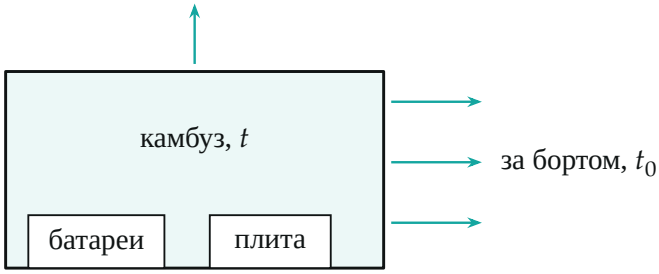
Камбуз ледокола

Задача 5. [ИОШ 2024/25, отборочный этап, 10 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 $t = 16°\text{C}$. 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 $t_1 = 19°\text{C}$. Какова температура воздуха за бортом ледокола?

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



Поясняющий рисунок. Источники греют камбуз, через стены тепло уходит наружу (бирюзовые стрелки); температура перестаёт меняться, когда уход тепла равен мощности источников.

▲ **Решение. Что происходит.** Задача на стационарный тепловой баланс. Установившаяся температура значит: сколько теплоты источники дают за секунду, столько же уходит через стены наружу. По закону Ньютона–Рихмана уход тепла пропорционален разности температур внутри и снаружи с одним и тем же коэффициентом (он зависит от стен, а не от температур). Два установившихся режима — два уравнения, коэффициент сокращается, остаётся одна неизвестная — t_0.

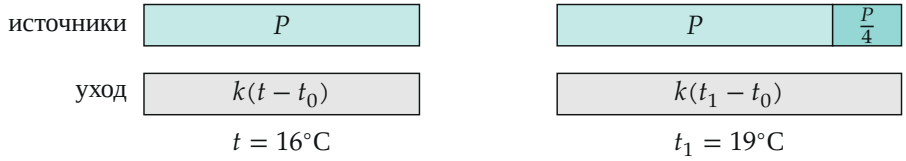
Обозначения. P — мощность источников, работавших сначала (батареи и плиты); $\frac{1}{4}P$ — мощность добавленной плиты; k — коэффициент теплоотдачи камбуза; t_0 — температура за бортом.

1. Баланс в первом режиме. Мощность ухода тепла по закону Ньютона–Рихмана $k(t - t_0)$; в установившемся режиме она равна мощности источников:

$$P = k\,(t - t_0). \tag{1}$$

2. Баланс во втором режиме. Источники дают $P + \frac{1}{4}P = \frac{5}{4}P$, уход тепла $k(t_1 - t_0)$ с тем же k:

$$\frac{5}{4}P = k\,(t_1 - t_0). \tag{2}$$



Два установившихся режима: длина полосы — мощность. Добавили четверть мощности — уход тепла тоже вырос на четверть, а для этого разность температур с улицей должна вырасти на четверть.

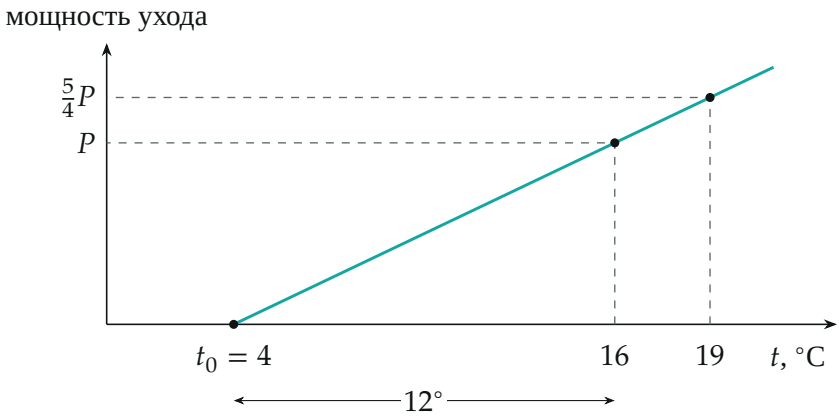
3. Исключаем k и P. Делим (1) на (2):

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

Числа:

$$t_0 = 5 \cdot 16°\text{C} - 4 \cdot 19°\text{C} = 80°\text{C} - 76°\text{C} = 4°\text{C}.$$

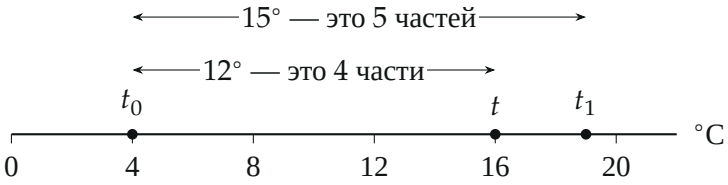
4. Второй способ — график. Мощность ухода тепла $k(t - t_0)$ — прямая в зависимости от температуры камбуза, она обращается в ноль при $t = t_0$. Через точки $(16;\, P)$ и $(19;\, \frac{5}{4}P)$ проводим прямую: повышение на 3° добавило $\frac{1}{4}P$, значит, на P нужно 12°. До нуля прямая опустится на 12° ниже 16°C, то есть в точке 4°C.



Уход тепла $k(t - t_0)$ — прямая, проходящая через ноль при $t = t_0$. По двум точкам режимов она продолжается до пересечения с осью температур в $4°C$.

Обратите внимание. В отношении $\frac{5}{4}$ стоит вся мощность источников, а не только мощность новой плиты: плита добавляет четверть от уже работавших, и уход тепла во втором режиме равен $P + \frac{1}{4}P$. Ошибочное «$\frac{1}{4}P = k(t_1 - t_0)$» даёт t_0 выше температуры камбуза — бессмыслица.

Проверка. Размерность: $t_0 = 5t - 4t_1$ — градусы (коэффициенты $5 - 4 = 1$). Подстановка: $t - t_0 = 12°$, $t_1 - t_0 = 15°$, отношение $12/15 = 4/5$ — верно. Смысл: $+4°C$ за бортом — холодная полярная вода и лёд около нуля, правдоподобно.



Шкала температур: разности с улицей $12°$ и $15°$ относятся как $4 : 5$, как мощности источников. Одна часть — $3°$, это и есть шаг от $16°C$ до $19°C$.

Ответ. $t_0 = 5t - 4t_1 = 4°C$.