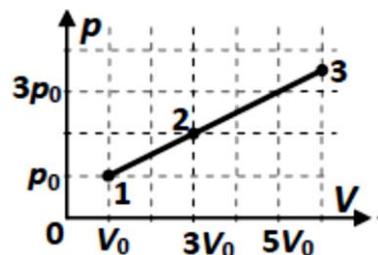


ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2025-2026 года, вопросы по физике.

Вариант 3 (10 класс)

Задача 1. Над одним молем одноатомного идеального газа производят процесс 1-2-3, диаграмма которого в координатах «давление-объем» (отрезок прямой) показана на рисунке. Известно, что работа газа на участке процесса 1-2 равна $A_{12} \equiv A = 997,2$ Дж.



1.1. Найдите количество теплоты, подведенное к газу на участке процесса 1-2. Ответ запишите в Дж, округлив до целого значения.

1.2. На сколько градусов Кельвина увеличилась температура газа в ходе всего процесса 1-3? Ответ запишите, округлив до целого значения.

1.3. Определите среднюю теплоемкость газа в ходе всего процесса 1-3. Ответ запишите в Дж/К, округлив до сотых.

Ответы: 1.1. **3490.** 1.2 **800.** 1.3. **17,14.**

Возможное решение:

Приведем решение, использующее общую зависимость характеристик нашего процесса от конечного объема. Обозначим для произвольной точки диаграммы $V \equiv x \cdot V_0$ и $p \equiv y \cdot p_0$. Тогда уравнение процесса – это уравнение прямой $y = kx + b$, в котором коэффициенты подбираются по любым двум точкам, например:

$$\begin{cases} y(1) = k + b = 1 \\ y(3) = 3k + b = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k = 0,5 \\ b = 0,5 \end{cases}$$

Работа газа на участке процесса от точки 1 до произвольной точки вычисляется как площадь трапеции: $A_{1x} = \frac{p_0 + p}{2} (V - V_0) = \frac{p_0 V_0}{2} (1 + y)(x - 1) = \frac{p_0 V_0}{4} (x + 3)(x - 1)$. Например, для точки 2 $x = 3$, и поэтому $A = 3p_0 V_0 \Rightarrow A_{1x} = \frac{A}{12} (x + 3)(x - 1)$. Изменение внутренней энергии газа на участке процесса от точки 1 до произвольной точки

$$\Delta U = \frac{3}{2} (pV - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0 (yx - 1) = \frac{A}{2} (x + 2)(x - 1).$$

В соответствии с I Началом термодинамики

$$Q_{1x} = A_{1x} + \Delta U = \frac{A}{12} (4x + 9)(x - 1).$$

Следовательно, $Q_{12} = \frac{7}{2} A = 3490,2$ Дж. В ответе мы должны записать $Q_{12} \approx 3490$ Дж. Для всего процесса 1-2-3 (конечное значение $x = 6$) $Q_{13} = \frac{55}{4} A$.

Температура газа в произвольной точке диаграммы вычисляется с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона (с учетом того, что $\nu = 1$ моль):

$$T(x) = \frac{pV}{\nu R} = \frac{p_0 V_0}{\nu R} yx = \frac{A}{6R} (x + 1)x \Rightarrow \Delta T(x) = \frac{A}{6R} (x + 2)(x - 1).$$

Для всего процесса 1-2-3 изменение температуры $\Rightarrow \Delta T = \frac{20A}{3R} \approx 800$ К.

Значит, средняя теплоемкость для всего процесса 1-2-3 $C_{cp} = \frac{Q_{13}}{\Delta T} = \frac{55}{4} A \frac{3R}{20A} = \frac{33}{16} R \approx 17,14$ Дж/К.

Отметим, что мы можем получить среднюю теплоемкость на участке процесса от точки 1 до произвольной точки: $C_{cp}(x) = \frac{Q_{1x}}{\Delta T} = \frac{4x+9}{2(x+2)} R$.

