

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЭТАП

МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ



2014/2015 учебный год

РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА

9 класс

Задача 1. Постоянная планка

В системе (рис.1) найдите величины сил, с которыми грузы действуют на однородную планку. При каких значениях массы M возможно равновесие грузов на планке? Нити и блоки невесомы. Трения нет. Масса m известна.

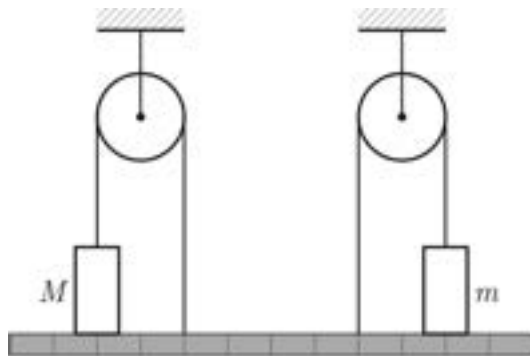


рис. 1

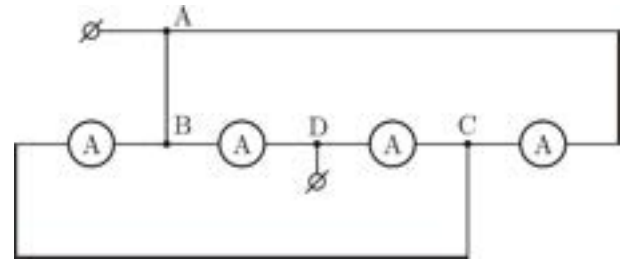


рис. 2

Задача 2. Карлсон уже не тот

Однажды у Карлсона заглох моторчик, и он начал падать вертикально вниз с постоянной скоростью $v_1 = 6$ м/с. После ремонта моторчик стал развивать постоянную силу тяги. Из-за этого, при вертикальном подъеме Карлсон выходил на скорость $v_2 = 3$ м/с. С какой постоянной скоростью он двигался в горизонтальном полете? Считать силу сопротивления воздуха пропорциональной квадрату скорости. Карлсон, будучи в меру упитанным, одинаково обтекаем во всех направлениях.

Задача 3. Амперметры

Из четырёх одинаковых амперметров собрали цепь (рис. 2), которую подключили к источнику с небольшим напряжением. Определите силу тока, текущего через переключку АВ (сопротивление переключки и соединительных проводов много меньше сопротивления амперметра), если сумма показаний всех амперметров $I_0 = 49$ мА.

Задача 4. Полёт камня

Величина скорости камня, брошенного с горизонтальной плоскости под углом к горизонту, через время $\tau = 0,5$ с после броска составляла $\alpha = 80\%$ от величины начальной скорости, а ещё через τ , соответственно $\beta = 70\%$.

- 1) Найдите продолжительность T полёта камня.
- 2) На каком расстоянии S от места броска упал камень?

Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Задача 5. Положение Солнца

На листе с приведённой фотографией (рис. 3) восстановите положение Солнца и верхнего края забора. Все построения проводите непосредственно на выданном листе с фотографией и по окончании тура сдайте его вместе с работой. В своей тетради приведите необходимые пояснения.

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Результаты проверки теоретического тура смотрите 18 января с 8.00 на сайте <http://www.physolymp.ru>

18 января в 18.30 на портале online.mipt.ru представитель Центральной предметно-методической комиссии по физике проведёт консультацию по выполнению экспериментального тура.

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Шифр работы: _____
(переписать с обложки тетради)



рис. 3

10 класс

Задача 1. Ящик с пружинами

Внутри черного ящика находятся две легкие пружины с жесткостями k и $2k$, связанные легкой нерастяжимой нитью, и легкий подвижный блок (рис. 4). В начальном состоянии, внешняя сила $F = 6$ Н, приложенная к свободному концу нити, обеспечивает деформацию нижней пружины $x = 1$ см. Какую минимальную работу A должна совершить внешняя сила, чтобы сместить вниз свободный конец нити ещё на x ?

