УТВЕРЖДАЮ
Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования
_____________________Р.С.Сидоренко
«___» декабря 2015 г.

Республиканская физическая олимпиада 2016 год.
(III этап)

Теоретический тур

<u>9 класс.</u>

1. Полный комплект состоит из трех заданий.

2. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!

3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.

4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.

Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!
Может вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Задание 1. Разминка.

Это задание состоит из 3 не связанных между собой задач.

Задача 1.1 «Низкотемпературный тепловой контакт»

Теплоемкости веществ могут зависеть от температуры. Так при температурах, близких к абсолютному нулю удельная теплоемкость металлов пропорциональна третьей степени абсолютной температуры

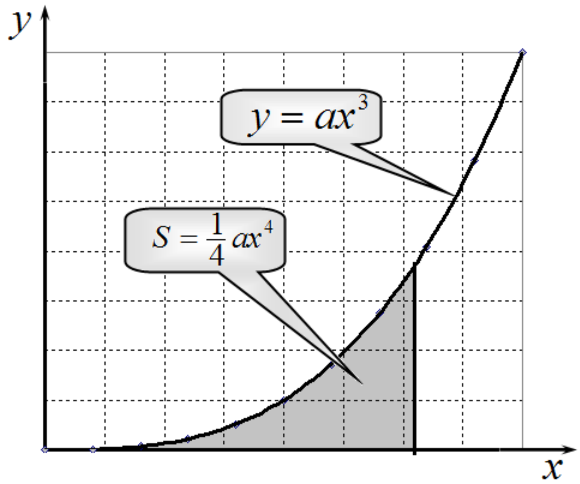
$$c = \alpha T^3. \qquad (1)$$

Два одинаковых металлических бруска, находящихся при низких температурах $T_1 = 1{,}0°K$ и $T_2 = 3{,}0°K$, приводят в тепловой контакт. Пренебрегая потерями теплоты в окружающую среду, найдите температуру брусков T_x после установления теплового равновесия.

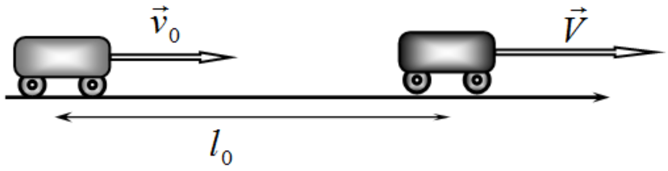
<u>Подсказки.</u>

1. Абсолютная шкала температур (шкала Кельвина) сдвинута «вниз» относительно шкалы Цельсия на $-273{,}15°$, а величина градуса Кельвина совпадает с величиной градуса Цельсия. (Для решения задачи это не существенно).

2. Если функция, определяется формулой $y = ax^3$, то площадь под графиком этой функции в интервале от 0 до некоторого значения x, рассчитывается по формуле $S = \dfrac{1}{4}ax^4$. (Эта формула может понадобиться при решении задачи).



Задача 1.2 «Локатор»



Милицейский автомобиль преследует нарушителя на длинной прямой дороге. Скорость милицейского автомобиля равна v_0, скорость автомобиля нарушителя равна V. Для измерения скорости автомобиля нарушителя на машине инспектора установлен локатор, который посылает короткие электромагнитные импульсы (сигналы) с фиксированным интервалом времени τ. Затем он регистрирует отраженные от машины нарушителя импульсы. Определите время τ' между приходами двух последовательных отраженных импульсов, регистрируемых локатором. Скорость распространения электромагнитных импульсов равна c и значительно больше скоростей автомобилей. Найдите зависимость времени между регистрируемыми импульсами τ' от скоростей автомобилей. Получите точную формулу, а затем упростите ее, считая, что $c >> V, v_0$.

Задача 1.3 «Ф – сопротивление»

Сидя дома, юный электротехник Федя, увлечённый Физикой, собрал электрическую схему из одинаковых резисторов R в виде заглавной буквы Ф (рис.1). Когда он подключил схему в точках A и B к источнику напряжения $U = 13\text{В}$, то тепловая мощность, выделяемая в цепи, при таком подключении оказалась равной $P_{AB} = 6{,}5\text{Вт}$.

1. Определите значение сопротивления R каждого из резисторов, которые использовал Федя.
2. Найдите мощность P_{CD} схемы при подключении того же источника напряжения между точками C и D цепи.
3. Подключим одновременно к клеммам $A - B$ и $C - D$ схемы Феди два одинаковых источника напряжения по $U = 13\text{В}$ каждый. Можно ли утверждать, что в этом случае тепловая мощность P_{AB+CD}, выделяемая в схеме, будет равна сумме мощностей P_{AB} и P_{CD} представленных ранее в условии задачи?

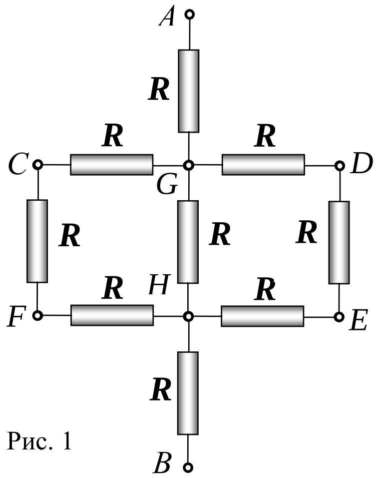


Рис. 1

Задание 2. Автомобили и светофоры.

В небольшом городе на некоторой улице светофоры установлены на одинаковых расстояниях $l = 1{,}0\,км$ друг от друга, причем один из них стоит на въезде в город, один – на выезде из него. Общее число светофоров равно 8. Все светофоры «открыты» (горит зеленый свет) в течении времени $\tau = 1{,}0\,мин$, а затем в течении такого же промежутка времени «закрыты» (горит красный свет). Временем горения желтого света можно пренебречь. Светофоры включаются попеременно, т.е. зеленый свет каждого следующего светофора включается, когда загорается красный у предыдущего. Считайте, что временами разгона и торможения автомобилей у светофоров можно пренебречь.

