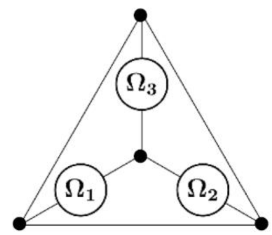
Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада
2021-2022
ФИЗИКА

10 класс

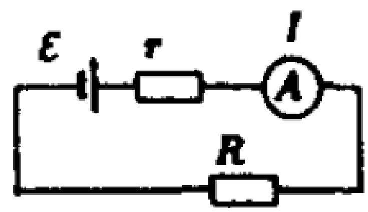
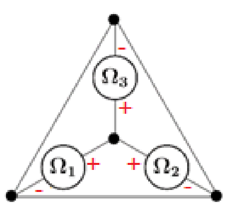
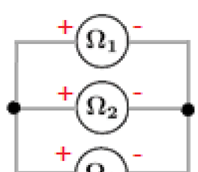
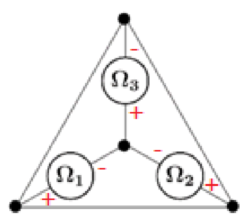
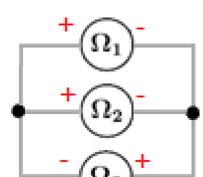
1 Вариант. II этап.

Задача 1

Три одинаковых омметра соединили в цепь (см. рисунок). Один омметр показывает сопротивление R = 1 кОм. Определите суммарные показания двух других омметров.



Решение:

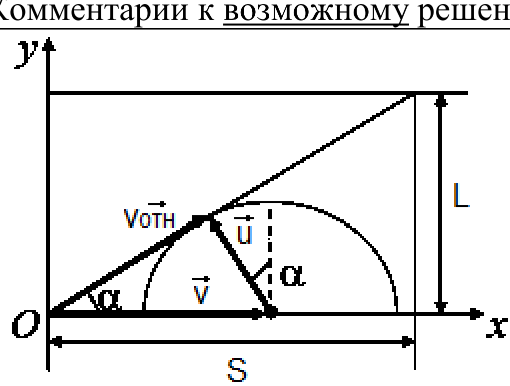
Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
Рассмотрим схему работы омметра. Источник с ЭДС $\mathcal{E}$, сопротивлением r и идеальный амперметр соединены последовательно. Используя закон Ома для полной цепи, можно установить, что показания омметра (сопротивление внешнего резистора R):  1) $R = \frac{\mathcal{E}}{I} - r$, где I – ток, протекающий через омметр.	5
2) Возможны два варианта подключения омметров, согласно полярности их внутренних источников: А)  или  Б)  или 	2
3) В схеме А) в силу симметрии токи, протекающие через омметры, должны быть одинаковыми: $I_1 = I_2 = I_3$, в тоже время, согласно первому правилу Кирхгофа: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, откуда $I_1 = I_2 = I_3 = 0$. Согласно 1) все омметры будут показывать перегрузку/ бесконечное сопротивление/ разрыв цепи, что не согласуется с условием задачи. Вариант А) не подходит	3
В схеме Б): 4) $I_1 = I_2, I_1 + I_2 = I_3$	1
Внутренние ЭДС в омметрах Ω_1 и Ω_2 можно объединить в один эквивалентный (параллельное соединение) с ЭДС и внутренним сопротивлением: 5) $\mathcal{E}_{12} = \left(\frac{\mathcal{E}}{r} + \frac{\mathcal{E}}{r}\right) r_{12} = 2\mathcal{E}\frac{1}{2} = \mathcal{E}, r_{12} = \frac{r}{2}$ При объединении с Ω_3 в общий эквивалентный источник (последовательное	1+1+2