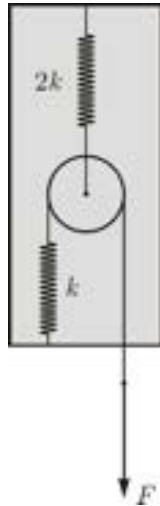


рис. 4

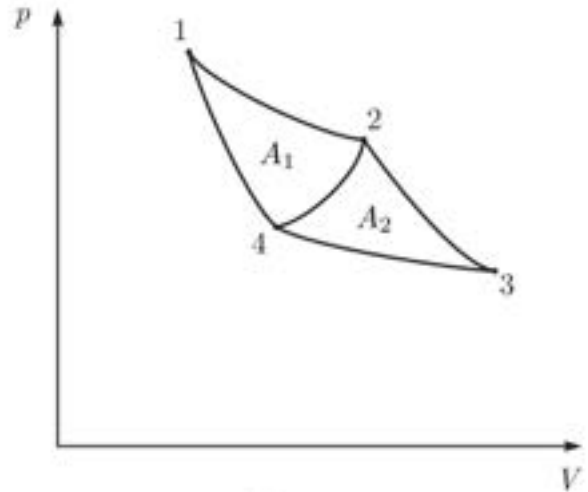


рис. 5

Задача 2. Два в одном

На pV -диаграмме (рис. 5) изображены три замкнутых цикла в которых рабочим телом является идеальный газ: 1-2-4-1, 2-3-4-2 и 1-2-3-4-1. На участках 1-2 и 3-4 температура газа постоянна, а на участках 2-3 и 4-1 газ теплоизолирован. Известно, что в цикле 1-2-4-1 совершается работа $A_1 = 5$ Дж, а в цикле 2-3-4-2 — работа $A_2 = 4$ Дж. Найдите коэффициент полезного действия цикла 1-2-3-4-1, если коэффициенты полезного действия циклов 1-2-4-1 и 2-3-4-2 равны.

Задача 3. Приключения пробирки

Пробирку длиной $l = 35$ см, перевернули вверх дном и полностью погрузили в ртуть так, что дно пробирки касается поверхности жидкости (пробирка вертикальна). При этом жидкость заполнила часть пробирки длиной $h = 4$ см. Затем пробирку медленно подняли вверх так, что её нижний край оказался чуть ниже поверхности ртути (пробирку из ртути не вынимали). Считайте, что в процессе подъема температура воздуха в пробирке не менялась и оставалась равной $T_0 = 300$ К. Затем температуру воздуха в пробирке изменили, и ртуть вновь заполнила часть пробирки длиной h . Найдите конечную температуру T воздуха в пробирке. Атмосферное давление $p_0 = 760$ мм рт. ст.

Задача 4. Сложный сплав

Из сплава с линейно изменяющимся от расстояния удельным сопротивлением изготовлены два тонких проводника одинаковой длины с вдвое отличающейся площадью сечения. Удельное сопротивление с одного конца каждого из проводников равно ρ_1 , а с другого ρ_2 . Проводники соединили параллельно и подключили к идеальному источнику с

напряжением U , а к их серединам (точки a и b) подключили идеальный вольтметр (рис. 6).
Найдите показание V вольтметра.

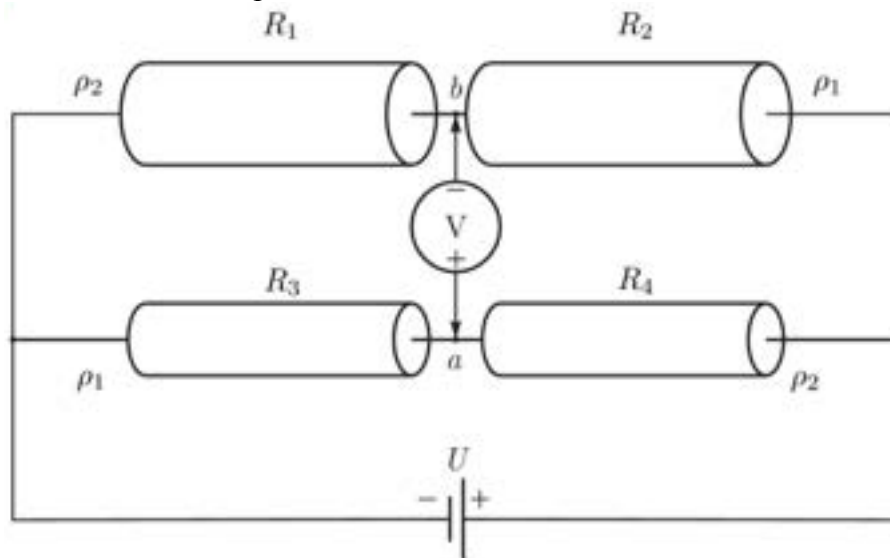


рис. 6

Задача 5. Две шайбы

На гладкой горизонтальной поверхности находятся две одинаковые гладкие шайбы радиуса R . Одной из шайб сообщают скорость v_0 вдоль оси x (рис. 7). При каком значении прицельного параметра d проекция вектора скорости второй шайбы на ось y после абсолютно упругого удара максимальна?

