

Глава 1

Тепловое расширение

Ключевые формулы

Объёмное тепловое расширение

$$V = V_0(1 + \beta(t - t_0)),$$

V , м³ — объём вещества при температуре t ;

V_0 , м³ — объём вещества при температуре t_0 ;

β , °С⁻¹ — коэффициент объёмного теплового расширения (табличная величина, свойство данного вещества).

Линейное тепловое расширение

$$L = L_0(1 + \alpha(t - t_0)),$$

L , м — линейный размер тела при температуре t ;

L_0 , м — линейный размер тела при температуре t_0 ;

α , °С⁻¹ — коэффициент линейного теплового расширения (табличная величина, свойство данного вещества).

Коэффициенты линейного α и объёмного β температурного расширения связаны соотношением $\beta = 3\alpha$.

1.1. Стальная линейка при $t_1 = 15^\circ\text{C}$ имеет длину $l_1 = 50$ см.



На сколько изменится длина линейки при охлаждении до $t_2 = -35^\circ\text{C}$? Останется ли линейка пригодной для измерений?

1.2. Стальная лента натянута вокруг Земли по экватору при 0°C .

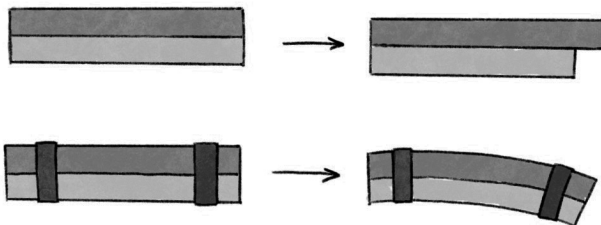


На сколько изменится длина ленты, если её нагреть на 1°C ? Каким будет расстояние от ленты до Земли при новой температуре? Можно ли будет просунуть руку между Землёй и лентой? Радиус Земли равен 6400 км.



К задаче 1.2

- 1.3.** Нужно построить два одинаковых стальных моста — один в северном городе, второй в южном. Каковы должны быть при 0°C зазоры, компенсирующие удлинение моста при изменении температуры, если на юге возможны колебания от -10°C до $+50^\circ\text{C}$, а на севере от -50°C до $+20^\circ\text{C}$? При 0°C длина моста $L_0 = 100$ м.
- 1.4.** В центре стального диска при 0°C имеется отверстие диаметром $4,99$ мм. В каком случае диаметр отверстия увеличится — при нагревании или охлаждении? При какой температуре в отверстие начнёт проходить шарик диаметром $5,00$ мм?
- 1.5.** В янтаре (коэффициент его объёмного расширения равен β) имеется пузырёк с воздухом, которым дышали обитатели нашей планеты миллионы лет назад. Объём пузырька был равен V_0 . За много лет температура воздуха на планете возросла и янтарь нагрелся. Увеличился или уменьшился при этом объём полости? Каков будет объём полости, если температура янтара повысится на Δt ?
- 1.6.** При помощи стального штангенциркуля, предназначенного для измерений при 20°C , измерили длину детали при температуре -20°C . Результат измерений равен $19,97$ см. Чему равна длина детали?
- 1.7.** Сообщающиеся сосуды заполнены жидкостью, имеющей температуру t_1 . При нагревании жидкости в одном из сосудов до температуры t_2 её уровень в этом сосуде установился на высоте H , а в другом — на высоте h . Найдите коэффициент объёмного расширения жидкости.



К задаче 1.9

1.8. При изготовлении некоторых точных приборов необходимо обеспечить постоянство разности длин двух стержней при изменении температуры. Какие длины должны иметь железный и медный стержни при 0°C , чтобы разность их длин не зависела от температуры и оставалась равной $\Delta l = 10\text{ см}$?