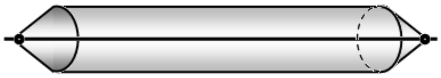
2.1 Нарисуйте диаграмму «координата-время» для светофоров и отметьте на ней промежутки времени, когда светофоры закрыты.

2.2 Автомобили могут двигаться по городу со скоростями, которые лежат в интервале от $v_{\min} = 40\dfrac{км}{час}$ до $v_{\max} = 80\dfrac{км}{час}$. Укажите диапазон скоростей, двигаясь с которыми, автомобиль может пересечь город без остановок на светофорах.

2.3 Автомобилист решил двигаться все время со скоростью $V = 120\dfrac{км}{час}$ (грубо нарушая правила дорожного движения). За какое время он пересечет город, не проезжая светофоры на красный свет?

2.4 Скорость велосипедиста не превышает $v_{\min} = 40\dfrac{км}{час}$. Оцените, с какой скоростью он должен ехать, чтобы проехать город без остановок на светофорах?

Задание 3. Бареттер.



В данной задаче вам предстоит рассмотреть модель *бареттера* — электронного устройства, используемого для стабилизации тока. Рассматриваемый бареттер представляет собой заполненный водородом стеклянный баллон, внутрь которого помещена тонкая железная проволока радиуса $r = 5{,}00 \cdot 10^{-5}$ м и длины $l = 2{,}00 \cdot 10^{-1}$ м. Водород обладает достаточной теплопроводностью, чтобы отводить теплоту, выделяющуюся при прохождении тока по проволоке, к стенкам баллона и затем в окружающую среду. Температура водорода у стенок баллона постоянна и равна $t_0 = 0°\text{C}$. Количество теплоты, которое предается с единицы площади поверхности проволоки в единицу времени, определяется законом Ньютона-Рихмана

$$q = \alpha(t - t_0), \tag{1}$$

где α — коэффициент теплоотдачи, t — температура поверхности проволоки, t_0 — температура стенок баллона, которая в нашем случае всегда равна нулю, поэтому можно использовать выражение$q = \alpha t$.

Удельное электрическое сопротивление металлов возрастает при увеличении температуры t по закону

$$\rho = \rho_0(1 + \gamma t), \tag{2}$$

где ρ_0 — удельное сопротивление металла при температуре $0°\text{C}$, γ — температурный коэффициент сопротивления.

Этот закон является приближенным, справедливым в небольшом диапазоне температур. В реальности удельное сопротивление зависит от температуры более сложным образом. В Частях 1 и 2 задачи используйте приближенный закон (2), в Части 3 используйте приведенный там график зависимости реальной зависимости.

Вам понадобятся следующие характеристики железа:

1) удельное сопротивление при $0°\text{C}$ – $\rho_0 = 8{,}57 \cdot 10^{-8}$ Ом · м;
2) температурный коэффициент сопротивления $\gamma = 6{,}06 \cdot 10^{-3}\,°\text{C}^{-1}$;
3) коэффициент теплоотдачи $\alpha = 50{,}0\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}$;
4) температура плавления $t_{\text{пл}} = 1538°\text{C}$.

При решении данной задачи рекомендуется выполнять промежуточные численные расчеты некоторых параметров и использовать их в дальнейшем.
В задаче рассматривается стационарный режим работы бареттера, после установления теплового равновесия, поэтому рассчитывать временные характеристики процессов не требуется!

Введение. Характеристики бареттера.

0.1. Рассчитайте значение сопротивления проволоки бареттера R_0 при температуре $0°\text{C}$. Запишите формулу зависимости сопротивления проволоки от температуры.

0.2. Покажите, что мощность теплоотдачи бареттера определяется формулой $P_{отд.} = At$, рассчитайте значение коэффициента A.

Часть 1. Вольтамперная характеристика идеального бареттера

1.1. Получите зависимость температуры проволоки t от силы тока I через неё. Постройте схематический график этой зависимости.

1.2. Постройте вольтамперную характеристику (график зависимости силы тока I через проволоку от приложенного к ней напряжения U) рассматриваемого бареттера.

Этот график постройте на выданном вам бланке №1.

Подсказка. *Выберите, какую зависимость легче анализировать:* $I(U)$ *или* $U(I)$.

1.3. Найдите силу тока через бареттер и температуру проволоки при $U \to \infty$.
1.4. Найдите максимальное напряжение $U_{\max}$, при котором может работать данный бареттер.
1.5. Покажите, что при малых напряжениях сила тока пропорциональна приложенному напряжению, определите коэффициент пропорциональности этой зависимости.

Часть 2. Вольтамперные характеристики цепей с бареттером.

2.1. Постройте вольтамперную характеристику цепи, состоящей из бареттера с подключенным к нему параллельно резистором с сопротивлением $R_1 = 10$ Ом.
2.2. Постройте вольтамперную характеристику цепи, состоящей из бареттера с подключенным к нему последовательно резистором с сопротивлением $R_1 = 10$ Ом.

Эти графики так же постройте на Бланке №1.

Часть 3. Реальный бареттер

Реальный бареттер, в отличие от рассмотренной в данной задаче модели, не может стабилизировать ток при сколь угодно большом напряжении. Это объясняется тем, что при достаточно больших температурах зависимость сопротивления от температуры перестаёт быть линейной. Реальная зависимость $\rho(t)$ для железа приведена на бланке №2 (пунктиром показана использованная ранее приближенная зависимость).

Для удобства на том же бланке приведена таблица зависимости удельного сопротивления железа от температуры. В этой таблице есть свободные столбцы, в которых Вы можете привести результаты необходимых расчетов.

3.1. Используя приведенную реальную зависимость $\rho(t)$, постройте вольт амперную характеристику реального бареттера.

Построение проведите на Бланке №3.

3.2. Укажите на графике (и запишите численные значения в тетради) напряжение стабилизации $\overline{U}_{ст}$, при котором изменение силы тока ΔI минимально при изменении напряжения ΔU.
3.3. Укажите диапазон напряжений $[U_{ст.\min}, U_{ст.\max}]$ в котором бареттер стабилизирует силу тока в цепи. Необходимо, что бы в этом диапазоне сила тока изменялась не более, чем на 2,5%.