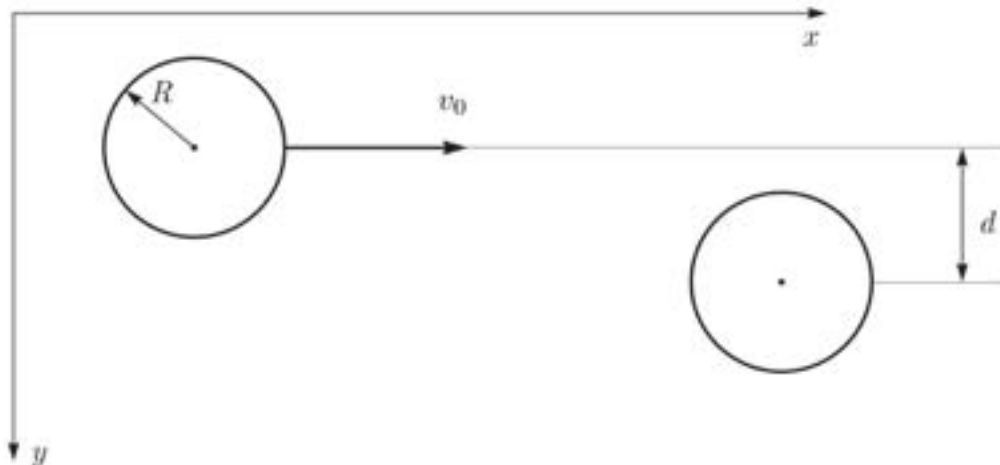


рис. 7

Разбор теоретического тура начнётся 17 января в 20.30 на портале online.mipt.ru
Результаты проверки теоретического тура смотрите 18 января с 8.00 на сайте <http://www.physolymp.ru>

18 января в 18.30 на портале online.mipt.ru представитель Центральной предметно-методической комиссии по физике проведёт консультацию по выполнению экспериментального тура.

11 класс

Задача 1. Ускорение доски

На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска длиной L и массой M . На краю доски покоится небольшой брусок. На брусок начинает действовать постоянная горизонтальная сила, так что он движется вдоль доски с ускорением, которое больше ускорения доски. Найдите ускорение, с которым двигалась доска, если за время движения по ней бруска выделилось количество теплоты Q .

Задача 2. Маятник

Маленький шарик колеблется на лёгкой нерастяжимой нити в поле тяжести g с большой угловой амплитудой α . Найдите величину ускорения, с которым движется шарик в те моменты времени, когда величина силы натяжения в 4 раза больше ее минимальной величины. При каких значениях α возможна такая ситуация?

Задача 3. Перезарядка конденсаторов

Три одинаковых конденсатора ёмкостью C , резистор сопротивлением R и диод включены в схему, представленную на рис. 8. Вольтамперная характеристика диода представлена на рис. 9. Первоначально левый (на рисунке) конденсатор заряжен до напряжения U_0 , при этом заряд верхней пластины — положительный. Два других конденсатора не заряжены, ключ разомкнут. Затем ключ замыкают.

Определите:

1. напряжение на конденсаторах через большой промежуток времени после замыкания ключа;
2. тепло, которое выделится в схеме к этому моменту времени;
3. тепло, выделившееся к этому моменту на диоде;
4. тепло, выделившееся к этому моменту на резисторе.

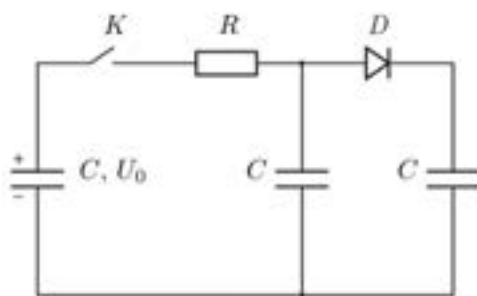


рис. 8

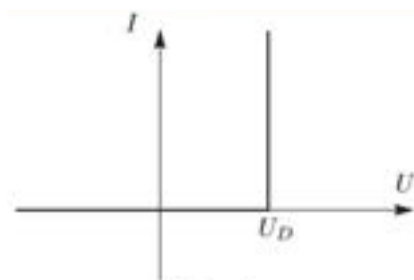


рис. 9

Задача 4. Циклический процесс

На рис. 10 представлен график циклического процесса. Рабочее тело - многоатомный идеальный газ. Найдите КПД этого процесса.

