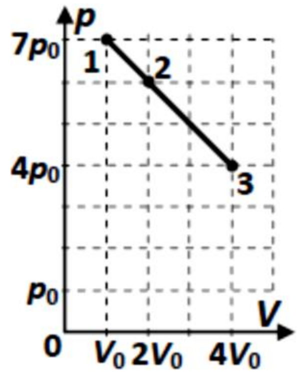
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2025-2026 года, вопросы по физике.

Вариант 7 (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 $A_{12} \equiv A = 1080{,}3$ 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. Универсальную газовую постоянную считайте равной $R \approx 8{,}31$ Дж/(моль·К).

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

Ответы: 1.1. **2327**. 1.2 **180**. 1.3. **27,7**.

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 побираются по любым двум точкам, например:

$$\left\{\begin{matrix} y(1) = k + b = 7 \\ y(4) = 4k + b = 4 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{matrix} k = -1 \\ b = 8 \end{matrix}\right. .$$

Уравнение процесса: $y = 8 - x$. Работа газа на участке процесса от точки 1 до произвольной точки вычисляется как площадь трапеции: $A_{1x} = \frac{p_0+p}{2}(V - V_0) = \frac{p_0V_0}{2}(15 - x)(x - 1)$. Например, для точки 2 значение $x = 2$, и поэтому $A = \frac{13}{2}p_0V_0 \Rightarrow A_{1x} = \frac{A}{13}(15 - x)(x - 1)$.

Изменение внутренней энергии газа на участке процесса от точки 1 до произвольной точки

$$\Delta U = \frac{3}{2}(pV - p_0V_0) = \frac{3}{2}p_0V_0(yx - 1) = \frac{3A}{13}(7 - x)(x - 1).$$

В соответствии с I Началом термодинамики

$$Q_{1x} = A_{1x} + \Delta U = \frac{4A}{13}(9 - x)(x - 1).$$

Следовательно, $Q_{12} = \frac{28}{13}A = 2326{,}8$ Дж. В ответе мы должны записать $Q_{12} \approx 2327$ Дж. Для всего процесса 1-2-3 (конечное значение $x = 4$) $Q_{13} = \frac{60}{13}A = 4986$ Дж.

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

$$T(x) = \frac{pV}{\nu R} = \frac{p_0V_0}{\nu R}yx = \frac{2A}{13R}(8 - x)x \Rightarrow \Delta T(x) = \frac{2A}{13R}(7 - x)(x - 1).$$

Для всего процесса 1-2-3 изменение температуры $\Rightarrow \Delta T = \frac{18A}{13R} \approx 180$ К.

Значит, средняя теплоемкость для всего процесса 1-2-3 $C_{cp} = \frac{Q_{13}}{\Delta T} = \frac{60}{13}A\frac{13R}{18A} = \frac{10}{3}R \approx 27{,}7$ Дж/К. Отметим, что мы можем получить среднюю теплоемкость на участке процесса от точки 1 до произвольной точки: $C_{cp}(x) = \frac{Q_{1x}}{\Delta T} = 2\frac{9-x}{7-x}R$. В точке $x = 7$ средняя теплоемкость обращается в «бесконечность», так как в этой точке температура равна начальной.

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 μ = 0,25 эта максимальная скорость равна v_m = 110 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 μ' = 0,49? Ответ запишите в км/ч, с точностью до целого значения.

Корпус автомобиля переделали, не меняя его массы. Оказалось, что переделка не повлияла на величину силы лобового сопротивления, но из-за нее появилась подъемная сила. Известно, что величина этой подъемной силы тоже пропорциональна квадрату скорости автомобиля, и при скорости v_m ее величина составляет 3/28 от величины действующей на автомобиль силы тяжести.

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

Ответы: 2.1. **154**. 2.2. **140**.

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 β. 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 $v'_m = \sqrt{\frac{\mu' mg}{\beta}} = v_m\sqrt{\frac{\mu'}{\mu}} = 154$ км/ч.