Не забудьте сдать выданные Вам бланки!

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования
____________________Р.С.Сидоренко
«___» декабря 2015 г.

Республиканская физическая олимпиада 2016 год.

(III этап)

Теоретический тур

10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.

2. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!

3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.

4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.

Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!
Может вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Задание 1. Разминка.

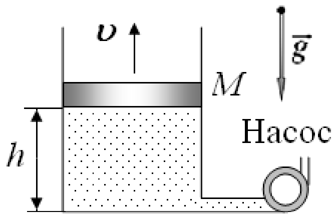
Это задание состоит из 3 не связанных между собой задач.

Задача 1.1 «Дутые аттракционы»

Детские надувные аттракционы (например, «Воздушный замок») представляют собой гибкие и эластичные сосуды «причудливых» форм и некоторого предельного объёма, в которые под давлением подаётся воздух. Для нормальной работы аттракциона давление воздуха в нем должно быть не очень большим (станет «твёрдым») и не очень маленьким (дети будут проваливаться). Электронасос обеспечивает подачу воздуха внутрь аттракциона в течение всего времени его работы. Атмосферное давление $p_0 = 1{,}0 \cdot 10^5\,\text{Па}$. Считайте, что газовые процессы являются изотермическими, молярная масса воздуха $M_B = 29\,\text{г/моль}$. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8\,\text{м/с}^2$. Молярная газовая постоянная $R = 8{,}31\,\text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

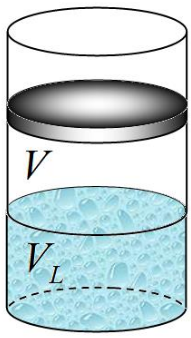
1.1.1 **«Время накачки»** Рассмотрим сравнительно небольшой аттракцион внутренний объём (вместимость) которого $V_1 = 1{,}0 \cdot 10^2\,\text{м}^3$, а рабочее давление воздуха внутри него $p_1 = 2{,}5 \cdot 10^5\,\text{Па}$. Летним солнечным днём при температуре $t = 27\,°\text{C}$ механик Федя за час до начала работы аттракциона решил развернуть его и накачать до рабочего давления при помощи небольшого (автомобильного) поршневого электронасоса, имеющего объём всасывающей камеры $V_2 = 1{,}0 \cdot 10^3\,\text{см}^3$. Поршень насоса делает $N = 10$ качаний (полных ходов) за секунду. Найдите массу m_B воздуха, необходимого для работы аттракциона. Успеет ли Федя к открытию аттракциона?

1.1.2 **«Скорость накачки»** В процессе медленной накачки надувной аттракцион медленно приподнимается и расправляется до необходимого размера. Будем считать, что в процессе накачки аттракцион можно представить в виде тонкостенного цилиндра площади поперечного сечения $S = 5{,}0\,\text{м}^2$, в котором может без трения перемещаться тяжелый горизонтальный поршень массы $M = 500\,\text{кг}$ (т.е. «Воздушный замок»). Найдите зависимость высоты h подъёма поршня от времени t накачки. Постройте график полученной зависимости $h(t)$. Найдите скорость υ движения поршня при работе насоса. Мощный насос имеет объём всасывающей камеры $V_3 = 1{,}0 \cdot 10^4\,\text{см}^3$. Поршень насоса делает $N = 10$ качаний (полных ходов) за секунду.



Задача 1.2 «Газировка»

В высоком цилиндрическом сосуде находится газированная вода – вода насыщенная углекислым газом. Сосуд закрыт подвижным поршнем. Когда поршень примыкает к поверхности жидкости давление в сосуде равно P_0.

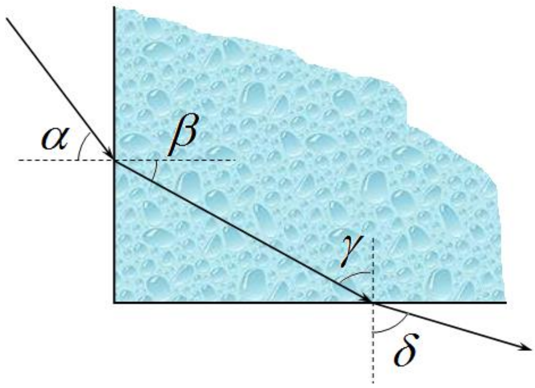


Известно, что объем, который бы занимал углекислый газ (будучи в газообразном состоянии), содержащийся в газировке при давлении P_0 равен V_0. Поршень начинают медленно приподнимать. Найдите зависимость давления газа в сосуде от его объема V. Объем жидкости в сосуде V_L считайте неизменным, температура также остается постоянной. Постройте точный

график (с оцифровкой осей) полученной зависимости (подберите для этого соответствующие относительные переменные).
Подсказка: *растворимость газа в жидкости пропорциональна внешнему давлению (закон Генри). Растворимость – количество газа (в молях), растворенного в единице объема насыщенного раствора.*

Задача 1.3 «Водяной куб»

На боковую грань водяного куба падает луч света под углом α к нормали (на рис. вид сверху). Угол преломления β является функцией от угла падения $\beta = f(\alpha)$, график которой показан на отдельном бланке. Затем это луч попадает на перпендикулярную грань куба под некоторым углом γ к нормали этой грани, и после преломления на ней выходит из куба под углом δ.