Примечание: процесс с постоянной теплоёмкостью C называется политропическим и для идеального газа задаётся уравнением

$$pV^{\frac{C_p - C}{C_p - C}} = \text{const},$$

где C_p — теплоёмкость газа при постоянном давлении, а C_v — теплоёмкость газа при постоянном объёме.

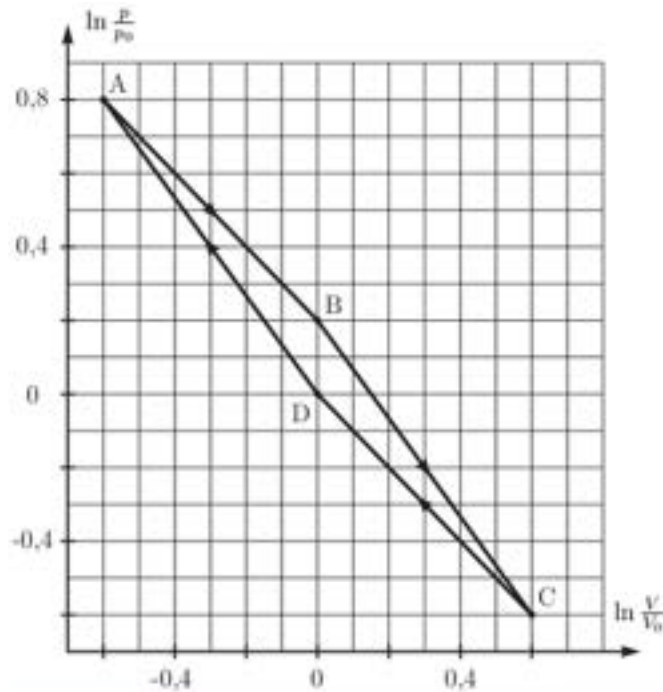


рис. 10

Задача 5. Провисла-натянулась

На гладкой горизонтальной плоскости находятся три бруска, массы которых равны m_1 , m_2 и m_3 . На рис. 11 приведён вид сверху. Упругая лёгкая резинка связывает бруски 1 и 2 и проходит через блок, прикреплённый к бруску 3. Трения в системе нет. Исходно бруски неподвижны, а резинка чуть провисает. Бруску 3 ударом (мгновенно) сообщают скорость V .

1. Найдите скорости брусков в момент, когда растяжение резинки наибольшее.
2. Какими будут скорости брусков, когда резинка снова провиснет?
3. В случае, когда $V = 1$ м/с, $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 2$ кг, $m_3 = 3$ кг найдите скорость v_3 третьего бруска, когда растяжение резинки наибольшее.



рис. 11

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Результаты проверки теоретического тура смотрите 18 января с 8.00 на сайте <http://www.physolymp.ru>

18 января в 18.30 на портале online.mipt.ru представитель Центральной предметно-методической комиссии по физике проведёт консультацию по выполнению экспериментального тура.

Возможные решения

9 класс

Задача 1. Постоянная планка

Равновесие возможно, если существуют отличные от нуля силы реакции грузов и планки и силы натяжения нитей. Для нахождения сил натяжения рассмотрим только внешние силы, действующие на систему грузы+блоки+планка. Правила моментов относительно точек O_1 и O_2 , лежащих на линиях действия сил натяжения верхних нитей (рис. 12), имеют вид:

$$\begin{aligned} Mg x + 2T_2 6x &= 2mg 3x + mg 7x & (O_1) \\ mg x + 2T_1 6x &= 2mg 3x + Mg 7x & (O_2) \end{aligned}$$

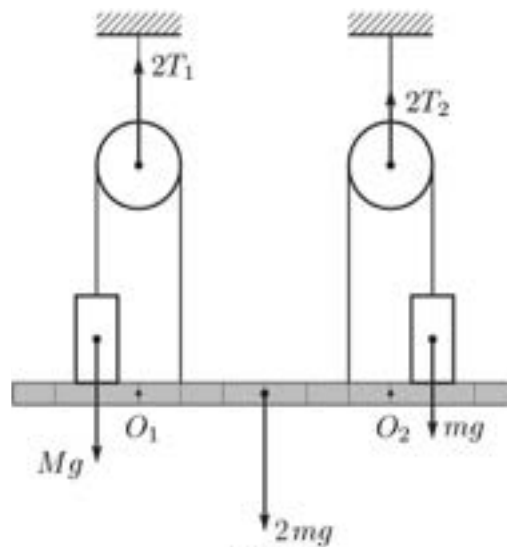


рис. 12

$$T_1 = \frac{5m + 7M}{12} g; \quad T_2 = \frac{13m - M}{12} g$$

Откуда

Видно, что левая нить не провисает при любых массах M , а правая натянута при $M < 13m$. Запишем условия равновесия для каждого из грузов в отдельности:

$$\begin{aligned} Mg &= T_1 + N_1, \\ mg &= T_2 + N_2. \end{aligned}$$

Откуда с учетом выражений для сил натяжения силы реакции равны: $N_1 = 5(M - m)g / 12$ и $N_2 = (M - m)g / 12$. Положительные значения сил реакции будут только при $M > m$.