соединение): 6) $\mathcal{E}_{123} = \mathcal{E}_{12} + \mathcal{E} = 2\mathcal{E}, r_{123} = r + r_{12} = \frac{3r}{2}$ Ток короткого замыкания такого источника: 7) $I_{КЗ} = I_3 = \frac{\mathcal{E}_{123}}{r_{123}} = \frac{4\mathcal{E}}{3r}$	
Альтернативно * 5)-7) Согласно второму правилу Кирхгофа при обходе контура с омметрами Ω_1 и Ω_3: 5*) $\mathcal{E} + \mathcal{E} = I_1 r + I_3 r$ С учётом 4) : 6*) $2\mathcal{E} = \frac{1}{2} I_3 r + I_3 r = \frac{3}{2} I_3 r$ Откуда: 7*) $I_3 = \frac{4\mathcal{E}}{3r}$	2*+1* +1*
При подстановке 7) в 1) получим показания омметра Ω_3: 8) $R_3 = \frac{\mathcal{E}}{I_3} - r = \frac{3}{4} r - r = -\frac{1}{4} r < 0$ (да, такое бывает – это показания прибора, а не сопротивление резистора)	1
9) Поскольку показания омметра Ω_{13} отрицательны, то показания омметров Ω_1 и Ω_2 равны R	1
При подстановке I_1 в 1): 10) $R_1 = \frac{\mathcal{E}}{I_1} - r = \frac{3}{2} r - r = \frac{1}{2} r$, откуда $r = 2$ кОм	1
Сумма показаний омметров Ω_2 и Ω_3: 10) $R_2 + R_3 = \frac{1}{2} r - \frac{1}{4} r = \frac{1}{4} r = 500$ Ом	2
Итого	20

Задача 2

Турист пересекает на байдарке бурную реку шириной L = 800 м. Скорость течения V=1.15 м/с, скорость, с которой турист может двигаться относительно воды U=1.15 м/с. Как должен двигаться турист, чтобы его снесло на наименьшее расстояние? На какое расстояние его снесёт в этом случае?

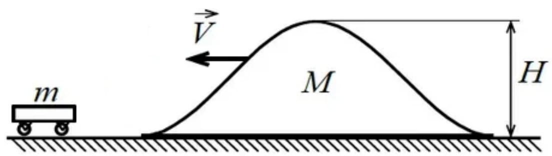
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
	2
1) Скорость движения туриста относительно берегов (абсолютная скорость) определяется векторной суммой скоростей воды, относительно берега (переносная скорость), и туриста относительно воды (относительная скорость).	5
Снос будет минимальным, если траектория движения туриста будет проходить по	4

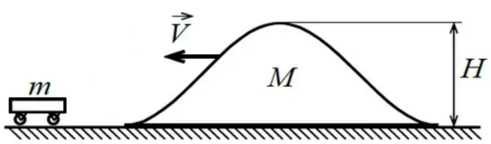
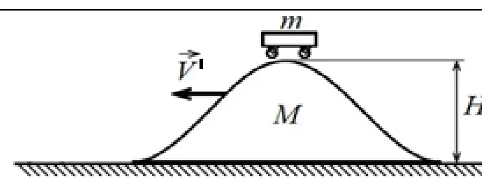
касательной к окружности всех возможных значений абсолютной скорости. Угол между $v_{отн}$ и u прямой: 2) $sin\alpha = \frac{u}{v}$	
Связь перемещений вдоль течения S и поперёк реки L: 3) $tg\alpha = \frac{L}{S}$, где S – снос туриста вдоль течения, откуда $S = L\, ctg\alpha$	4
Решая совместно 2) и 3), с учётом того, что $(ctg\alpha)^2 + 1 = \frac{1}{(sin\alpha)^2}$ 4) $S = L\sqrt{\frac{1}{(sin\alpha)^2} - 1} = L\sqrt{\left(\frac{v}{u}\right)^2 - 1} = 0$	5
Итого	20

Задача 3

По горизонтальной плоскости может перемещаться без трения гладкая горка высотой H и массой M и небольшое тело массой m (см. рисунок). На неподвижное тело массы m налетает горка. При какой минимальной скорости горки V_{min} тело сможет переехать на другую сторону горки? Какими будут скорости тела и горки, если горка будет двигаться со скоростью меньшей, чем V_{min}? Большей чем V_{min}? При движении по горке тело не отрывается от нее.



