



*Что может дать один человек другому, кроме капли тепла?  
И что может быть больше этого?  
Эрих Мария Ремарк*

## Опыты в Шестерочке

### Часть 1. Термическое сопротивление

В этой задаче речь пойдет про Пашу Шишкина и его опыты в шестерочке.

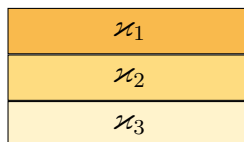
Рассмотрим узкий слой вещества толщиной  $\Delta x$  и площадью  $S$  такой, что с одной стороны он нагрет до температуры  $T_1$ , а с другой – до температуры  $T_2$ . Мощность, равная количеству теплоты, которое передается за небольшой интервал времени  $\Delta t$  от одной поверхности другой, равна:

$$P = \frac{\kappa}{\Delta x} S (T_2 - T_1),$$

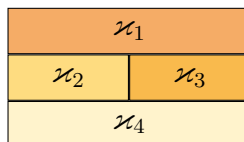
где  $\kappa$  – **коэффициент теплопроводности**. Разность температур называют **температурным напором**, а величину  $\Delta x / \kappa S$  – **термическим сопротивлением**.

В первой части задачи нам надо найти различные параметры деталей, которые сделал Паша Шишкин.

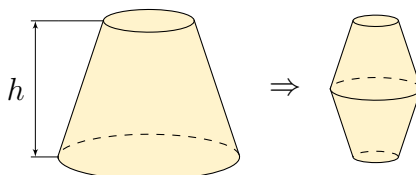
1. (0,5 балла) Три слоя одинаковой толщины  $b$  и площадью основания  $S$  лежат друг на друге так, как показано на рисунке. Коэффициенты теплопроводности слоев известны и равны  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  и  $\kappa_3$ . Найдите общее термическое сопротивление такой системы.



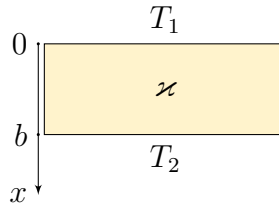
2. (0,5 балла) Две пары слоев площадью  $S$  и  $S/2$  соответственно соединили так, как показано на рисунке. У всех слоев одинаковая толщина  $b$ . Найдите, чему равно термическое сопротивление такой системы, если коэффициенты теплопроводности  $\kappa_i$  этих слоев известны.



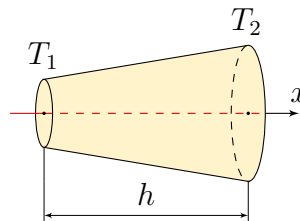
3. (1 балл) Деталь из чугуна в форме правильного усеченного конуса высоты  $h$  имеет термическое сопротивление теплопередачи  $R_0$ . Деталь заменяют двумя подобными усеченными конусами размерами в два раза меньше, соединенными одинаковыми основаниями друг с другом так, как показано на рисунке. Помогите найти Паше Шишкину значение термического сопротивления такой системы.



4. (1 балл) Одна поверхность плоского чугуна толщиной 10 мм имеет температуру  $T_1 = 50^\circ\text{C}$ , а другая  $T_2 = 40^\circ\text{C}$ . Считая, что температуры поверхностей поддерживаются постоянными, найдите распределение температуры внутри слоя чугуна.



5. (1 балл) Деталь из чугуна с известным коэффициентом теплопроводности  $\kappa$  имеет форму усеченного конуса с известными радиусами оснований  $R_1$  и  $R_2$  и высотой  $h$ . Основания поддерживаются при постоянной температуре  $T_1$  и  $T_2$ . Найдите зависимость  $T(x)$ . считайте что температура во всем сечении с постоянным  $x$  одинакова.



**Примечание.** Вам и Паше может помочь тот факт, что для силы гравитационного взаимодействия двух точечных тел массами  $m_1$  и  $m_2$ , можно ввести потенциальную энергию их взаимодействия, определяемую соотношением  $U = -G(m_1 m_2)/r_{12}$ , где  $r_{12}$  – расстояние между телами.

## Часть 2. Поток жидкости и/или газов

Паша решил собрать разные виды охлаждающих (или нагревательных) систем вида слой жидкости – стенка – слой жидкости. В этой части задачи нас будут интересовать свойства таких систем.

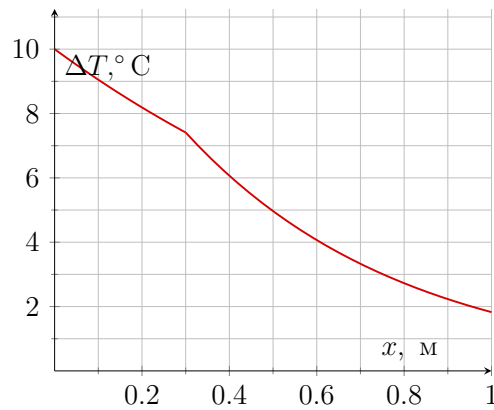
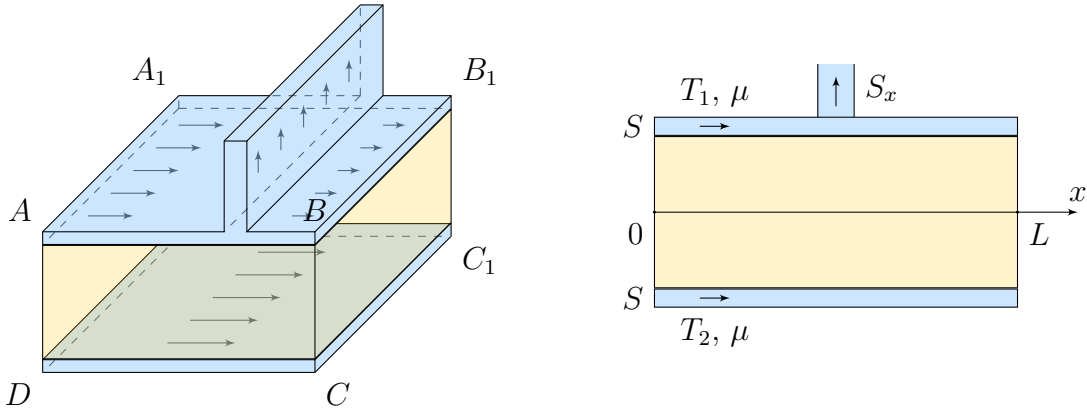
6. Слой чугуна, поверхность которого имеет форму квадрата со стороной  $L$ , омывается с двух сторон одинаковыми жидкостями так, что они текут в одну сторону по трубкам с одинаковой площадью сечения. Массовый расход жидкости на входе в систему в каждой трубке одинаковый. Во всех трубках скорости одинаковы.

Температуры жидкостей на входе в систему равны  $T_1$  и  $T_2 < T_1$ . Считайте, что температура жидкости в вертикальном сечении отдельной трубки постоянна, а основной поток тепла направлен в плоскости рисунка перпендикулярно оси  $x$ . Поток тепла в других направлениях можно пренебречь.

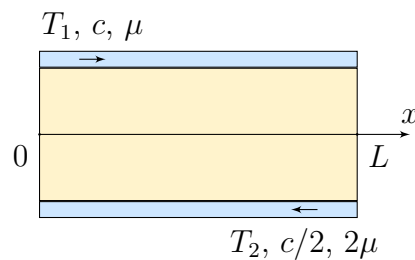
С одной стороны от чугунной стенки жидкость отводится по трубке с неизвестной площадью сечения. Скорость движения жидкости во всех трубках одинаковая. Зависимость разности температур жидкостей от координаты  $x$  представлена на рисунке. Найдите:

- (а) (1 балл) Где располагается трубка, по которой отводят жидкость.

- (b) (2 балла) Отношение площади сечения трубки, по которой отводится жидкость, к площади сечения трубки, прилегающей к чугуну.



7. (3 балла) Слой чугуна, поверхность которого имеет форму квадрата со стороной  $L$ , омывается с двух сторон одинаковыми жидкостями так, что они текут навстречу друг другу. Расстояние между плоскостями, которые омываются водой, равно  $b$ . Температуры жидкостей на входе в систему равны  $T_1$  и  $T_2 < T_1$ . Температуру жидкости в вертикальном сечении трубки считайте постоянной, а основной поток тепла направлен в плоскости рисунка перпендикулярно оси  $x$ . Поток тепла в других направлениях можно пренебречь. Массовый расход первой жидкости известен и в два раза меньше массового расхода второй, в то время как удельная теплоемкость первой жидкости в два раза больше. Считая, что коэффициент теплопроводности равен  $\kappa$ , найдите зависимость  $T(x)$  порции первой жидкости, которая поступает в систему за интервал времени  $\Delta t$ .



Первая подсказка — 09.05.2022 14:00 (МСК)

Вторая подсказка — 11.05.2022 14:00 (МСК)

Окончание четвертого тура — 13.05.2022 22:00 (МСК)