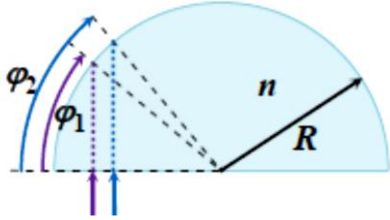
После переделки кузова сила нормальной реакции поверхности дороги уменьшается из-за подъемной силы, и вместе с ней уменьшается сила трения скольжения колес о дорогу. С учетом данных условия о величине подъемной силы новое уравнение движения

$$ma = \mu'\left(mg - \frac{3}{28}\cdot mg\cdot\frac{v^2}{v_m^2}\right) - \mu mg\cdot\frac{v^2}{v_m^2} = mg\left(\mu' - [\mu - 0{,}25\mu']\cdot\frac{v^2}{v_m^2}\right).$$

Новая максимальная скорость тоже отвечает обращению ускорения в ноль, следовательно

$$\mu' - \left[\mu + \frac{3}{28}\mu'\right]\cdot\frac{v^2}{v_m^2} = 0 \Rightarrow v''_m = v_m\sqrt{\frac{28\mu'}{28\mu + 3\mu'}} = \frac{14}{11}\cdot v_m = 140 \text{ км/ч}.$$

Задача 3. На плоскую поверхность прозрачного полуцилиндра радиусом R = 7,6 см падают нормально два лазерных луча (которые можно считать узкими пучками параллельных световых лучей) – фиолетовый и синий. Радиусы, проведенные в точки падения лучей от оси полуцилиндра, составляют с этой поверхностью углы φ_1 = 40° и φ_2 = 50° соответственно. Показатель преломления материала



полуцилиндра практически одинаков для этих лучей и с хорошей точностью равен $n = \sqrt{2} \approx 1{,}414$. Поглощением энергии света в этом материале можно пренебречь, но стык поверхностей (цилиндрической и плоской) покрыт полностью поглощающим свет составом. Кроме того, при анализе хода лучей считайте, что при падении луча изнутри на поверхности полуцилиндра с углом, меньшим угла полного внутреннего отражения, интенсивность отраженного луча заметно меньше интенсивности падающего, и при третьем таком отражении существованием отраженного луча можно пренебречь.

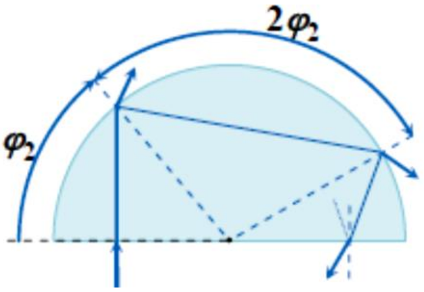
3.1. Какое количество «фиолетовых» лучей выйдет наружу из полуцилиндра?

3.2. Какое количество «синих» лучей выйдет наружу из полуцилиндра?

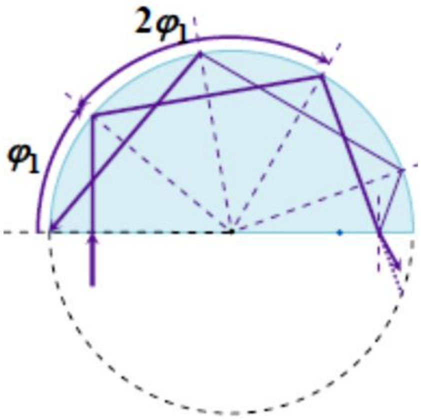
3.3. На каком расстоянии друг от друга находятся точки выхода этих лучей через плоскую поверхность? Ответ запишите в мм с точностью до целого значения.

Ответы: 3.1. **1**. 3.2. **3**. 3.3. **10**.

Возможное решение:
Начнем с того, что определим для материала полуцилиндра угол полного внутреннего отражения: $\alpha_{ПВО} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right) = 45°$ и заметим, что углы падения лучей на цилиндрическую поверхность изнутри равны $\alpha = 90° - \varphi$, то есть 50° для фиолетового луча и 40° для синего. Выполнив построение хода лучей, мы обнаруживаем, что для луча, отраженного от цилиндрической поверхности и попадающего на нее же, угол падения в следующей точке не изменится: точки падения и точка на оси полуцилиндра образуют равнобедренный треугольник, в котором углы при основании равны. Кроме того, угол при вершине этого треугольника равен $180° - 2\alpha = 2\varphi$, то есть угловой размер дуги между двумя соседними точками отражения всегда равен 2φ. Рассмотрим с учетом этого ход синего луча. Точка первого отражения соответствует $\varphi_I = \varphi_1 = 50°$, второго – $\varphi_{II} = 3\varphi_1 = 150°$, а в третий раз отражение происходит уже от плоской поверхности. Углы падения в первых двух случаях равны 40°, в третий, как ясно из построения (см. рисунок), 20°, то есть все они меньше $\alpha_{ПВО}$. Во всех трех случаях есть преломленные лучи, и после третьего отражения существованием продолжения луча внутри полуцилиндра (согласно условию) можно пренебречь. Итак, из полуцилиндра наружу **3 синих луча**.