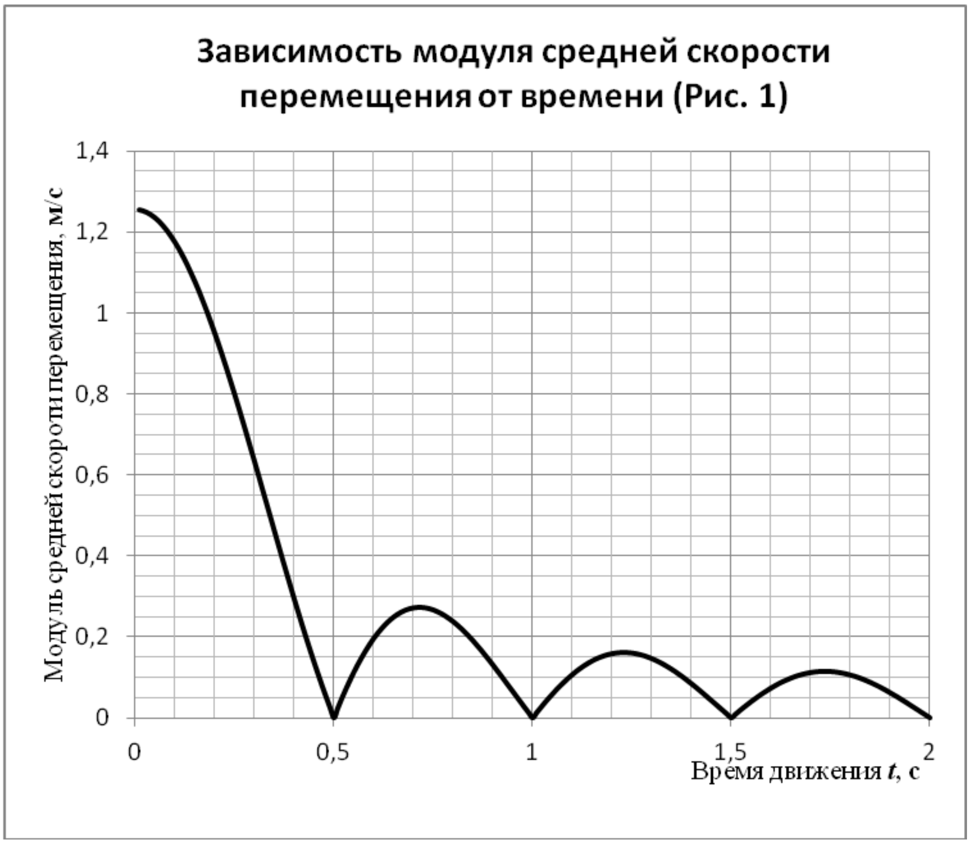


Ваша основная задача – разработать графический метод нахождения угла δ, используя график зависимости $\beta = f(\alpha)$. Для этого на выданном бланке вам необходимо провести дополнительные построения.
1.3.1 Отметьте на графике значение угла $\alpha = 80°$. Последовательно укажите на графике и запишите численные значения углов β, γ и δ.
1.3.2 Найдите значение угла δ при угле падения $\alpha = 62°$.
1.3.3 Укажите диапазон углов α, при котором луч выйдет через перпендикулярную грань.

Задание 2. Средние скорости.

На рисунках приведены графики зависимостей модулей средних скоростей перемещений точки на ободе колеса от времени движения для трех видов движений. Средняя скорость определяется для промежутков времени от начала отсчета времени до текущего его значения.

2.1. На рисунке 1 приведен график зависимости $\langle \upsilon_1(t) \rangle$ точки на ободе колеса в случае, когда колесо вращается вокруг закрепленной оси. Пользуясь графиком, определите:



2.1.1. Период T_1 вращения колеса;

2.1.2. Формулу зависимости $\langle \upsilon_1(t) \rangle$;

2.1.3. Радиус R колеса.

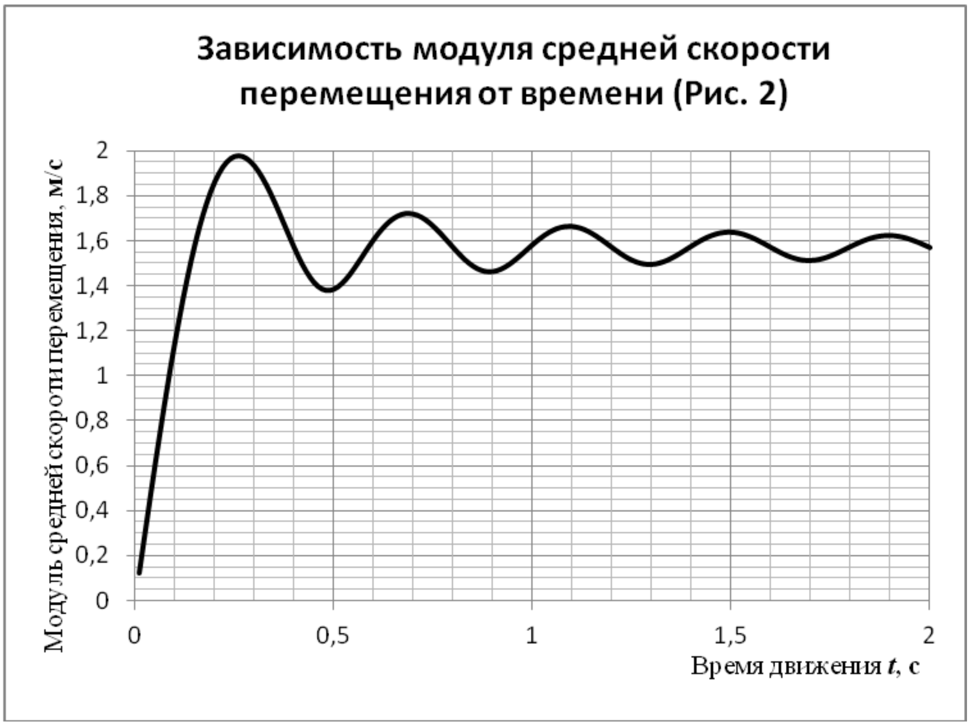
Подсказка из математики. Предельное значение отношения $\frac{\sin x}{x}$ при $x \to 0$ равно 1. В общепринятой записи: $\lim\limits_{x \to 0} \frac{\sin x}{x} = 1$.

2.2. На рисунке 2 приведен график зависимости $\langle \upsilon_2(t) \rangle$ точки на ободе колеса в случае, когда колесо катится равномерно по горизонтальной поверхности без проскальзывания. Радиус R колеса не изменился. Пользуясь графиком, определите:

2.2.1. Период T_2 вращения колеса;

2.2.2. Модуль скорости u поступательного движения колеса;

2.2.3. Формулу зависимости $\langle \upsilon_2(t) \rangle$.



