

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ПО ФИЗИКЕ 2015–2016 уч. г.  
НУЛЕВОЙ ТУР, ЗАОЧНОЕ ЗАДАНИЕ. 11 КЛАСС

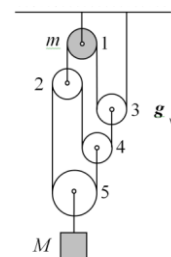
В прилагаемом файле приведено ноябрьское заочное задание для 11-го класса. Подготовьте несколько листов в клетку, на которых от руки напишите развёрнутые решения прилагаемых задач. Сфотографируйте страницы с Вашими решениями так, чтобы текст был чётко виден. Создайте архив фотографий с решениями и прикрепите к заданию. Развёрнутые решения задач оцениваются максимально в 30 баллов (по 6 баллов за полное правильное решение каждой задачи).

**ЗАДАЧИ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ**

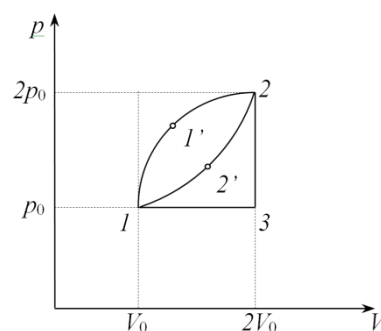
*Развёрнутое решение задачи включает в себя законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для её решения, а также математические преобразования, приводящие к решению в общем виде и расчёты с численным ответом и единицами измерения.*

**Задача 1.** Закреплённая пушка, установленная на горизонтальной поверхности земли, стреляет под углом  $\alpha$  к горизонту, причём снаряды вылетают из пушки с начальной скоростью  $v_0$ . После первого выстрела снаряд упал на расстоянии  $L$  от пушки. Вторым выстрел оказался неудачным, и на некоторой высоте снаряд разорвался на два осколка массами  $m$  и  $2m$ . Первый, легкий осколок, упал на землю на расстоянии  $\frac{L}{2}$  от пушки, а второй осколок в момент падения первого осколка находился строго над ним. Определите расстояние  $s$  между осколками к моменту падения на землю первого осколка. Получите ответ в общем виде и в частном случае:  $\alpha = 60^\circ$ ,  $v_0 = 80$  м/с,  $m = 5$  кг,  $g = 10 \frac{м}{с^2}$ .

**Задача 2.** Найдите величины и направления ускорений осей всех блоков, изображённых на рисунке. Массы бруска и верхнего блока равны соответственно  $M$  и  $m$ . Остальные блоки невесомы, нить также невесома и нерастяжима. Трение в осях блоков пренебрежимо мало. Нити по блокам не проскальзывают, не лежащие на блоках участки нитей вертикальны. В начальный момент система покоилась.



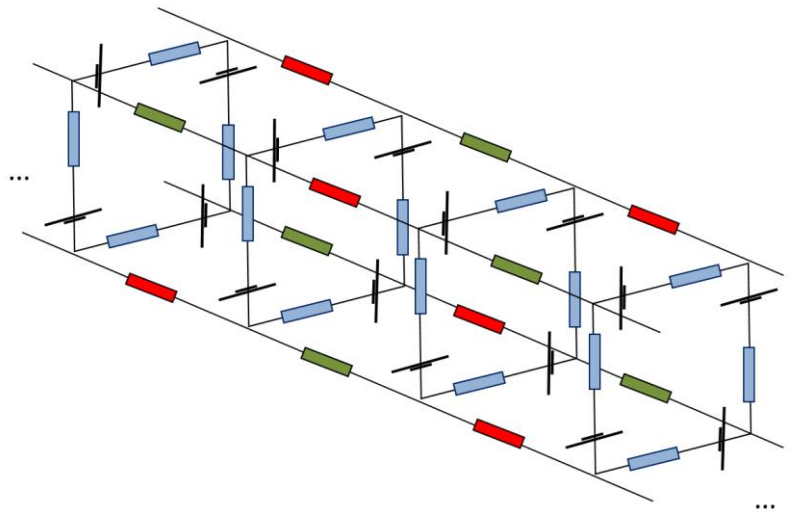
**Задача 3.** А) Определите КПД  $\eta$  циклического процесса  $11'231$ , который совершается с одноатомным идеальным газом.  $pV$ -диаграмма цикла изображена на рисунке. Кривая  $11'2$  на диаграмме – четверть дуги окружности (при соответствующем выборе масштабов). Объём газа в цикле меняется в диапазоне от  $V_0$  до  $2V_0$ , давление меняется в диапазоне от  $p_0$  до  $2p_0$ . Минимальная температура газа равна  $T_0 = 120$  К, а количество вещества составляет  $\nu = 1$  моль. Универсальная газовая