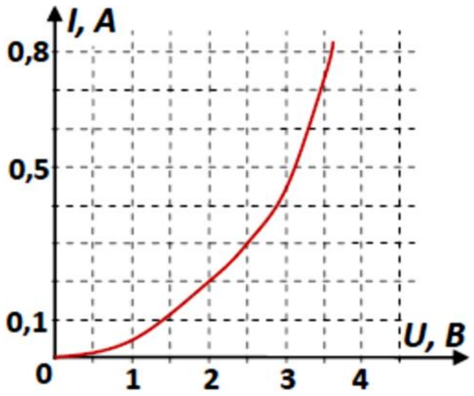


В случае фиолетового луча при отражении от цилиндрической поверхности угол падения равен 50°, и он больше $\alpha_{ПВО}$. Значит, в первых двух точках падения ($\varphi'_I = \varphi_2 = 40°$ и $\varphi'_{II} = 3\varphi_2 = 120°$) происходит полные внутреннее отражение, и только при третьем падении – уже на плоскую поверхность, где угол падения (см. рисунок) равен 20°, впервые появляется преломленный луч. Отраженный луч, идущий от этой точки, симметричен продолжению падающего на нее луча. Точка следующего падения отраженного луча на цилиндрическую поверхность симметрична точке пересечения продолжения падающего луча и продолжения цилиндрической поверхности. Поэтому ясно, что угол падения отраженного луча на цилиндрическую поверхность остается равным 50°, и снова происходят полные внутренние отражения (в четвертой и пятой точках отражения), а затем этот луч попадает точно на стык поверхностей (это можно было сразу понять, так как после первого отражения угловой размер «оставшейся» до стыка дуги (320°) кратен 80°). На стыке луч будет поглощен, и далее на пойдет. Итак, из полуцилиндра выйдет только **1 фиолетовый луч**.



Для расчета расстояния между точками выхода определим расстояния до этих точек от оси цилиндра r. У синего луча высота точки второго отражения над плоской поверхностью $h_1 = R \cdot \sin(30°) = 0{,}5 \cdot R$, и поэтому $r_1 = R \cdot \cos(30°) - 0{,}5 \cdot R \cdot \text{tg}(20°) \approx 0{,}6840 \cdot R$. Для фиолетового луча аналогично $r_2 = R \cdot \cos(60°) + R \cdot \sin(60°) \cdot \text{tg}(20°) \approx 0{,}6840 \cdot R$. Таким образом, $\Delta \equiv r_2 - r_1 \approx 0{,}1312 \cdot R \approx 9{,}97$ мм. В ответе нужно указать $\Delta \approx 10$ мм.

Задача 4. Светодиоды обычно являются *нелинейными элементами*: так как концентрация носителей заряда в их материале зависит от напряженности электрического поля, то удельное сопротивление (а вместе с ним и сопротивление светодиода) зависит от приложенного напряжения. Поэтому закон Ома в обычной форме для них не выполняется. На графике показана ВАХ (вольт-амперная характеристика, то есть связь силы тока с приложенным напряжением) для некоторого светодиода. Этот светодиод подключили к аккумулятору с ЭДС $\mathcal{E} = 4$ В и внутренним сопротивлением r = 0,2 Ом последовательно с реостатом. Сопротивление реостата было выбрано таким образом, чтобы потребляемая светодиодом мощность равнялась P = 750 мВт.



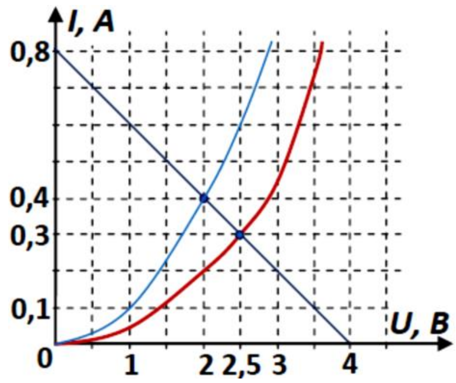
4.1. Определите величину R этого сопротивления реостата. Ответ запишите в омах, с точностью до десятых.

4.2. После этого, не изменяя сопротивление реостата, параллельно этому светодиоду подключили еще один, точно такой же. Найдите суммарную мощность потребления обоих светодиодов P_2 в получившейся схеме. Ответ запишите в милливаттах, с точностью до целого значения.

Ответы: 4.1. **4,8**. 4.2. **800**.

Возможное решение:

Мощность, потребляемая лампой, равна произведению силы тока через нее на напряжение на ней: $P = I_Л \cdot U_Л$. 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 $U_Л$ = 3 В сила тока $I_Л$ = 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



$$U_Л(I_Л) = \mathcal{E} - I_Л(R + r).$$

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.