2.3. На рисунке 3 приведен график зависимости $\langle \upsilon_3(t) \rangle$ точки на ободе колеса в случае, когда колесо катится равноускоренно по горизонтальной поверхности без проскальзывания из состояния покоя. Радиус R колеса не изменился. Пользуясь графиком, определите:

2.3.1. Модуль ускорения a поступательного движения колеса.

2.3.2. Формулу зависимости $\langle \upsilon_3(t) \rangle$.

Задание 3. Теплоёмкость процесса.

В задаче рассматриваются равновесные процессы, проходящие с одним молем идеального газа. Поэтому все характеристики состояния газа и происходящих процессов являются «молярными» - молярный объем, молярные теплоемкости и т.д.

Математическая подсказка. Если аргумент функции $y = ax^m$ изменяется на малую величину Δx, то изменение функции равно $\Delta y = amx^{m-1}\Delta x$, при любом показателе степени.

Часть 1. Политропические процессы.

Теплоемкость является характеристикой процесса. Процессы, в ходе которых теплоемкость остается постоянной, называются **политропическими**. В общем случае уравнение политропического процесса имеет вид

$$PV^n = const, \qquad (1)$$

где n - постоянное число (не обязательно целое), называемое **показателем политропы.**

3.1.1 Покажите, что теплоемкость идеального газа в произвольном процессе определяется уравнением

$$C = C_V + P\frac{\Delta V}{\Delta T}, \qquad (2)$$

где C_V - теплоемкость газа при изохорном процессе, ΔV изменение объема газа в рассматриваемом процессе при малом изменении температуры ΔT.

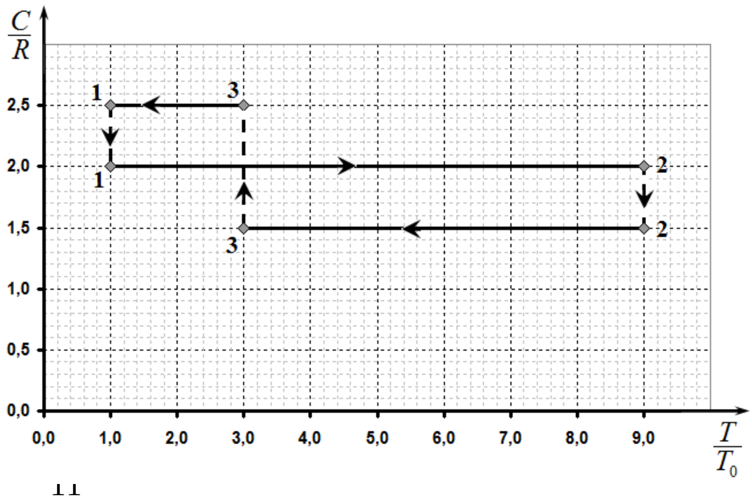
3.1.2 Покажите, что в процессах, описываемых уравнением (1) теплоемкость остается постоянной. Найдите теплоемкость одного моля идеального одноатомного газа в политропическом процессе (1), т.е. установите связь между молярной теплоемкостью C и показателем политропы n.

3.1.3 Укажите значения молярной теплоемкости C и соответствующего ей показателя n в известных процессах. Результаты представьте в следующей таблице.

№	Процесс	Молярная теплоемкость C	Показатель n
1	Изобарный		
2	Изотермический		
3	Изохорный		
4	Адиабатный		

Часть 2. «Разорванный» цикл.

Один моль идеального одноатомного газа совершает циклический процесс, в котором теплоемкость зависит от температуры в соответствии с графиком, приведенном на рис. 1. Здесь $T_0 = 300\,K$ - температура газа в состоянии 1;



$R = 8{,}31 \dfrac{Дж}{моль \cdot К}$ - универсальная газовая постоянная.

3.2.1 Изобразите этот цикл на диаграмме $\left(\dfrac{P}{P_0}, \dfrac{V}{V_0} \right)$, где P_0, V_0 - давление и объем газа в состоянии 1.

3.2.2 Рассчитайте работу газа за весь цикл.

3.2.3 Найдите термический КПД цикла.

3.2.4 Предложите простое устройство, в котором реализуется процесс 1-2.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования
____________________Р.С.Сидоренко
«___» декабря 2015 г.

Республиканская физическая олимпиада 2016 год.

(III этап)

Теоретический тур

11 класс.

1. Полный комплект состоит из семи частей, связанных общей идеей.

2. При оформлении работы каждую задачу начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!

3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.

4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.

Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!
Может вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Задание 1. Разминка. Как будет лучше?

Это задание состоит из 3 не связанных между собой задач.

1.1 Фермер находится в колосистом поле в точке *A*, как показано на рисунке 1, и хочет попасть к себе домой в точку *C*. Известно, что при движении в любом направлении по колосистому полю скорость фермера равна υ_1 = 5,0 км/ч, а при движении по проселочной дороге *BC* его скорость равна υ_2 = 7,0 км/ч. По какой траектории фермер быстрее всего доберется домой?

Рисунок 1

1.2. Камень теплоемкостью *C* = 3200 Дж/°C нагрели до температуры T_1 = 150 °C. Другой такой же камень охладили до температуры T_2 = 0 °C. После этого данные камни стали использовать в качестве нагревателя и холодильника тепловой машины, рабочим телом которой является одноатомный идеальный газ. Покажите, что после каждого цикла работы машины произведение температур камней остаётся постоянным. Какую работу сможет совершить такая тепловая машина в лучшем случае?

1.3. А) Куда необходимо поставить плоское зеркало любого необходимого размера на рисунке 2, чтобы оба луча прошли через щель *A*?

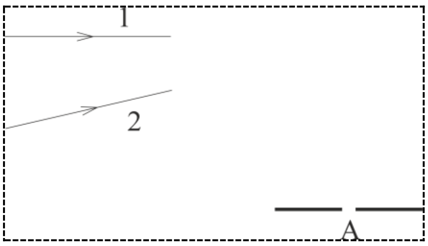


Рисунок 2

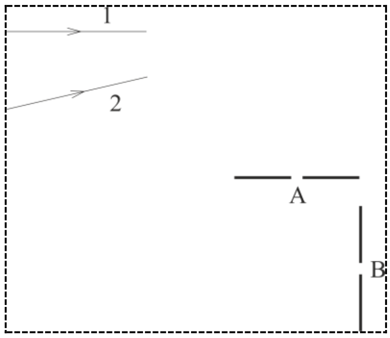
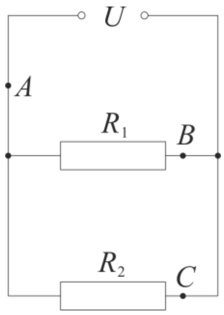


Рисунок 3

Б) Куда необходимо поставить два плоских зеркала любых необходимых размеров на рисунке 3, чтобы оба луча прошли через две щели *A* и *B*?