Решение:

Комментарии к возможному решению	Баллы
До  после 	2
Если $V = V_{min}$, в процессе взаимодействия, тело сможет подняться на горке на высоту H, после чего с нулевой относительно горки скоростью скатиться на противоположную сторону. Для взаимодействия тела и горки, закон сохранения импульса: 1) $MV_{min} = (m + M)V^{\mid}$, откуда $V^{\mid} = \frac{M}{M+m}V_{min}$, где $V^{\mid}$ – проекция скоростей горки и груза на горизонтальную ось, со направленную с вектором начальной скорости горки, в момент, когда груз поднимется на горку. Закон сохранения энергии: 2) $\frac{MV_{min}{}^2}{2} = \frac{mV^{\mid 2}}{2} + \frac{MV^{\mid 2}}{2} + mgH$,	5
Решая совместно 1) и 2): 3) $V_{min} = \sqrt{2gH(1 + \frac{m}{M})}$	5
Для взаимодействия тела и горки, закон сохранения импульса: 4) $MV = mu + Mv$, откуда $V - v = \frac{m}{M}u$,	3

Где V, v и $u-$ проекции скоростей горки на горизонтальную ось, со направленную с вектором начальной скорости, на до и после взаимодействия, и проекция скорости тела после взаимодействия. Закон сохранения энергии: 5) $\frac{MV^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + \frac{Mv^2}{2}$, откуда $V^2 - v^2 = \frac{m}{M}u^2$	
Решая совместно 1) и 2) получаем два решения: 6а) $u = \frac{2V}{1+\frac{m}{M}}$, $v = V\frac{1-\frac{m}{M}}{1+\frac{m}{M}}$, 6б) $u = 0$, $v = V$.	3*
7) $u = \frac{2V}{1+\frac{m}{M}}$, $v = V\frac{1-\frac{m}{M}}{1+\frac{m}{M}}$ – это решение при $V < V_{\min}$,	1
8) $u = 0$, $v = V$ – это решение при $V > V_{\min}$.	1
Итого	20
* Если участник определял не проекции скоростей, а сами скорости, т.е. их модули, то для выполнения критерия, дополнительно необходимо указать направление скоростей в зависимости от соотношения масс $\frac{m}{M}$.	

Задача 4

Конструктор-энтузиаст создал летательный аппарат на мускульной силе. Масса аппарата m=25 кг, размах винта D=10 м. Масса пилота M=75 кг. Какую мощность должен развивать такой пилот, чтобы взлететь на такой машине? Какую мощность должен развивать пилот, чтобы подниматься вверх с ускорением a=0.1 м/с? Молярная масса воздуха μ = 29 кг/кмоль.

Решение:

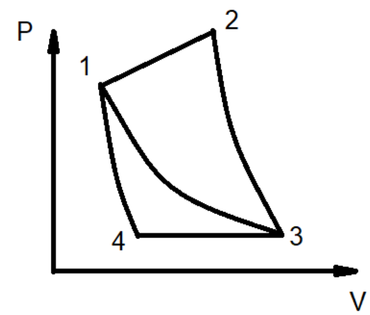
Комментарии к возможному решению	Баллы
Вращение винта приводит в движение воздух объёмом ΔV со скоростью v: 1) $\Delta V = \pi D^2 \Delta l = \pi D^2 v \Delta t$, где $\Delta l -$ высота цилиндра, $\Delta t -$небольшой интервал времени.	2
Масса воздуха, приводимого в движение: 2) $\Delta m = \rho \Delta V = \rho \pi D^2 v \Delta t$, где $\rho -$ плотность воздуха.	2
Изменение импульса воздуха, приводимого в движение: 3) $\Delta m(v-0) = \rho \pi D^2 v^2 \Delta t$	2
Сила взаимодействия винтов и воздуха: 4) $F = \frac{\Delta m v}{\Delta t} = \rho \pi D^2 v^2$	2
Второй закон Ньютона: 5) $F = (m+M)(g+a)$ Для взлёта достаточно a=0.	2
Мощность, развиваемая винтами: 6) $N = \frac{\Delta m v^2}{2\Delta t} = \frac{\rho \pi D^2}{2} v^3$	2
Из уравнения Менделеева-Клапейрона: 7) $\rho = \frac{P\mu}{\mathrm{RT}}$, где P = 10^5 Па– атмосферное давление, T = 300 K – температура, R = 8.31 Дж/моль °K – универсальная газовая постоянная.	3
Из 4) и 5):	1