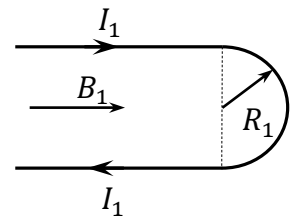
постоянная  $R = 8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ .

Б) Разделим данный цикл некоторой дугой  $I2'2$  так, как показано на рисунке. КПД цикла  $I2'231$  равен  $\eta_1$ . Определите КПД цикла  $I1'22'1$ .

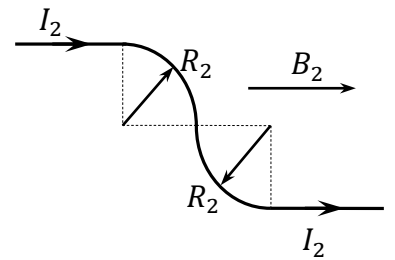
**Задача 4.** Имеется цепочка, которая состоит из 2015 проволочных кубов, содержащих одинаковые источники напряжения с внутренними сопротивлениями  $r$  и внешние нагрузки  $R_1$  (синие),  $R_2$  (красные) и  $R_3$  (зелёные), соединённых так, как показано на рисунке. При каком значении сопротивления  $R_1$  на внешних нагрузках будет выделяться максимальная суммарная мощность (значения  $R_2$  и  $R_3$  красных и зелёных резисторов известны)? Получите ответ в общем виде и в частном случае  $\varepsilon = 2 \text{ В}$ ,  $r = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ . Изобразите график зависимости мощности, выделяющейся на синем резисторе, от его сопротивления  $P_c(R_1)$ .



**Задача 5.** А) Проводник с током  $I_1$ , состоящий из двух параллельных участков, соединённых проволочной полуокружностью радиусом  $R_1$ , помещён в однородное магнитное поле индукцией  $B_1$ , направленное вдоль параллельных участков провода (см. рис.). Определите модуль силы, с которой магнитное поле действует на этот провод с током.



Б) Решите задачу в случае, когда провод состоит из двух параллельных участков, которые соединены двумя проволочными четвертями окружностей радиусом  $R_2 = 10 \text{ см}$ , как показано на рисунке. Ток в проводе  $I_2 = 30 \text{ А}$ , вектор индукции однородного магнитного поля  $B_2 = 1 \text{ Тл}$  направлен вдоль параллельных участков провода.



## ЗАДАНИЯ С КРАТКИМ ОТВЕТОМ

Ответы на задания из данного раздела вносить в таблицу типа

<i>№ задания</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Вариант ответа</i>									

### **Задание 1 (по условию задачи 1).**

Чему равна горизонтальная составляющая скорости первого осколка к моменту его падения? Ответ представьте в м/с и округлите до десятых. Единицы измерений указывать не нужно. Правильный ответ оценивается в 2 балла.

### **Задание 2 (по условию задачи 1).**

Чему равна горизонтальная составляющая скорости второго осколка после разрыва снаряда? Ответ представьте в м/с и округлите до десятых. Единицы измерений указывать не нужно. Правильный ответ оценивается в 2 балла.

### **Задание 3 (по условию задачи 2).**

В какую сторону вращается 3 блок? Правильный ответ оценивается в 2 балла.