Задача 2. *Аэродинамический профиль* автомобиля называется *нейтральным*, если воздушный поток, обтекающий автомобиль при движении, не создает ни подъемной, ни прижимающей силы. Автомобиль называют *полноприводным*, если все его колеса являются *ведущими* (на них передается усилие, раскручивающее вал двигателя). Изучите разгон полноприводного автомобиля

с нейтральным аэродинамическим профилем по прямой горизонтальной дороге. Нам известно, что при достижении максимальной скорости все колеса автомобиля должны проскальзывать, а величина силы лобового сопротивления, действующей на автомобиль со стороны воздуха, пропорциональна квадрату его скорости (коэффициент пропорциональности можно считать постоянной величиной). При коэффициенте трения всех колес о поверхность дороги $\mu = 0,5$ эта максимальная скорость равна $v_m = 90$ км/ч.

2.1. Какой станет максимальная достижимая скорость этого автомобиля v'_m после замены покрышек колес, которая не влияет на силу лобового сопротивления и массу автомобиля, но увеличивает коэффициент трения всех колес о поверхность дороги до $\mu' = 0,72$? Ответ запишите в км/ч, с точностью до целого значения.

На этот автомобиль установили *антикрыло*, не влияющее на силу лобового сопротивления, но дополнительно создающее прижимную силу. Известно, что величина этой прижимной силы тоже пропорциональна квадрату скорости автомобиля, и при скорости v_m ее величина составляет 25 % от величины действующей на автомобиль силы тяжести.

2.2. Определите максимальную достижимую скорость этого автомобиля с новыми покрышками после установки антикрыла. Ответ запишите в км/ч, с точностью до целого значения.

Ответы: 2.1. 108. 2.2. 135.

Возможное решение:

В процессе разгона при проскальзывании ведущих колес на автомобиль действуют сила трения скольжения (разгоняющая его) и сила лобового сопротивления (тормозящая). Поэтому уравнение движения автомобиля с массой m имеет вид $ma = \mu mg - \beta v^2$. Здесь мы учли, что на горизонтальной дороге при нейтральном аэродинамическом профиле сила нормальной реакции поверхности дороги равна по величине силе тяжести, и обозначили коэффициент пропорциональности между величиной силы лобового сопротивления и квадратом скорости. При достижении максимальной скорости ускорение автомобиля обращается в ноль, и поэтому $v_m = \sqrt{\frac{\mu mg}{\beta}}$. Отметим также, что $\beta = \frac{\mu mg}{v_m^2}$. При увеличении коэффициента трения с сохранением m и β

новая максимальная скорость $v'_m = \sqrt{\frac{\mu' mg}{\beta}} = v_m \sqrt{\frac{\mu'}{\mu}} = 108$ км/ч.

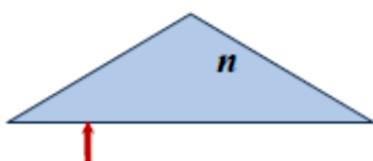
После установки антикрыла сила нормальной реакции поверхности дороги увеличивается за счет прижимной силы, и вместе с ней увеличивается сила трения скольжения колес о дорогу. С учетом данных условия о величине прижимной силы новое уравнение движения

$$ma = \mu' \left(mg + 0,25 \cdot mg \cdot \frac{v^2}{v_m^2} \right) - \mu mg \cdot \frac{v^2}{v_m^2} = mg \left(\mu' - [\mu - 0,25\mu'] \cdot \frac{v^2}{v_m^2} \right).$$

Новая максимальная скорость тоже отвечает обращению ускорения в ноль, следовательно

$$\mu' - [\mu - 0,25\mu'] \cdot \frac{v^2}{v_m^2} = 0 \Rightarrow v''_m = v_m \sqrt{\frac{\mu'}{\mu - 0,25\mu'}} = 1,25 \cdot v'_m = 135 \text{ км/ч.}$$

Задача 3. Две одинаковых по форме призмы, сечением которых является равнобедренный треугольник с углом при основании 30° , изготовлены из разных специальных стекол: у первой показатель преломления $n_1 = 1,95$, а у второй – $n_2 = 2,05$. Лазерный луч (который можно считать узким пучком параллельных световых лучей) падает из воздуха нормально на поверхности этих призм, как показано на рисунке. Вещество призмы считайте полностью прозрачным (то есть поглощением энергии света можно пренебречь). Кроме того, при анализе хода лучей считайте, что при падении луча на любую поверхность призмы с углом, меньшим угла полного внутреннего отражения, интенсивность отраженного луча заметно меньше интенсивности падающего, и при третьем таком отражении существованием отраженного луча можно пренебречь.



3.1. Какое количество лучей выйдет наружу из первой призмы?