8) $v = \sqrt{\frac{(m+M)(g+a)}{\rho\pi D^2}}$	
Из 6) и 8): 8) $N = \frac{\rho\pi D^2}{2}\sqrt{\frac{(m+M)(g+a)}{\rho\pi D^2}}^3 = \frac{1}{2}(\rho\pi D^2)^{-1/2}((m+M)(g+a))^{\frac{3}{2}}$	2
Для взлёта (a=0) 9) $N = 827$ Вт	1
Для подъёма с ускорением a=0.1 м/с^2 10) $N = 840$ Вт	1
Итого	20

Задача 5

КПД тепловой машины, работающей по циклу 1-2-3-1 равен η_1, а по циклу 1-3-4-1 равен η_2. Участок 1-2 линейный, 2-3 адиабатическое расширение, 3-1 изотермическое сжатие. 3-4 изобарное сжатие. 4-1 адиабатическое сжатие

Чему равен КПД тепловой машины, работающей по циклу 1-2-3-4-1? Рабочим веществом является идеальный газ.



Решение:

Комментарии к возможному решению	Баллы
КПД цикла 1-2-3-1: 1) $\eta_1 = \frac{A_1}{Q_1}$, где $A_1 -$ работа, совершённая газом за цикл, численно совпадающая с площадью внутри цикла, $Q_1 -$ тепло, подведённое к газу на участке 1-2	4
КПД цикла 1-3-4-1: 2) $\eta_2 = \frac{A_2}{Q_2}$, где $A_2 -$ работа, совершённая газом за цикл, численно совпадающая с площадью внутри цикла, $Q_2 -$ тепло, подведённое к газу на участке 1-3	4
Поскольку, процессы 2-3 и 4-1 – адиабатические, то в них тепло не подводится, и не отводится. Тогда искомое КПД цикла 1-2-3-4-1: 3) $\eta = \frac{A_1+A_2}{Q_1}$	4
Для цикла 1-2-3-1 Q_2 это тепло, передаваемое холодильнику: 4) $Q_1 = A_1 + Q_2$	4
Решая совместно 1)-4): 5) $\eta = \frac{A_1+A_2}{Q_1} = \frac{A_1}{Q_1} + \frac{A_2}{Q_1}\frac{Q_2}{Q_2} = \eta_1 + \eta_2\frac{Q_1 - A_1}{Q_1} = \eta_1 + \eta_2(1-\eta_1) = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1\eta_2$	4
Итого	20

Оценка задания №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения. Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!

Министерство науки и высшего образования РФ

Совет ректоров вузов Томской области

Открытая региональная межвузовская олимпиада

2021-2022

ФИЗИКА

10 класс

2 Вариант. II этап.