- а) Не вращается;
- б) по часовой стрелке;
- в) против часовой стрелки.

### **Задание 4 (по условию задачи 2).**

В какую сторону вращается 4 блок? Правильный ответ оценивается в 2 балла.

- а) Не вращается;
- б) по часовой стрелке;
- в) против часовой стрелки.

### **Задание 5 (по условию задачи 3А).**

Чему равна работа, совершённая газом за цикл  $11'231$ ? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до сотых. Правильный ответ оценивается в 2 балла.

### **Задание 6 (по условию задачи 3А).**

Какое количество теплоты отдавал газ в процессе  $231$ ? Ответ представьте в килоджоулях и округлите до десятых. Правильный ответ оценивается в 2 балла.

**Задание 7 (по условию задачи 4).**

Чему равна суммарная мощность, выделяющаяся на нагрузках в одном квадратном контуре (в который входят 4 источника и 4 синих резистора)? Ответ выразите в ваттах и округлите до целого числа. Правильный ответ оценивается в 4 балла.

**Задание 8 (по условию задачи 5А).**

Куда направлена сила, с которой магнитное поле действует на провод с током? Правильный ответ оценивается в 2 балла.

- а) Вправо;
- б) влево;
- в) вверх;
- г) вниз;
- д) перпендикулярно плоскости рисунка от нас;
- е) перпендикулярно плоскости рисунка на нас.

**Задание 9 (по условию задачи 5Б).**

Чему равен модуль силы, с которой магнитное поле действует на провод с током? Ответ выразите в Ньютонах и округлите до целого числа. Правильный ответ оценивается в 2 балла.

Автор: Бычков А.И.

Заочное задание (ноябрь) состоит из пяти задач. За решение каждой задачи участник получает до 4 баллов по результатам автоматической проверки ответов и до 6 баллов на основании проверки развёрнутого ответа. Всего участник может получить до 50 баллов.

**Задача 1.** Закреплённая пушка, установленная на горизонтальной поверхности земли, стреляет под углом  $\alpha$  к горизонту, причём снаряды вылетают из пушки с начальной скоростью  $v_0$ . После первого выстрела снаряд упал на расстоянии  $L$  от пушки. Вторым выстрел оказался неудачным, и на некоторой высоте снаряд разорвался на два осколка массами  $m$  и  $2m$ . Первый, легкий осколок, упал на землю на расстоянии  $\frac{L}{2}$  от пушки, а второй осколок в момент падения первого осколка находился строго над ним. Определите расстояние  $s$  между осколками к моменту падения на землю первого осколка. Получите ответ в виде общих формул и в частном случае:  $\alpha = 60^\circ$ ,  $v_0 = 80$  м/с,  $m = 5$  кг,  $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

**Возможное решение.** Центр масс двух осколков "полетит" по той же параболической траектории, по которой двигался снаряд при первом выстреле: его ускорение по теореме о движении центра масс определяется суммой всех сил тяжести, приложенных к осколкам, и общей их массой, т. е. тем же уравнением, что и движение целого снаряда. Как только первый осколок ударится о землю к внешним силам – силам тяжести – добавится сила реакции земли, и движение центра масс исказится. Но в нашем случае необходимо найти расстояние  $s$  между двумя осколками к моменту падения первого осколка, когда второй находился строго над ним, а это означает, что осколки и центр масс будут лежать на одной вертикали. К этому моменту центр масс системы находится на расстоянии  $\frac{L}{2}$  от пушки и на высоте  $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = 240$  м. Значит, расстояние между двумя осколками к моменту падения первого осколка равно:  $s = \frac{3}{2}H = \frac{3}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = 360$  (м).

Так как второй осколок к моменту падения первого находился строго над ним, следовательно, горизонтальные составляющие скорости осколков после разрыва снаряда равны:  $v_0 \cos \alpha = 40$  м/с.