3.2. Какое количество лучей выйдет наружу из второй призмы?

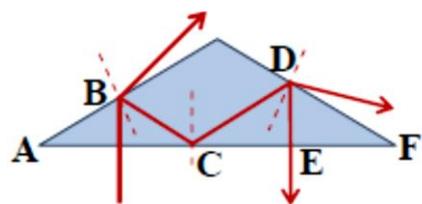
3.3. На каком ненулевом расстоянии от точки входа выйдет из призмы 2 луч на оси пучка, развернувшийся на 180° по отношению к падающему? Длина основания призмы равна $D = 10$ см. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Ответы: 3.1. 1,5. 3.2. 0,58. 3.3 2,33.

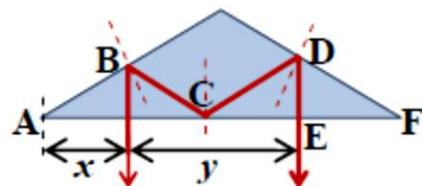
Возможное решение:

Начнем с того, что определим для заданных величин показателя преломления углы полного внутреннего отражения: $\alpha_{пв01} = \arcsin\left(\frac{1}{n_1}\right) \approx 30,5^\circ$ и $\alpha_{пв02} = \arcsin\left(\frac{1}{n_2}\right) \approx 29,20^\circ$. Выполнив

построение хода лучей в призмах, мы обнаруживаем, что для первой призмы углы падения в точках В (30°), D (30°) и E (0°) меньше угла полного внутреннего отражения, и в этих точках есть преломленные лучи, выходящие из призмы наружу. В точке С угол падения (60°) больше угла полного внутреннего отражения, и в ней преломленного луча нет. Отражение в точке Е является уже третьим «неполным» отражением, и мы (согласно условию) пренебрегаем интенсивностью отраженного луча, и цепочка отражений прерывается – других вышедших из призмы лучей уже не будет. Итак, из первой призмы выйдут наружу **3 луча**.



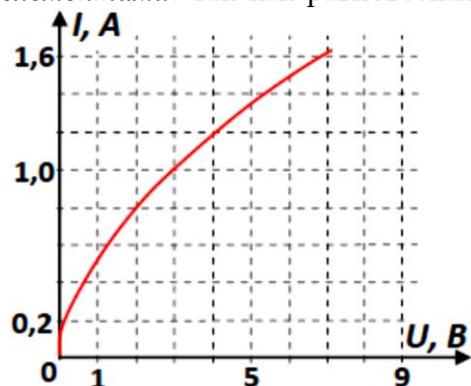
Во второй призме происходят три полных внутренних отражения (углы падения в точках В и D равны 30° , а в точке С - 60°), а затем – в точке Е луч падает нормально. Преломленных лучей в точках В, С и D нет, а в точке Е есть отраженный луч небольшой интенсивности, который возвращается по тому же пути, снова испытывая три полных внутренних отражения и выходит в точке падения (конечно, его не так легко будет заметить, так как он будет «накладываться» на падающий, но в принципе это возможно). Там тоже есть отраженный луч, и он (после еще трех полных отражений) выйдет снова в точке Е, и только теперь происходит третье «неполное»



отражение, после которого мы считаем интенсивность отраженного луча пренебрежимо малой. Но всего в случае второй призмы мы увидим **два вышедших луча**, и у обоих угол поворота от направления падающего луча равен 180° . Ненулевое смещение у луча, выходящего из точки Е. Его можно найти следующим образом: пусть расстояние от точки А до точки входа луча равно x . Тогда, с учетом того, треугольник ABC равнобедренный (у него одинаковые углы при основании) найдем, что расстояние от точки входа до С тоже равно x . Поэтому $|CF| = D - 2x$, и, поскольку треугольник CDF тоже равнобедренный, то точка выхода находится на расстоянии $\frac{|CF|}{2} = \frac{D}{2} - x$

от точки С. Итак, искомое смещение $y = x + \frac{D}{2} - x = \frac{D}{2} = 5$ см. Отметим, что это расстояние не зависит от x !

