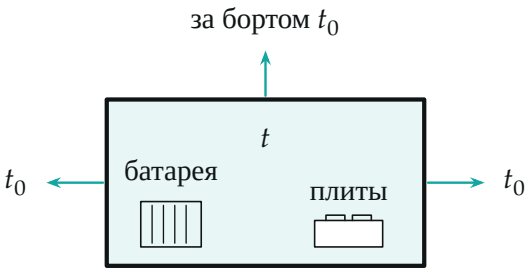
Камбуз ледокола

Задача 5. [ИОШ 2024/25, отборочный этап, 9 класс, задача 5] На камбузе (кухне) ледокола, совершающего проход по льдам Северного Ледовитого океана, кок (повар) готовит обед для команды. Работают батареи отопления. В результате в камбузе установилась температура $t = 16\,^\circ\text{C}$. Когда кок включил ещё одну плиту для приготовления обеда вахтенным (дежурным), тепловая мощность которой составляет одну четверть от мощности уже работающих источников тепла, в камбузе установилась температура $t_1 = 19\,^\circ\text{C}$. Какова температура воздуха за бортом ледокола?

Указание. Отдача тепла от горячего тела холодному пропорциональна разности температур между телами (закон Ньютона–Рихмана).



Поясняющий рисунок. Батареи и плиты греют камбуз, через стены тепло уходит наружу (бирюзовые стрелки).

▲ **Решение.** **Что происходит.** Задача на установившийся тепловой режим. Пока источники греют сильнее, чем стены отдают наружу, температура в камбузе растёт; вместе с ней растёт отдача тепла $\propto (t - t_0)$, и рост прекращается, когда отдача сравняется с мощностью источников (рис. 1). Главная идея — записать это равенство для двух режимов и поделить: неизвестный коэффициент теплоотдачи стен сократится.

Обозначения. P — суммарная мощность источников до включения плиты (батареи и уже работающие плиты); $\frac{1}{4}P$ — мощность новой плиты; t_0 — температура за бортом; k — коэффициент теплоотдачи камбуза наружу (Вт/град), по закону Ньютона–Рихмана отдаваемая мощность равна $k(t - t_0)$.

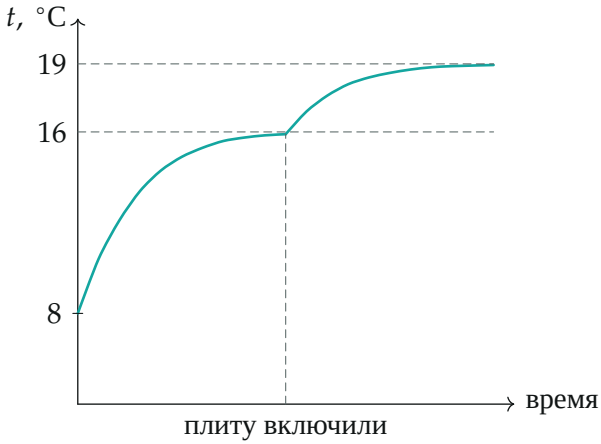


Рис. 1. Качественно: температура выходит на постоянное значение, при котором отдача тепла наружу равна мощности источников. Задача говорит только об установившихся значениях 16 *и* 19 °*C.*

1. Баланс до включения плиты. В установившемся режиме температура не меняется, значит, вся теплота от источников уходит наружу. Уравнение теплового баланса камбуза за единицу времени:

$$P = k\,(t - t_0).$$

2. Баланс после включения плиты. Мощность источников стала $P + \frac{1}{4}P = \frac{5}{4}P$, стены и обшивка те же, поэтому коэффициент k тот же:

$$\frac{5}{4}P = k\,(t_1 - t_0).$$

Балансы обоих режимов — на рис. 2: приход тепла слева, уход справа.

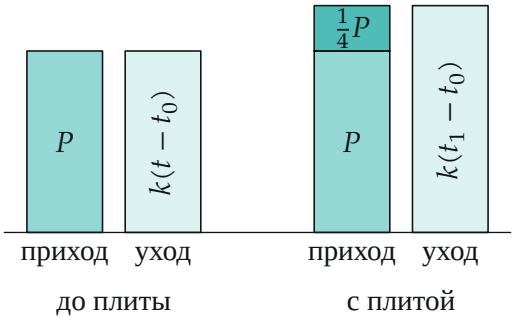


Рис. 2. В установившемся режиме приход тепла (тёмные столбики) равен уходу через стены (светлые).

3. Деление уравнений. Неизвестные P и k уходят делением второго уравнения на первое:

$$\frac{5}{4}=\frac{t_1-t_0}{t-t_0}\quad\Rightarrow\quad 5(t-t_0)=4(t_1-t_0)\quad\Rightarrow\quad t_0=5t-4t_1.$$

Числа: $t_0=5\cdot 16-4\cdot 19=80-76=4\,^\circ\text{C}$. Знак плюс: за бортом выше нуля.

4. Второй способ — график. Отдаваемая мощность $k(t-t_0)$ — прямая, проходящая через ноль при $t=t_0$ (рис. 3). Мощности источников P и $\frac{5}{4}P$ задают на ней две точки с абсциссами 16 и 19 °C. Подъём на $\frac{1}{4}P$ занимает 3 °C, значит, весь уровень P — это $4\cdot 3=12\,^\circ\text{C}$ над t_0: $t_0=16-12=4\,^\circ\text{C}$.

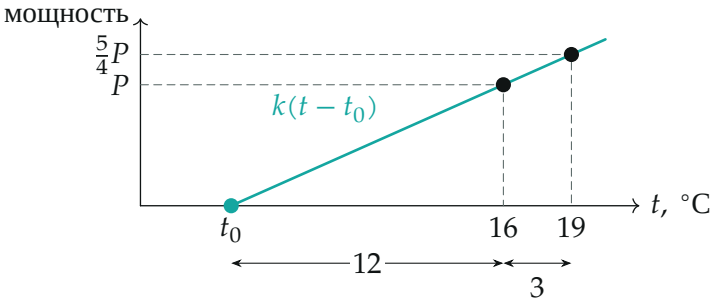


Рис. 3. Бирюзовая прямая — мощность, уходящая через стены. Установившаяся температура — там, где она равна мощности источников. Четверть

P — это $3\,^\circ C$, вся P — $12\,^\circ C$.

Обратите внимание. Мощность новой плиты — четверть от *всех* уже работавших источников, включая батареи. Поэтому в балансе стоит $\frac{5}{4}P$, а не «P плюс что-то неизвестное». И коэффициент k один и тот же в обоих режимах — он зависит от стен, а не от температуры; без этого деление уравнений ничего бы не дало.

Ответ. $\boxed{t_0 = 5t - 4t_1 = 4\,^\circ\text{C}}$

Проверка. Размерность: разность температур в градусах — верно. Подстановка: $t - t_0 = 12$, $t_1 - t_0 = 15$, отношение $15/12 = \frac{5}{4}$ — как отношение мощностей. Общий вид: для новой плиты с долей η от прежней мощности перегрев равен $t - t_0 = \dfrac{t_1 - t}{\eta}$; при $\eta = \frac{1}{4}$ это $12\,^\circ$C. Чем меньше доля новой плиты при том же скачке температуры, тем больше перегрев и тем холоднее снаружи — физически разумно.

Смысл: при постоянных стенах установившийся перегрев $t - t_0$ пропорционален мощности источников.

Ответ. $t_0 = 5t - 4t_1 = 4\,^\circ$C.