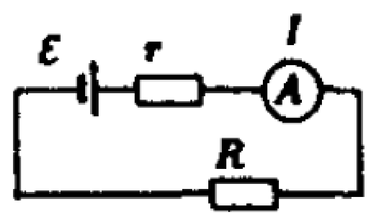
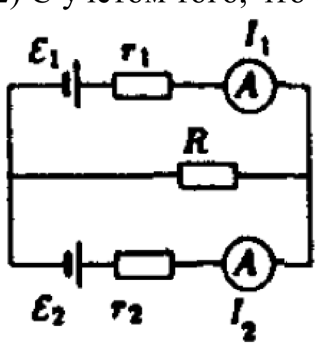
Задача 1

Два омметра подсоединили параллельно, соблюдая полярность подключения. К общим выходам омметров подключили резистор неизвестного сопротивления R, при этом показания первого омметра оказались равными R_1, второго – R_2. Чему равно истинное значение R?

Омметры хоть и были от разных производителей, но измерения производили довольно точные. Подключение любого одно из двух омметров к резистору дало бы ответ на вопрос.

Примечание. Омметр можно представить, как последовательно соединённые батарейку, резистор некоторого сопротивления и амперметр.

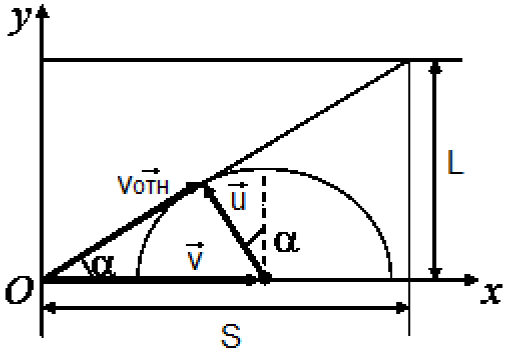
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
Рассмотрим схему работы омметра. Источник с ЭДС Ɛ, сопротивлением r и идеальный амперметр соединены последовательно. Используя закон Ома для полной цепи, можно установить, что показания омметра (сопротивление внешнего резистора R):  1) $R = \frac{\varepsilon}{I} - r$, где I – ток, протекающий через омметр.	5
2) С учётом того, что омметры различны, схема подключения: 	2
Согласно первому правилу Кирхгофа: 3) $I_1 + I_2 = I_R$, где I_1 и I_2 − токи через омметры, I_R − ток через резистор	1
Согласно второму правилу Кирхгофа: 4) $\varepsilon_1 = I_1 r_1 + I_R R$, $\varepsilon_2 = I_2 r_2 + I_R R$	3
Показания омметров с учётом 1) и 3): 5) $R_1 = \frac{\varepsilon_1}{I_1} - r_1$, $R_2 = \frac{\varepsilon_2}{I_2} - r_2$	3
Решая совместно 3), 4) и 5) относительно R: 6) $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	6
Итого	20

Задача 2

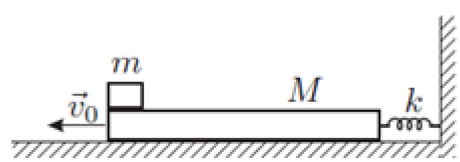
Турист пересекает на байдарке бурную реку шириной L = 800 м. Скорость течения V=1.15 м/с, скорость, с которой турист может двигаться относительно воды U=1.00 м/с. Как должен двигаться турист, чтобы его снесло на наименьшее расстояние? На какое расстояние его снесёт в этом случае?

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
	2
1) Скорость движения туриста относительно берегов (абсолютная скорость) определяется векторной суммой скоростей воды, относительно берега (переносная скорость), и туриста относительно воды (относительная скорость).	5
Снос будет минимальным, если траектория движения туриста будет проходить по касательной к окружности всех возможных значений абсолютной скорости. Угол между $v_{отн}$ и u прямой: 2) $sin\alpha = \frac{u}{v}$	4
Связь перемещений вдоль течения S и поперёк реки L: 3) $tg\alpha = \frac{L}{S}$, где S – снос туриста вдоль течения, откуда $S = L\,ctg\alpha$	4
Решая совместно 2) и 3), с учётом того, что $(ctg\alpha)^2 + 1 = \frac{1}{(sin\alpha)^2}$ 4) $S = L\sqrt{\frac{1}{(sin\alpha)^2} - 1} = L\sqrt{\left(\frac{v}{u}\right)^2 - 1}$ =454 м	5
Итого	20