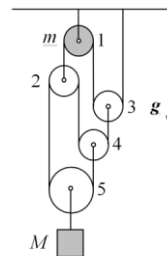
Ответ: в общем виде –  $s = \frac{3}{4} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$ ,  $v_{1x} = v_{2x} = v_0 \cos \alpha$ , в частном случае –  $s = 360$  (м),  $v_{1x} = v_{2x} = 40$  (м/с).

**Критерии оценок развёрнутого решения.** За полное решение задачи участник получает 6 баллов. За решение, доведённое до правильного ответа, но с недочётами в доказательстве участник получает 4 балла. Если участник не довёл решение до

правильного ответа, он может получить до 2 *утешительных баллов* по следующим основаниям: правильное использование формул для криволинейного равноускоренного движения в поле тяжести земли; правильное использование закона сохранения импульса.

**Критерии оценок (автоматическая проверка ответов).** За правильные ответы на вопросы о горизонтальной составляющей скорости осколков к моменту падения первого осколка участник получает по 2 *балла*.

**Задача 2.** Найдите величины и направления ускорений осей всех блоков, изображённых на рисунке. Массы бруска и верхнего блока равны соответственно  $M$  и  $m$ . Остальные блоки невесома, нить также невесома и нерастяжима. Трение в осях блоков пренебрежимо мало. Нити по блокам не проскальзывают, не лежащие на блоках участки нитей вертикальны. В начальный момент система покоилась.



**Возможное решение.** Поскольку блок 4 невесом, сила натяжения нижней нити (прикреплённой к оси блока 5) равна нулю, и  $a_5 = g$ . Из невесомасти блоков 2 и 3 следует равенство нулю силы натяжения также и верхней нити, перекинутой через блоки 1 и 3. Стало быть, массивный блок 1 вращаться не будет, и положения блоков 2 и 3 будут неизменными. Блок 3, очевидно, вращаться тоже не будет. Для определения ускорения оси блока 4 и направлений вращения блоков 2, 4 и 5, выразим длину  $l$  нити, перекинутой через блоки 2, 4 и 5, через координаты соответствующих блоков:

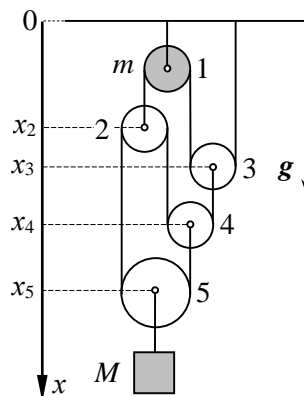
$$l = x_4 - x_3 + x_4 - x_2 + x_5 - x_2 + x_5 - x_4 + \delta = -2x_2 - x_3 + x_4 + 2x_5 + \delta,$$

где  $\delta$  — сумма длин полуокружностей блоков 2, 4 и 5, а  $x_2$  и  $x_3$  постоянны. Дважды дифференцируя это равенство по времени, получим:

$$\ddot{x}_4 + 2\ddot{x}_5 = 0,$$

откуда

$$\ddot{x}_4 = -2\ddot{x}_5 = -2g.$$

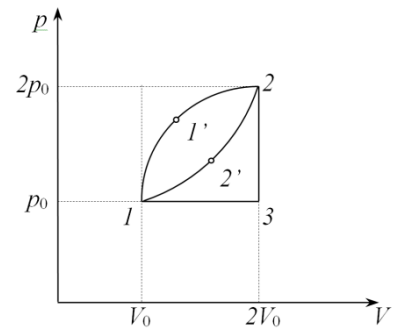


Ответ:  $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ ,  $a_5 = g$ ,  $a_4 = -2g$ ,  $\omega_1 = \omega_3 = 0$ ,  $\omega_4$  — вращаются по часовой,  $\omega_2$  и  $\omega_5$  — против.

**Критерии оценок развёрнутого решения.** За полное решение задачи участник получает 6 *баллов*. За доказательство равенств нулю натяжения нижней и верхней нити — 2 *балла* (по баллу за каждое равенство). За правильное использование 2 закона Ньютона для тел системы — 2 *балла*. За уравнение кинематической связи для ускорений — 2 *балла*.