Примечание: Если малые относительные изменения двух одновременно изменяющихся функций противоположны, то есть $\frac{\Delta f_1}{f_1} = -\frac{\Delta f_2}{f_2}$, то произведение этих функций будет сохраняться: $f_1 f_2 = const$.

Задание 2. «Made in Chine».



Юный экспериментатор Федя с очень большой точностью знает сопротивления резисторов R_1 и R_2, включенных в схему, как показано на рисунке, причем $R_2 > R_1$. Сопротивления подводящих проводов в схеме пренебрежимо малы. Неизвестное, но постоянное напряжение на клеммах U Федя планирует рассчитать по закону Ома для участка цепи, измерив силу тока чувствительным амперметром, который экспериментатор считает идеальным. В какой точке цепи (A, B или C) Феде необходимо подключить измерительный прибор, чтобы рассчитанное им напряжение оказалось «наиболее правильным»?

Задание 3. Как разгоняется газ?

Цель данной задачи – показать, как газы протекают через сопло реактивного двигателя, почему профиль сопла изменяется не монотонно: сначала сужается, а затем расширяется! Точные расчеты формы сопла и в настоящее время представляют собой невероятно сложную аэродинамическую задачу, поэтому мы ограничимся самыми простыми примерами, показывающими основные физические идеи, лежащие в основе конструирования реактивных двигателей. Поэтому задача содержит много промежуточных вопросов, которые помогут Вам прийти к далекому финишу этой задачи

Подсказки.

1. Процесс, протекающий без теплообмена, называется адиабатическим. Уравнение адиабатического процесса идеального газа имеет вид

$$PV^{\gamma} = const, \tag{1}$$

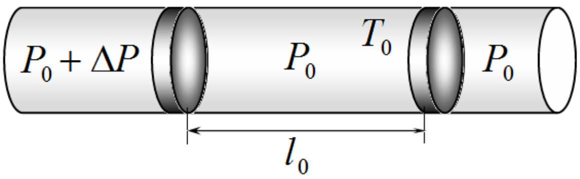
показатель адиабаты γ *(для всех газов* $\gamma > 1$*) и молярную массу газа* M *считайте известными.*

2. Во многих пунктах задачи используйте приближенную формулу

$$(1+x)^{\alpha} \approx 1+\alpha x \tag{2}$$

справедливую при $x << 1$ *и любых* α.

Часть 1. В цилиндрической трубе.



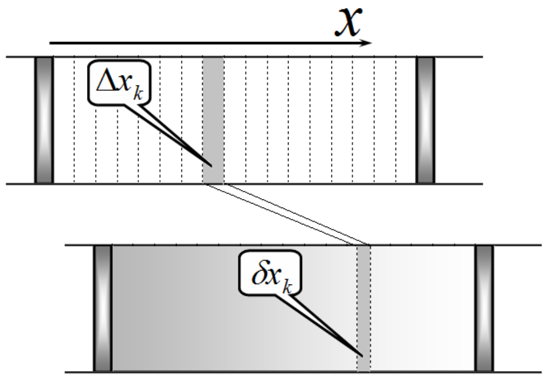
В очень длинной горизонтальной цилиндрической трубе находятся два легких (массой можно пренебречь) плотно пригнанных поршня, которые могут скользить по трубе без трения. В начальный момент между поршнями находится идеальный газ при температуре T_0 и давлении P_0, расстояние между поршнями равно l_0. Снаружи от поршней находится газ под давлением P_0, т.е. система находится в равновесии. Теплопроводностью и теплоемкостью стенок трубы и поршней следует пренебрегать.

В некоторый момент времени слева от поршней давление резко возросло на величину ΔP (причем $\Delta P << P_0$), поршни и газ между ними пришли в движение. Считайте, что давления снаружи от поршней поддерживаются постоянными.

В данной части задачи Вам необходимо определить увеличиться, или уменьшится расстояние между поршнями в процессе их движения.

Подсказки.

Мысленно разбейте пространство между поршнями на малые равные промежутки (можно даже считать, что между ними есть тонкие невесомые перегородки) и следите за отдельными порциями газа Δx_k и все характеристики этих порций определяйте как функции их начальных координат x (не смотря на то, что реальные координаты перегородок изменяются в процессе движения).



1. *Процесс установления равновесия в газе между поршнями можно условно разбить на два этапа:*

первый: установление равновесного распределения давления, которое происходит практически мгновенно; можно считать, что на этом этапе изменение объема каждой выделенной порции газа происходит адиабатически, т.е. без теплообмена;

второй: установление теплового равновесия посредством теплообмена между отдельными порциями газа; на этом этапе можно пренебречь работой газа над внешними телами.

1.1 Определите установившееся ускорение поршней a (когда ускорения каждого из поршней будут равны).

1.2 Определите зависимость давления газа между поршнями от координаты x (напоминаем – это координаты в начальном положении) $P(x)$

1.3 Найдите зависимость относительной деформации газа от координаты x на первом этапе установления равновесия..

Подсказка: Пусть начальная толщина выделенной порции газа равна Δx_k, а в процессе движения она стала равной δx_k. Тогда относительной деформацией называется величина $\varepsilon = \dfrac{\delta x_k - \Delta x_k}{\Delta x_k}$. Считаете все деформации малыми $\varepsilon \ll 1$

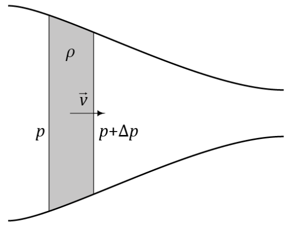
1.4 Найдите изменение расстояния между поршнями Δl_1 на первом этапе установления равновесия. Уменьшится или увеличится это расстояние по сравнению с l_0?