Задача 3

По горизонтальной плоскости может перемещаться без трения доска массы M. На левом краю доски покоится небольшое тело массой m. Пружину жесткости k одним концом прикрепили к доске, а другим – к вертикальной стене. В начальный момент времени доске и грузу сообщают скорость v_0, направленную влево, пружина в этот момент была нерастянута. При каком минимальном коэффициенте трения μ между доской и грузом, груз не упадёт с доски в процессе дальнейшего движения системы?



Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
Максимальное ускорение, которое может обеспечить телу массы m сила трения:	2

1) $a_{max} = \mu g$	
Пока груз ещё не скользит по доске, они двигаются под действием силы упругости как одно тело массы M+m: 3) $a_{\text{системы}} = \frac{kx}{M+m}$, где x – растяжение пружины Видно, что в начальный момент времени ускорение системы минимально, а значит в начале доска и груз двигаются без проскальзывания.	3
Закон сохранения энергии для начального состояния и состояния с максимальным растяжением пружины: 4) $\frac{(M+m)v_0^2}{2} = \frac{kx_{max}^2}{2}$, откуда $x_{max} = v_0\sqrt{\frac{(M+m)}{k}}$,	5
С учётом 3) и 4) максимальное ускорение системы: 5) $a_{max} = \frac{k}{M+m}x_{max} = \frac{k}{M+m}v_0\sqrt{\frac{(M+m)}{k}} = v_0\sqrt{\frac{k}{(M+m)}}$	5
Груз не сдвинется с места, при минимальном коэффициенте трения: 6) $\mu = \frac{v_0}{g}\sqrt{\frac{k}{(M+m)}}$	5
Итого	20

Задача 4

Конструктор-энтузиаст создал летательный аппарат на мускульной силе. Масса аппарата m=20 кг, размах винта D=10 м. Масса пилота M=60 кг. Какую мощность должен развивать такой пилот, чтобы взлететь на такой машине? Какую мощность должен развивать пилот, чтобы подниматься вверх с ускорением a=0.1 м/с? Молярная масса воздуха μ = 29 кг/кмоль.

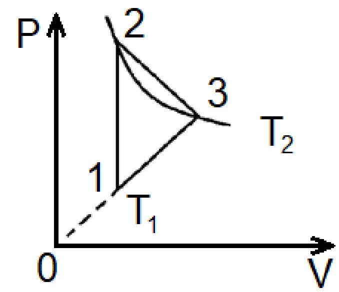
Решение:

Комментарии к возможному решению	Баллы
Вращение винта приводит в движение воздух объёмом ΔV со скоростью v: 1) $\Delta V = \pi D^2 \Delta l = \pi D^2 v \Delta t$, где $\Delta l -$ высота цилиндра, $\Delta t -$небольшой интервал времени.	2
Масса воздуха, приводимого в движение: 2) $\Delta m = \rho \Delta V = \rho \pi D^2 v \Delta t$, где $\rho -$ плотность воздуха.	2
Изменение импульса воздуха, приводимого в движение: 3) $\Delta m(v - 0) = \rho \pi D^2 v^2 \Delta t$	2
Сила взаимодействия винтов и воздуха: 4) $F = \frac{\Delta m v}{\Delta t} = \rho \pi D^2 v^2$	2
Второй закон Ньютона: 5) $F = (m + M)(g + a)$ Для взлёта достаточно a=0.	2
Мощность, развиваемая винтами: 6) $N = \frac{\Delta m v^2}{2\Delta t} = \frac{\rho \pi D^2}{2} v^3$	2
Из уравнения Менделеева-Клапейрона: 7) $\rho = \frac{P\mu}{\mathrm{RT}}$, где P = 10^5 Па– атмосферное давление, T = 300 К – температура, R = 8.31 Дж/моль °K – универсальная газовая постоянная.	3