**Критерии оценок (автоматическая проверка ответов).** За правильные ответы на вопросы о направлении вращения блоков участник получает по 2 *балла*.

**Задача 3.** А) Определите КПД  $\eta$  циклического процесса  $11'231$ , который совершается с одноатомным идеальным газом.  $pV$ -диаграмма цикла изображена на рисунке. Кривая  $11'2$  на диаграмме – четверть дуги окружности (при соответствующем выборе масштабов). Объём газа в цикле меняется в диапазоне от  $V_0$  до  $2V_0$ , давление меняется в диапазоне от  $p_0$  до  $2p_0$ . Минимальная температура газа равна  $T_0 = 120$  К, а количество вещества составляет  $\nu = 1$  моль. Универсальная газовая постоянная  $R = 8,3$  Дж/(моль·К).



Б) Разделим данный цикл некоторой дугой  $12'2$  так, как показано на рисунке. КПД цикла  $12'231$  равен  $\eta_1$ . Определите КПД цикла  $11'22'1$ .

**Возможное решение.** А) Площадь прямоугольника, в который вписан данный цикл, соответствует работе  $p_0V_0$  (при данном выборе масштабов этот прямоугольник выглядит как квадрат). Работа, которую совершил газ за цикл  $11'231$  во столько раз меньше  $p_0V_0$ , во сколько раз площадь четверти круга меньше площади квадрата. Поэтому:

$$A = p_0V_0 \left( \frac{\frac{1}{4}\pi R^2}{R^2} \right) = \frac{1}{4} \pi p_0V_0 = \frac{1}{4} \pi \nu RT_0 \cong 0,78 \text{ кДж.}$$

КПД цикла  $11'231$  посчитаем по формуле:  $\eta = \frac{A}{A+|Q_-|}$ . Газ отдавал теплоту в процессе  $231$ . По первому началу термодинамики:

$$|Q_-| = \frac{c_v}{R} (4p_0V_0 - 2p_0V_0) + \frac{c_p}{R} (2p_0V_0 - p_0V_0) = p_0V_0 \left( 2 \cdot \frac{3}{2} + \frac{5}{2} \right) = \frac{11}{2} p_0V_0 \cong 5,5 \text{ (кДж).}$$

Тогда:

$$\eta = \frac{A}{A+|Q_-|} = \frac{\frac{1}{4}\pi p_0V_0}{\frac{1}{4}\pi p_0V_0 + \frac{11}{2}p_0V_0} = \frac{\pi}{\pi+22} \cong 12,5\%.$$

Б) Из формулы для КПД следует:  $|Q_-| = Q_+(1 - \eta)$ .

Тогда для цикла  $11'22'1$ :  $|Q_{22'1}| = Q_{11'2}(1 - \eta_2)$ .

Для цикла  $12'231$ :  $|Q_{231}| = Q_{12'2}(1 - \eta_1)$ .

Для цикла  $11'231$ :  $|Q_{231}| = Q_{11'2}(1 - \eta)$ .

$$\text{Значит, } (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) = (1 - \eta) \Rightarrow \eta_2 = \frac{\eta - \eta_1}{1 - \eta_1} = \frac{\frac{\pi}{\pi+22} - \eta_1}{1 - \eta_1}.$$

