

и теплота плавления льда равны соответственно  $c=2,9$  кДж/(кг·К) и  $\lambda=334$  кДж/кг. Удельная теплота парообразования воды при  $100^\circ\text{C}$   $r=2,26$  МДж/кг. Решите задачу при условии, что массы льдинок равны  $m_1$  и  $m_2$ .

7.32. Горизонтально летящая пуля массой  $m$  попадает в деревянный шар, лежащий на полу, и пробивает его. Определите, какая часть энергии перешла в энергию деформации, если начальная скорость пули  $\bar{v}_1$ , скорость после вылета из шара  $\bar{v}_2$ , масса  $M$ . Трение между шаром и полом отсутствует, траектория пули проходит через центр шара.

7.33. Из винтовки произведен выстрел вертикально вверх. Свинцовая пуля массой 10 г вылетает со скоростью 300 м/с и на высоте 500 м попадает в такую же пулю, летящую горизонтально со скоростью 284 м/с. На сколько нагреются пули после абсолютно неупругого удара и какова будет их суммарная кинетическая энергия, если в момент удара их температура была одинаковой? Сопротивлением воздуха пренебречь.

7.34. На идеально гладкой горизонтальной поверхности лежит доска массой  $M_1$ , на которой находится брусок массой  $M_2$ . В брусок попадает пуля массой  $m$ , летящая горизонтально со скоростью  $\bar{v}$ , и застревает в нем. Вследствие удара брусок проходит по доске некоторое расстояние и затем под влиянием сил трения перестает двигаться относительно доски. Определите потери механической энергии вследствие трения между бруском и доской.

## Глава 8

### ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТЕЛ

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

1. Для большинства тел вблизи  $0^\circ\text{C}$  существует температурный интервал, в пределах которого любой линейный размер тел изменяется по закону

$$l = l_0(1 + \alpha t), \quad (8.1)$$

где  $l$  — длина или какой-либо линейный размер тела при температуре  $t$ ;  $l_0$  — при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения тела.

2. Если линейные размеры тела изменяются по закону (8.1), то для каждого сечения тела справедлива формула

$$S = S_0(1 + \alpha' t), \quad (8.2)$$

где  $S$  — площадь данного сечения при температуре  $t$ ;  $S_0$  — при  $0^\circ\text{C}$ , а  $\alpha'$  — коэффициент, характеризующий увеличение площади. При небольших температурах с достаточной степенью точности можно считать, что  $\alpha' \approx 2\alpha$ .

3. При увеличении линейных размеров по закону (8.1) объем тела меняется вследствие нагревания по закону

$$V = V_0(1 + \beta t), \quad (8.3)$$

где  $\beta$  — температурный коэффициент объемного расширения. При небольших температурах  $\beta \approx 3\alpha$ .

4. В случае теплового расширения тел их плотность изменяется по закону

$$\rho = \rho_0 / (1 + \beta t), \quad (8.4)$$

где  $\rho$  — плотность материала тела при температуре  $t$ ;  $\rho_0$  — плотность при  $0^\circ\text{C}$ .

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ. ПРИМЕРЫ

1. Решение задач о тепловом расширении тел основано на применении одной из формул (8.1) — (8.4). Если в задаче рассматривается несколько состояний тела или несколько тел, эти формулы записываются для каждого случая, для каждого тела отдельно. Все вместе они образуют полную систему уравнений, решение которых позволяет найти искомую величину. В комбинированных задачах формулы теплового расширения являются лишь частью системы уравнений, описывающих данное явление; вторую часть, как правило, составляют формулы калориметрии и гидростатики. При составлении уравнений теплового расширения тел особое внимание нужно обратить на следующее.

а) В формулах (8.1) — (8.4) под  $l_0$ ,  $S_0$  и  $V_0$  подразумевают значения длины, площади и объема при  $0^\circ\text{C}$ , а не при начальной температуре тела, отличной от нуля; это связано с тем, что табличные коэффициенты линейного и объемного расширения определяются как относительное изменение единицы длины или объема тела, взятого при  $0^\circ\text{C}$ , при нагревании на  $1^\circ\text{C}$ . Если за начальную температуру принять не  $0^\circ\text{C}$ , а произвольную температуру, относительное удлинение, рассчитанное на  $1^\circ\text{C}$ , — температурный коэффициент линейного расширения (а также и температурный коэффициент объемного расширения) — в каждом случае будет разным и не таким, как при  $0^\circ\text{C}$ .

Чтобы найти связь между длинами (площадями, объемами) при температурах  $t_1$  и  $t_2$ , нужно из уравнений

$$l_1 = l_0(1 + \alpha t_1) \quad \text{и} \quad l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$$

исключить  $l_0$ . В результате получим:

$$l_2 = l_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1},$$

или приближенно:

$$l_2 \approx l_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] = l_1(1 + \alpha\Delta t), \quad (8.5)$$