1.5 Найдите распределение температуры газа между поршнями на первом этапе установления равновесия.

1.6 Найдите установившуюся температуру газа между поршнями после установления теплового равновесия.

1.7 Найдите изменение расстояния между поршнями Δl_2 после установления теплового равновесия. Уменьшится или увеличится это расстояние по сравнению с l_0?

Часть 2. В сопле переменного сечения.



В реактивном двигателе, газы появляющиеся в результате сгорания топлива проходят через сопло, площадь сечения которого плавно изменяется. Рассмотрим небольшую порцию газа проходящего через сопло. Так как газ проходит через сопло очень быстро, то все процессы, протекающие в нем можно считать адиабатическими.

2.1 Найдите зависимость плотности этой порции газа ρ от его давления p, при условии, что на входе в сопло плотность газа равна ρ_0, а давление P_0.

2.2 Определите зависимость изменения плотности данной порции газа $\Delta\rho$ от изменения его давления ΔP. Выразите эту зависимость через локальную скорость звука в этом газе, которая определяется по формуле $c = \sqrt{\gamma \dfrac{P}{\rho}}$

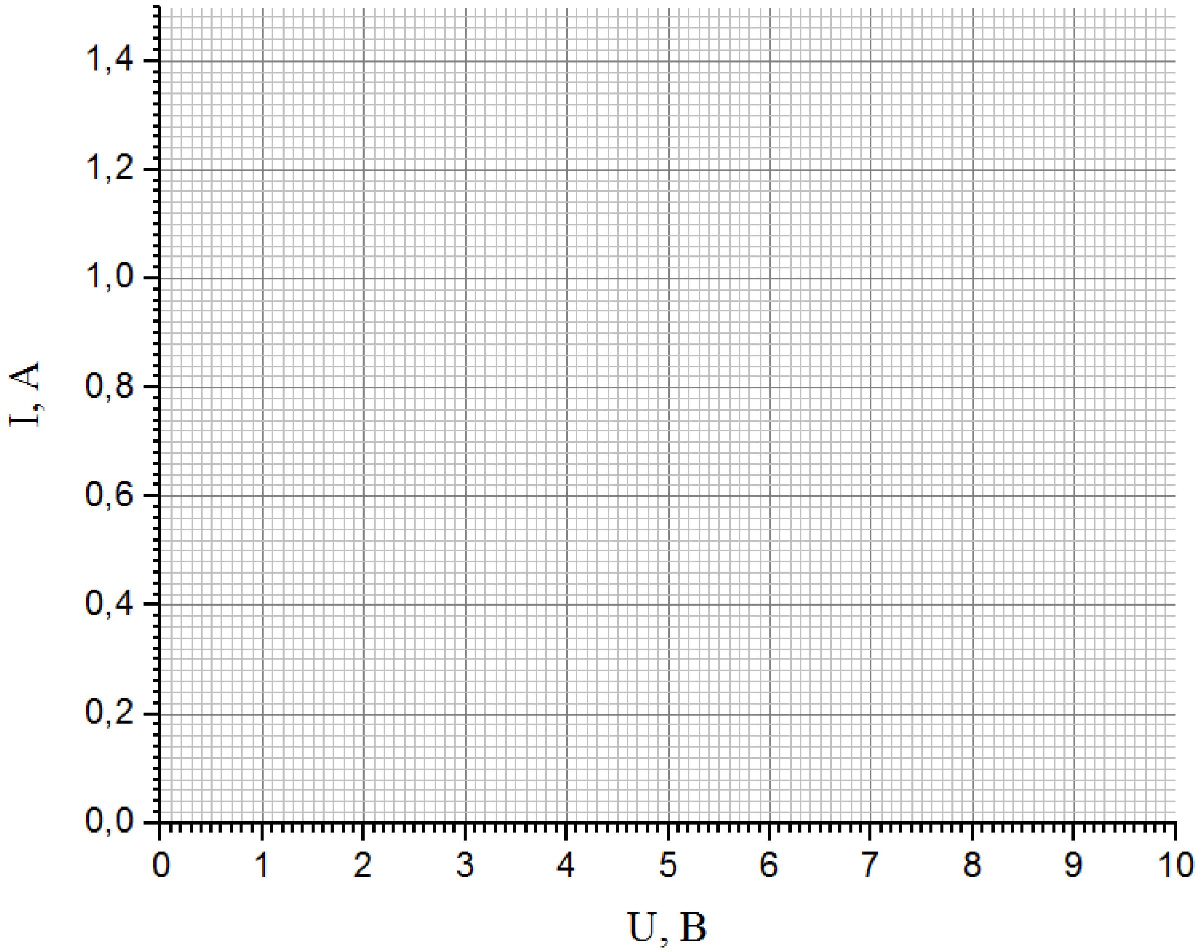
2.3 Определите изменение скорости порции газа Δv при ее малом смещении, если давление при этом изменилось на величину ΔP. Выразите эту величину через ΔP, плотность газа ρ и ее скорость v.

2.4 Выразите изменение скорости порции газа Δv через площадь сечения в данной точке, изменение площади сечения ΔS, скорость газа v и локальную скорость звука c.