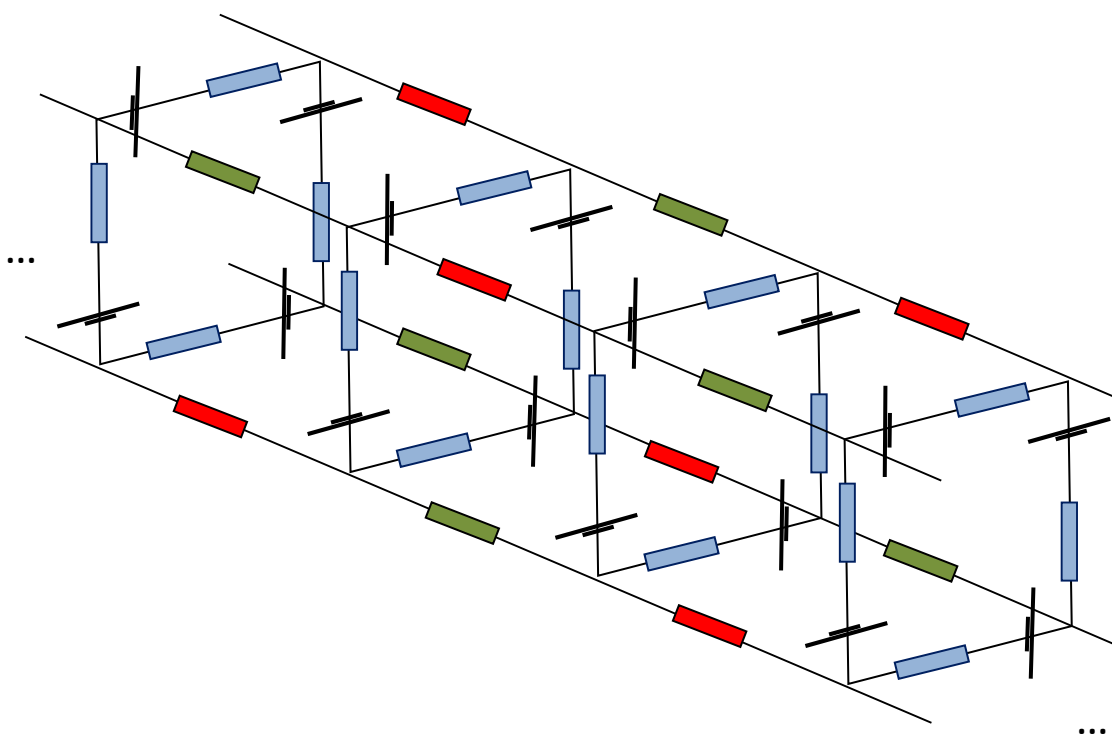
$$\text{Ответ: } \eta = \frac{\pi}{\pi+22}, A = \frac{1}{4} \pi p_0V_0, \eta_2 = \frac{\frac{\pi}{\pi+22} - \eta_1}{1 - \eta_1}.$$

**Критерии оценок развёрнутого решения.** За полное решение задачи участник получает 6 баллов. Посчитан КПД цикла ( $11'231$ ) – 3 балла. Найден КПД цикла ( $11'22'1$ ) – 3 балла. Если участник не довел решение до правильного ответа, он может получить до 2

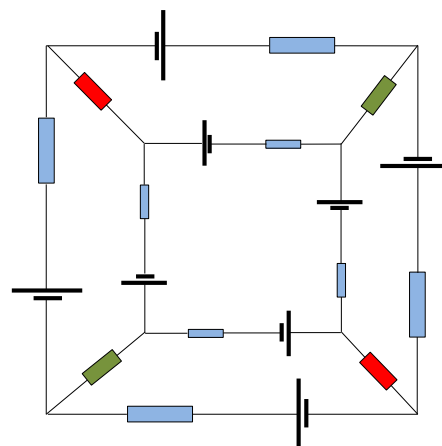
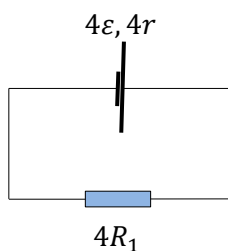
утешительных баллов по следующим основаниям: правильное использование формулы для КПД; правильное использование первого начала термодинамики и формул для работы, количества теплоты и внутренней энергии газа.

**Критерии оценок (автоматическая проверка ответов).** За правильные ответы на вопросы о работе за цикл и отданном количестве теплоты получает по 2 балла.