Задача 4. Лампы накаливания обычно являются *нелинейными элементами*: так как равновесная температура спирали связана с силой тока через нее, а удельное сопротивление ее материала зависит от температуры, то сопротивление спирали зависит от силы тока, и закон Ома в обычной форме для нее не выполняется. На графике показана ВАХ (вольт-амперная характеристика, то есть связь силы тока с приложенным напряжением) для некоторой лампы накаливания. Эту лампу подключили к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 8$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,5$ Ом



последовательно с реостатом. Сопротивление реостата было выбрано таким образом, чтобы потребляемая лампой мощность равнялась $P = 3,0$ Вт.

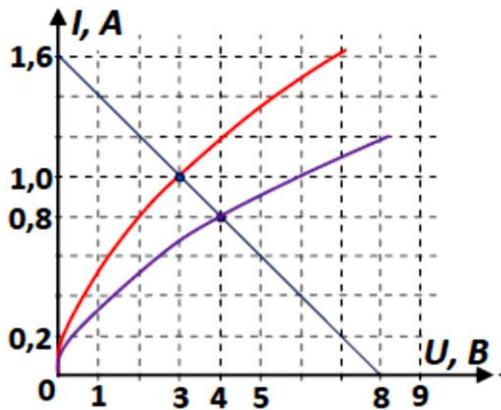
4.1. Определите величину R этого сопротивления реостата. Ответ запишите в омах, с точностью до десятых.

4.2. После этого, не изменяя сопротивление реостата, в ту же цепь подключили последовательно этой лампе еще одну, точно такую же. Найдите суммарную мощность потребления обеих ламп P_2 в получившейся схеме. Ответ запишите в ваттах, с точностью до десятых.

Ответы: 4.1 0,7. 4.2 18.

Возможное решение:

Мощность, потребляемая лампой, равна произведению силы тока через нее на напряжение на ней: $P = I_L \cdot U_L$. Так как ВАХ позволяет для каждого напряжения найти силу тока, несложно по ней можно подобрать необходимое для обеспечения нужной мощности значение напряжения. Задача упрощается, так как с хорошей точностью это значение отвечает «узлу» координатной сетки на рисунке: при $U_L = 3$ В сила тока $I_L = 1,0$ А, и $P = 3,0$ Вт. При этом напряжение на лампе равно напряжению на участке цепи из аккумулятора и реостата, а сила тока через лампу равна силе тока через аккумулятор и реостат, то есть



$$U_L(I_L) = \mathcal{E} - I_L(R + r).$$

Таким образом, точка с координатами (3 В, 1,0 А) на нашей диаграмме должна являться пересечением графика ВАХ лампы и прямой $U = \mathcal{E} - I(R + r)$ (ее обычно называют *нагрузочной прямой*). Эту прямую можно построить по двум точкам: точке ее пересечения с ВАХ (3 В, 1,0 А) и точке, отвечающей нулевому току (8 В, 0 А) (см. рисунок). Наклон этой прямой отвечает сумме сопротивлений реостата и аккумулятора:

$$\Delta U = -(R + r) \cdot \Delta I \Rightarrow R = -\frac{\Delta U}{\Delta I} - r = 5 \text{ Ом} - 0,5 \text{ Ом} = 4,5 \text{ Ом}.$$

Для определения режима схемы с двумя лампами нужно построить ВАХ последовательного соединения двух одинаковых ламп. При таком соединении силы тока в лампах одинаковы, а суммарное напряжение в два раза больше, чем на каждой лампе. Поэтому нужно для каждой точки ВАХ одной лампы получить точку ВАХ последовательного соединения, удвоив величину напряжения при том же значении силы тока (новая кривая на рисунке). Так как сопротивление реостата и характеристики аккумулятора не изменились, то суммарная сила тока двух ламп и напряжение на них определяются пересечением той же нагрузочной прямой с новой ВАХ. Значит: $U_2 = 4$ В и $I_2 = 0,8$ А. Следовательно, $P_2 = I_2 \cdot U_2 = 3,2$ Вт.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	3490	5
	в интервале [3485;3495]	2
1.2	800	5
	в интервале [795;805]	2
1.3	17,14	5
	в интервале [17,10;17,18]	2
2.1	108	5
	в интервале [105;110]	1
2.2	135	5
	в интервале [130;140]	1
3.1	3	5
	2 или 4	2
3.2	2	5
	1	3
3.3	5	5
	4 или 6	1
4.1	4,5	5
	в интервале [4,3;4,7]	2
4.2	3,2	5
	в интервале [3,1;3,3]	2
Максимальная оценка		50