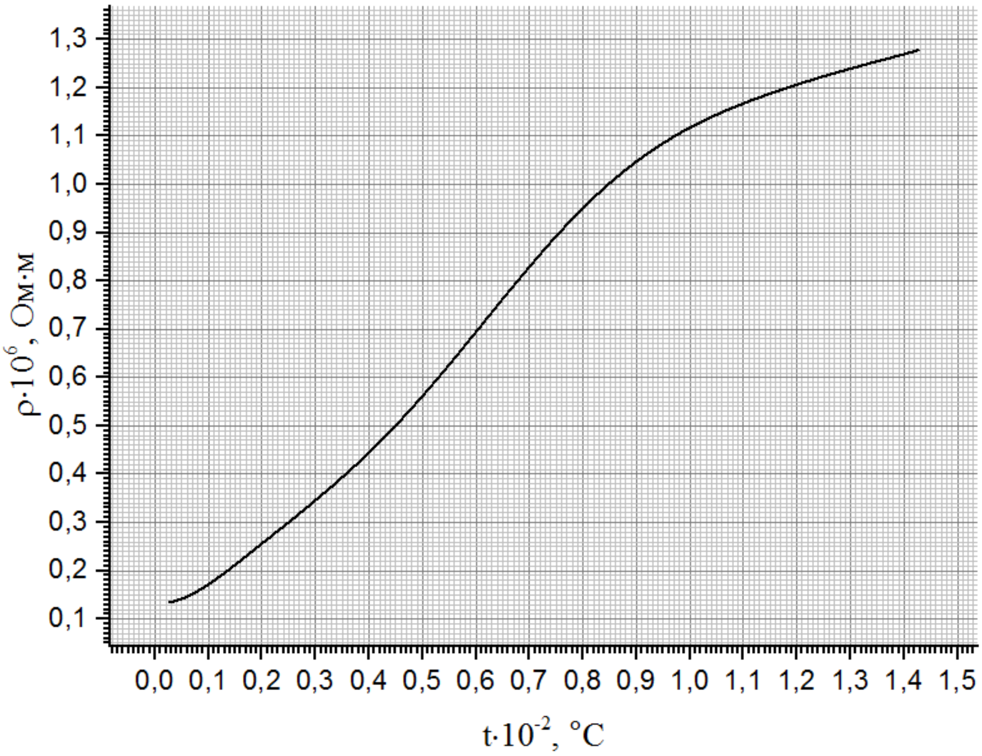
2.5 При прохождении через сопло газ должен разогнаться до скорости, выше локальной скорости звука. Нарисовать качественно форму такого сопла, если в начале скорость v_0 была меньше локальной скорости звука c. Указать, в какой точке вашего рисунка $v = c$.

Бланки к задачам

Бланк №1 К заданию 9-3 «Бареттер»

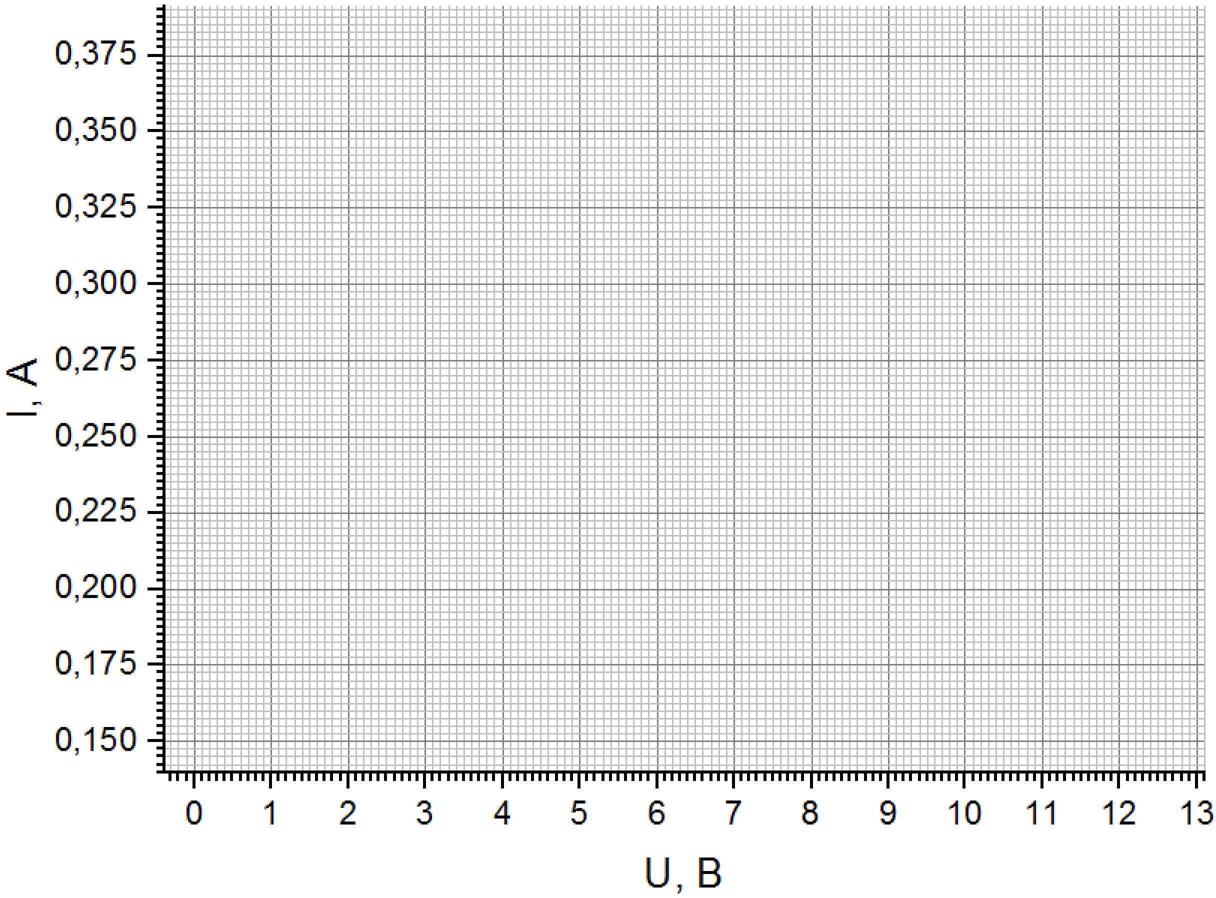


Бланк №2 к заданию 9-3 «Бареттер»



$t, °C$	$\rho \cdot 10^6, Ом \cdot м$			
100	0,173			
200	0,257			
300	0,346			
400	0,446			
500	0,563			
600	0,695			
700	0,831			
800	0,951			
900	1,047			
1000	1,118			
1100	1,168			
1200	1,207			
1300	1,240			
1400	1,270			
1500	1,310			

Бланк №3 к заданию 9-3 «Бареттер»



Бланк к задаче 10-1-3 Водяной куб.