**Задача 4.** Имеется цепочка, которая состоит из 2015 проволочных кубов, содержащих одинаковые источники напряжения с внутренними сопротивлениями  $r$  и внешние нагрузки  $R_1$  (синие),  $R_2$  (красные) и  $R_3$  (зелёные), соединённых так, как показано на рисунке. При каком значении сопротивления  $R_1$  на внешних нагрузках будет выделяться максимальная суммарная мощность (значения  $R_2$  и  $R_3$  красных и зелёных резисторов известны)? Получите ответ в виде общей формулы и в частном случае  $\varepsilon = 2$  В,  $r = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом. Изобразите график зависимости мощности, выделяющейся на синем резисторе, от его сопротивления  $P_c(R_1)$ .



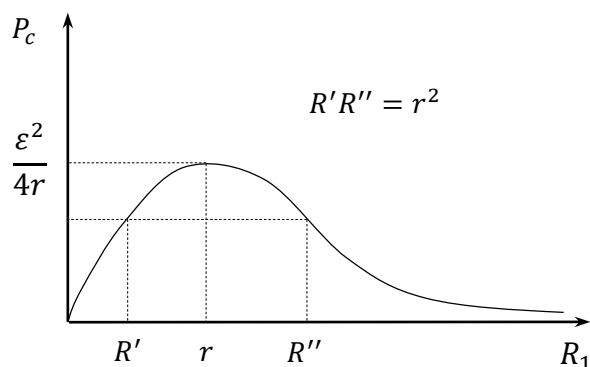
**Возможное решение.** Если рассмотреть два любых соседних контура (с источниками), которые соединены красными и зелёными нагрузками так, как показано на рисунке справа, то из симметрии следует, что по этим нагрузкам ток не течет. Следовательно, во всей цепочке ток через красные и зелёные нагрузки течь не будет. Значит,  $P_k = P_3 = 0$  Вт. Остается рассмотреть схему, изображённую на левом рисунке. На нагрузке  $4R_1$  выделяется мощность равная:





$$P_c = \left( \frac{\varepsilon}{r+R_1} \right)^2 R_1.$$

Если изучить функцию  $P_c(R_1)$ , то оказывается, что максимальное значение эта функция принимает при  $r = R_1 = 1$  Ом. При этом на одном синем резисторе будет выделяться мощность равная  $P_c = \frac{\varepsilon^2}{4R_1} = 1$  Вт. Качественно график  $P_c(R_1)$  выглядит следующим образом:

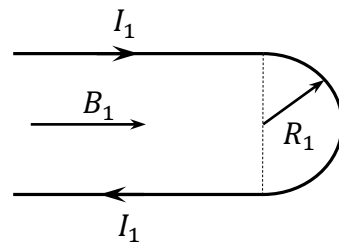


Ответ: в общем виде –  $r = R_1$ ,  $P_k = P_3 = 0$  Вт,  $P_c = \frac{\varepsilon^2}{4R_1}$ , в частном случае –  $r = 1$  Ом,  $P_c = \frac{\varepsilon^2}{4R_1} = 1$  Вт.

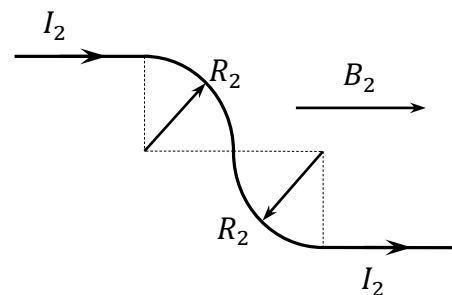
**Критерии оценок развёрнутого решения.** За полное решение задачи участник получает 6 баллов. За правильное обоснование того, что в бесконечной цепочке ток через красные и зелёные нагрузки течь не будет – 2 балла. Найдена зависимость  $P_c(R_1)$  – 1 балл. Приведён качественный график  $P_c(R_1)$  – 2 балла. Если обосновано, что максимальная суммарная мощность, которая выделяется на внешних нагрузках, достигается при равенстве  $R_1$  и  $r$ , тогда участник получает 1 балл.

**Критерии оценок (автоматическая проверка ответов).** За правильный ответ на вопрос о суммарной мощности, выделяющейся на нагрузках в одном квадратном контуре, получает 4 балла.

**Задача 5.** А) Проводник с током  $I_1$ , состоящий из двух параллельных участков, соединённых проволочной полуокружностью радиусом  $R_1$ , помещён в однородное магнитное поле индукцией  $B_1$ , направленное вдоль параллельных участков провода (см. рис.). Определите модуль силы, с которой магнитное поле действует на этот провод с током.



Б) Решите предыдущую задачу в случае, когда провод состоит из двух параллельных участков, которые соединены двумя проволочными четвертями окружностей радиусом  $R_2 = 10$  см, как показано на рисунке. Ток в проводе  $I_2 = 30$  А, вектор индукции однородного магнитного поля  $B_2 = 1$  Тл направлен вдоль параллельных участков провода.



**Возможное решение.** А) На провода, параллельные вектору индукции магнитного поля  $\mathbf{B}$ , не действует сила Ампера. Разобьем проволочную полуокружность на элементы тока. На каждый элемент тока действует сила Ампера равная:

$$F_i = I[\Delta l_i \times \mathbf{B}].$$

Сила, действующая на весь проводник, равна векторной сумме сил, действующих на элементы тока:

$$\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i = \sum_i I[\Delta l_i \times \mathbf{B}] = I \left[ \sum_i \Delta l_i \times \mathbf{B} \right] = I[\Delta \mathbf{l} \times \mathbf{B}],$$

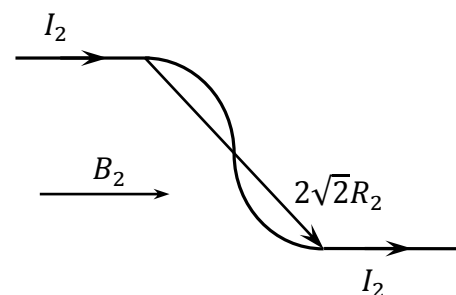
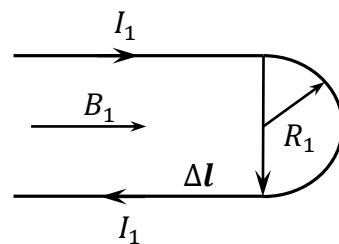
где  $\Delta \mathbf{l}$  – вектор, соединяющий начальную и конечную точки проволочной полуокружности. Окончательно получаем:

$$F_1 = I_1 \cdot 2R_1 \cdot B_1 \cdot \sin \frac{\pi}{2} = 2I_1 R_1 B_1.$$

Б) Аналогично предыдущему пункту получаем (см. рис.):

$$F_2 = I_2 \cdot 2\sqrt{2}R_2 \cdot B_2 \cdot \sin \frac{\pi}{4} = 30 \cdot 2\sqrt{2} \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 6 \text{ (Н)}.$$

Ответ: А)  $F_1 = 2I_1 R_1 B_1$ , Б)  $F_2 = I_2 \cdot 2\sqrt{2}R_2 \cdot B_2 \cdot \sin \frac{\pi}{4} = 6 \text{ (Н)}$ .



**Критерии оценок развёрнутого решения.** За полное решение задачи участник получает 6 баллов. За правильное обоснование того, что на провода, параллельные вектору индукции магнитного поля  $\mathbf{B}$ , не действует сила Ампера – 2 балла. Найдена сила в виде общей формулы в пункте А), с которой магнитное поле действует на провод с током – 2 балла. Найдена сила в виде общей формулы в пункте Б), с которой магнитное поле действует на провод с током – 2 балла.

**Критерии оценок (автоматическая проверка ответов).** За правильный ответ на вопрос о направлении силы, с которой магнитное поле действует на провод с током, в задаче 5А – 2 балла. За правильный численный ответ на вопрос о силе, с которой магнитное поле действует на провод с током, в задаче 5Б – 2 балла.