  $4 \text{ мм}$  ниже отверстия в крышке. При какой температуре электролит начнет выливаться? Расширением корпуса аккумулятора пренебречь.

3.73. \*Шарик, коэффициент объемного расширения которого  $\beta$ , взвешивают трижды: в воздухе и в жидкости при температурах  $t_1$  и  $t_2$ . Показания весов при взвешиваниях равны соответственно  $P$ ,  $P_1$  и  $P_2$ . Определите коэффициент объемного расширения жидкости.

3.74. \*Твердое тело плавает в жидкости при температуре  $273 \text{ К}$ . Объем части тела, находящейся в жидкости, составляет  $98\%$ . При нагревании жидкости до  $298 \text{ К}$  тело опустилось в нее полностью. Определите коэффициент объемного расширения жидкости, если для твердого тела он равен  $2,6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .