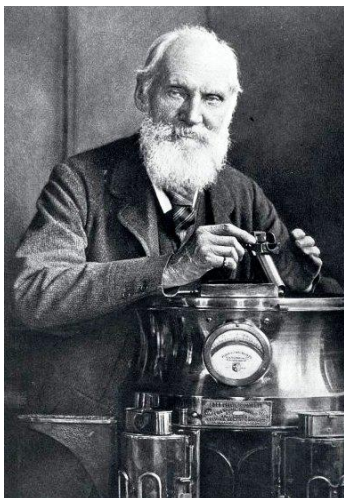


## Задание 1. Как Уильям Томсон стал лордом Кельвином

*Задание состоит из 4 логично связанных между собой задач.*



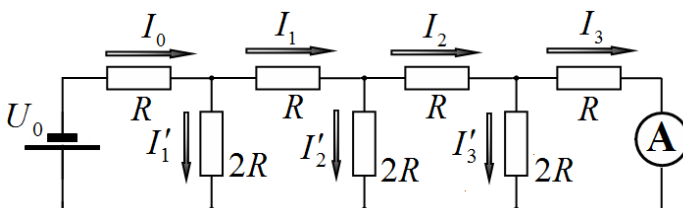
*Уильям Томсон (1824 – 1907) – британский физик и инженер, известен своими работами в области механики, термодинамики, электродинамики. За необыкновенные заслуги Томсона в науке 1866 году Томсон был посвящён в рыцарское достоинство. В 1892 году королева Виктория пожаловала Томсону наследственное пэрство. Вследствие этого известный уже как «лорд Кельвин» стал первым британским учёным, получившим право заседать в палате лордов. Одной из самых существенных заслуг Уильяма Томсона являлось разработка теории и усовершенствование трансатлантического кабеля.*

Данное задание касается изучения некоторых теоретических проблем, связанных с распространением электрического тока по длинному проводящему кабелю с неидеальной изоляцией.

Может и вам удастся получить дворянский титул?

### Задача 1.

На рисунке показана электрическая цепь, состоящая из источника постоянного напряжения  $U_0$  и семи резисторов, сопротивления которых указаны на рисунке. Сопротивление амперметра пренебрежимо мало.



**1.1** Рассчитайте значения сил токов через все резисторы, считая силу тока  $I_3$  через амперметр известной.

Используйте обозначения сил токов, приведенные на рисунке.

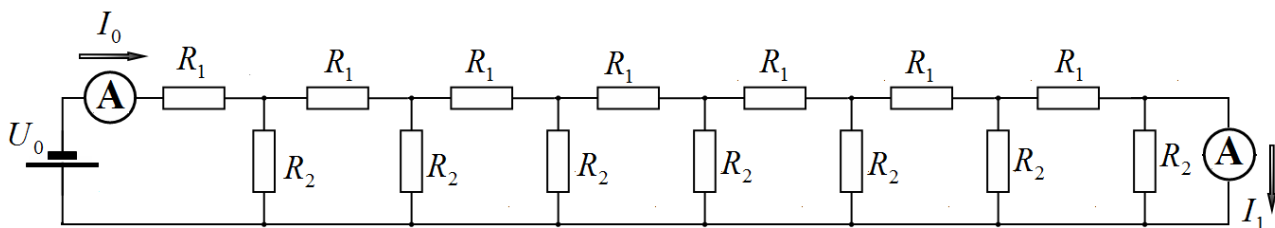
*Подсказка.* Расчет таких цепей удобно начинать с крайних элементов. Чтобы облегчить Ваши расчеты, в Листе ответов приведена Таблица 1. Заполнять эту таблицу следует слева направо и сверху вниз. Пунктиром выделены участки цепи, сопротивления которых обозначены  $R_{x3}, R_{x2}, R_{x1}, R_{x0}$  ( $R_{x0}$  - конечно, сопротивление всей цепи). Удобно каждое следующее из этих сопротивлений выражать через предыдущее.

Приведите в Таблице 1 формулы для расчета этих сопротивлений, рассчитайте их значения, выраженные через величину  $R$ . Все коэффициенты должны быть записаны в виде обыкновенных дробей. Запишите в соответствующих ячейках Таблицы 1 расчетные формулы для сил токов и их значения, выраженных через  $I_3$ .

**1.2** Выразите значения сил токов  $I_0$  и  $I_3$  через напряжение источника  $U_0$  и сопротивление  $R$ .

**1.3** Рассчитайте численные отношений сил токов  $\frac{I_1}{I_0}$  и  $\frac{I_2}{I_1}$ .

**Задача 2.**



В цепи, показанной на рисунке сопротивления  $R_1 = 1,0 \text{ Ом}$ , а сопротивления  $R_2 = 1,0 \text{ кОм}$ .  
Напряжение источника  $U_0 = 7,0 \text{ В}$ . Амперметры идеальные.

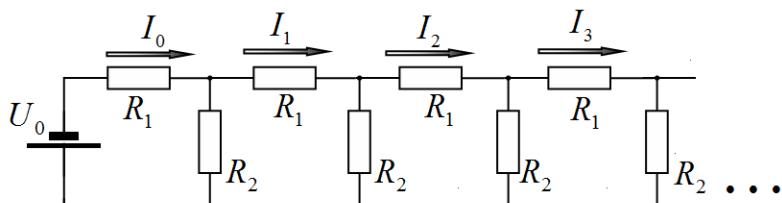
**2.1** Рассчитайте значения сил токов  $I_0$  и  $I_1$ .

**2.2** Рассчитайте разность сил токов  $\Delta I = (I_0 - I_1)$

*Подсказка.* Нет необходимости решать эту задачу абсолютно точно. Посмотрите внимательно на заданные значения сопротивлений и проведите расчет с необходимым числом значащих цифр.

**Задача 3.**

Бесконечная цепочка, состоящая из одинаковых звеньев, подключена к источнику постоянного напряжения  $U_0$ .



Пусть в бесконечной цепочке сопротивления резисторов равны  $R_1 = R_0$ ,  $R_2 = 2R_0$ .

**3.1** Найдите полное сопротивление цепи.

**3.2** Покажите, что силы токов  $I_0, I_1, I_2, \dots$  образуют геометрическую прогрессию. Найдите отношение сил токов  $\frac{I_1}{I_0}$ .

**3.3** Получите формулу, позволяющую рассчитать значения всех сил токов  $I_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) через заданные значения  $U_0$  и  $R_0$ .

*Подсказка.* Если от бесконечности отнять единицу, то получится та же бесконечность.

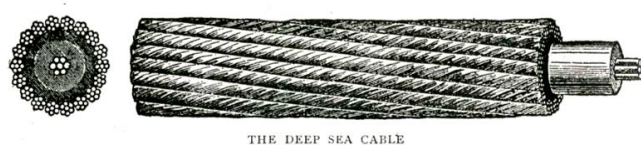
Пусть в бесконечной цепочке, показанной на рисунке, сопротивления  $R_2$  в несколько тысяч раз больше сопротивлений  $R_1$ , что позволяет делать разумные приближения при расчетах.

**3.4** Получите формулу для общего сопротивления всей цепочки, при условии  $R_2 \gg R_1$ .

**3.5** Получите формулу для расчета силы тока в произвольном звене  $I_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) через заданные значения  $U_0$ ,  $R_1$ ,  $R_2$

#### Задача 4

Телеграфный кабель, который изучал У. Томсон, имел достаточно сложную структуру (см. рисунок): медная жила, резиновая изоляция, бронева защита.



Для расчетов существенно:

- диаметр медной жилы  $d_0 = 20 \text{ мм}$  (удельное сопротивление меди  $\rho_1 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ );
- толщина слоя резиновой изоляции  $h = 10 \text{ мм}$  (удельное сопротивление резины считайте равным  $\rho_2 = 1,7 \cdot 10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ).
- длина кабеля  $L = 5000 \text{ км}$ .

Кабель проложен по дну Атлантического океана, поэтому можно считать, что внешний слой изоляции контактирует с хорошо проводящей электрический ток морской водой. Не смотря, на высокое удельное сопротивление изоляции электрический ток частично проходит через изоляционный слой и уходит в океанскую воду.

- 4.1** Рассчитайте электрическое сопротивление  $R_1$  десяти километров ( $\Delta l = 10 \text{ км}$ ) медной жилы кабеля. Рассчитайте полное сопротивление медной жилы кабеля.
- 4.2** Рассчитайте (приблизительно, но с хорошей точностью) электрическое сопротивление  $R_2$  десяти километров изоляции кабеля. Рассчитайте полное сопротивление изоляции. Учтите направление тока в изоляции.
- 4.3** Предложите приближенную эквивалентную электрическую схему подводного телеграфного кабеля, описывающую протекание электрических токов в кабеле.
- 4.4** Рассчитайте отношение силы тока на выходе из кабеля  $I_1$  к силе тока на его входе  $I_0$ .