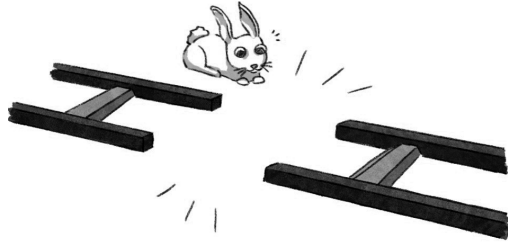
1.9. Биметаллическая пластина представляет собой отрезок ленты, изготовленной из двух металлов с разными коэффициентами теплового расширения, скреплённых с обоих концов (см. рисунок). При нагревании такая пластина начинает изгибаться тем сильнее, чем сильнее нагрев, что позволяет использовать это устройство для измерения температуры (например, в электрочайниках для автоматического выключения при закипании воды). Стальная и бронзовая ленты одинаковой толщины $a = 0,2\text{ мм}$ склеены вместе и при температуре $t_1 = 0^\circ\text{C}$ образуют плоскую биметаллическую пластинку. Каким будет радиус изгиба пластинки при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$?

Как устроена биметаллическая пластина в электрочайнике?

1.10. Железный бак вмещает 50 л керосина при 0°C . Сколько керосина выльется из бака, если его внести в комнату с температурой 20°C ?

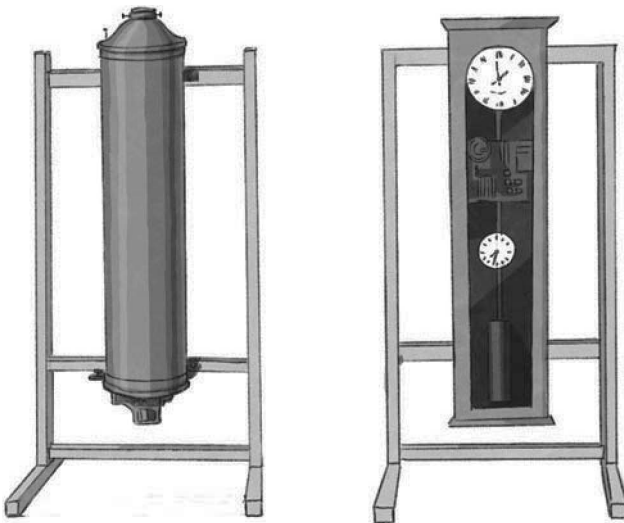
1.11. Алюминиевый шарик массой $m = 0,5\text{ кг}$ опущен на нити в керосин. На сколько изменится сила натяжения нити, если всю систему нагреть от $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до $t_2 = 50^\circ\text{C}$?

1.12. Оцените, сколько метров рельсов суммарно «пропадает» зимой на Транссибирской магистрали по сравнению с летом вследствие теплового расширения.



К задаче 1.12

- 1.13. Оцените, на сколько метров поднимется уровень мирового океана вследствие теплового расширения, если средняя температура на Земле вырастет на 5°C .
- 1.14. Часы Шорта — точные часы, изобретённые в 1921 году английским инженером-железнодорожником Уильямом Гамильтоном Шортом и известным часовщиком Фрэнком Хоупом-Джонсом. До изобретения электронных часов это были самые точные часы в мире: их ошибка была порядка 1 с в год. Часы содержали маятник длиной 1 м (при такой длине движение маятника в одну сторону занимает ровно 1 с). Однако из-за температурных перепадов длина маятника



К задаче 1.14

может меняться, что влияет на период колебаний (а значит, и на длительность отсчитываемых «секунд»).

А) Оцените, на сколько меняется длина простого стального маятника при обычных условиях содержания часов в помещении.

Б) Для минимизации теплового расширения маятник в часах Шорта был сделан из инвара, имеющего маленький коэффициент теплового расширения. Оцените, на сколько меняется длина маятника из инвара при обычных условиях содержания часов в помещении.

В) Остаточный эффект от температурного расширения компенсировался до нуля при помощи специальной металлической вставки под отвесом. Оцените (про себя) уровень и сложность инженерных задач, решаемых для изготовления часов!