Из 4) и 5): 8) $v = \sqrt{\frac{(m+M)(g+a)}{\rho\pi D^2}}$	1
Из 6) и 8): 8) $N = \frac{\rho\pi D^2}{2}\sqrt{\frac{(m+M)(g+a)}{\rho\pi D^2}}^3 = \frac{1}{2}(\rho\pi D^2)^{-1/2}((m+M)(g+a))^{\frac{3}{2}}$	2
Для взлёта (a=0) 9) $N = 592$ Вт	1
Для подъёма с ускорением a=0.1 м/с^2 10) $N = 601$ Вт	1
Итого	20

Задача 5

Тепловая машина, рабочим телом в которой является гелий в количестве ν, работает по циклу, показанному на рисунке. Цикл состоит из изохоры 1-2, линейного процесса 2-3, конечные точки которого можно соединить изотермой с температурой T_2, и линейного процесса 1-3, в котором давление пропорционально объёму. Температура T_1 гелия в точке 1 известна. Определите работу газа, совершаемую за цикл, и КПД тепловой машины.



Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Запишем уравнения Менделеева-Клапейрона для состояний 1, 2 и 3, с учётом того, что в состояниях 1 и 2 одинаковые объёмы, а в состояниях 2 и 3 – одинаковые температуры: $P_1V_1 = \nu RT_1,\ P_2V_1 = \nu RT_2,\ P_3V_3 = \nu RT_2$	3
Искомая работа – площадь внутри цикла, находится как площадь треугольника. В данном случае основанием треугольника является $P_2 - P_1$, а высотой $V_3 - V_1$: 2) $A = \frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_3 - V_1) = \frac{1}{2}P_1V_1\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right)\left(\frac{V_3}{V_1} - 1\right)$	2
По условию для процесса 1-3: 3) $P_1 = \alpha V_1, P_3 = \alpha V_3$, откуда $\frac{P_3}{P_1} = \frac{V_3}{V_1}$	2
Из 1) с учётом 3): 4) $\frac{P_3V_3}{P_1V_1} = \frac{T_2}{T_1} = (\frac{V_3}{V_1})^2$, откуда $\frac{V_3}{V_1} = \frac{P_3}{P_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$	1
Из 1): 5) $\frac{P_2V_1}{P_1V_1} = \frac{T_2}{T_1}$, откуда $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$	1
Из 2) с учётом 4) и 5): 6) $A = \frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_3 - V_1) = \frac{1}{2}P_1V_1\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right)\left(\frac{V_3}{V_1} - 1\right) = \frac{1}{2}\nu RT_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}} - 1\right)$	4
Тепло к газу подводится в процессах 1-2 и 2-3. С учётом того, что в процессе 1-2 газ не совершает работу, а в процессе 2-3 изменение внутренней энергии газа равно нулю, суммарное подведённое к газу тепло: 7) $Q = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) + \frac{1}{2}(P_3 + P_2)(V_3 - V_1)$	2

С учётом 1), 4) и 5): 8) $Q=\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)+\frac{1}{2}\nu RT_1\left(\frac{P_3}{P_1}+\frac{P_2}{P_1}\right)\left(\frac{V_3}{V_1}-1\right)=\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)+\frac{1}{2}\nu RT_1\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}+\frac{T_2}{T_1}\right)\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}-1\right)=\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)+\frac{1}{2}\nu RT_1\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right)=\frac{1}{2}\nu R(T_2-T_1)(3+\sqrt{\frac{T_2}{T_1}})$	2
Окончательно КПД цикла: 9) $\eta=\frac{A}{Q}=\frac{\frac{1}{2}\nu RT_1\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right)\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}-1\right)}{\frac{1}{2}\nu R(T_2-T_1)\left(3+\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right)}=\frac{\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}-1\right)}{\left(3+\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}\right)}$	3
Итого	20

Оценка задания №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения.

Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!