Окончательно, равновесие системы возможно для $m \leq M < 13m$.

Примерные критерии оценивания

Проанализированы условия равновесия	1 балл
Записаны уравнения моментов для системы (для планки).....	2 балла
Получено условие для натянутых нитей	2 балла

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Уравнения равновесия грузов.....	2 балла
Условия сохранения контакта грузов и планки.....	2 балла
Явно записан диапазон значений для M	1 балл

Задача 2. Карлсон уже не тот

По условию сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости, то есть задаётся формулой kv^2 . При свободном падении сила тяжести равна силе сопротивления:

$$mg = kv_1^2, \quad k = \frac{mg}{v_1^2}$$

Обозначим силу тяги моторчика после ремонта F_T . При вертикальном взлёте сила тяги равна сумме силы тяжести и силы сопротивления:

$$F_T = mg + kv_2^2 = mg \left(1 + \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right).$$

При горизонтальном полёте сила тяги компенсирует силу тяжести, направленную вертикально и силу сопротивления, направленную горизонтально:

$$F_T^2 = (mg)^2 + (kv_3^2)^2 = (mg)^2 \left(1 + \left(\frac{v_3}{v_1} \right)^4 \right).$$

Из приведённой выше системы уравнений найдём v_3 :

$$v_3 = \sqrt[4]{v_2^2 (v_2^2 + 2v_1^2)} \approx 5,2 \text{ м/с.}$$

Примерные критерии оценивания

За второй закон Ньютона для свободного падения	2 балла
Выражена сила тяги при вертикальном взлёте	3 балла
Выражена сила тяги при горизонтальном полёте.....	3 балла
Получен ответ в символьной форме	1 балл
Числовой ответ.....	1 балл

Задача 3. Амперметры

Пронумеруем амперметры слева направо (

рис. 13) и изобразим эквивалентную схему (рис. 14). Поскольку все амперметры одинаковые, одинаковы и их внутренние сопротивления. Значит, $I_1 = I_4 = I$, $I_3 = I_1 + I_4 = 2I$. Обозначим внутреннее сопротивление амперметра r ; тогда напряжение источника равно

$$U = I_1 r + I_3 r = 3I r = I_2 r, \quad I_2 = 3I$$



По условию $I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 7I$, откуда $I = I_0/7 = 7$ мА. Искомая сила тока через перемычку АВ $I_{AB} = I_1 + I_2 = 4I = 28$ мА.

Примерные критерии оценивания

Указано, что все амперметры имеют равные внутренние сопротивления.....	1 балл
Найдена сила тока I_1	2 балла
Найдена сила тока I_2	2 балла
Указано, что $I_{AB} = I_1 + I_2$	2 балла
Найдена сила тока I_{AB}	3 балла

Задача 4. Полёт камня

Пусть v_{x0} — проекция скорости камня в начальный момент на горизонтальную ось, а v_{y0} — на вертикальную. Если пренебречь сопротивлением воздуха, то проекция скорости камня на горизонтальную ось сохраняется, а проекция на вертикальную ось будет изменяться по закону

$$v_y(t) = v_{y0} - gt.$$

Величина скорости камня в любой момент может быть найдена по формуле

$$v(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_{x0}^2 + (v_{y0} - gt)^2}.$$

По условию

$$v(\tau) = \sqrt{v_{x0}^2 + (v_{y0} - g\tau)^2} = \alpha \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2},$$

$$v(2\tau) = \sqrt{v_{x0}^2 + (v_{y0} - 2g\tau)^2} = \beta \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2}.$$

Решая эту систему, найдём: (в разосланном решении подставляли время $\tau = 1$ с)

при $\tau = 0,5$ с скорость $v_{x0} \approx 10,53$ м/с (при $\tau = 1$ с скорость $v_{x0} \approx 21,1$ м/с),

при $\tau = 0,5$ с скорость $v_{y0} \approx 10,85$ м/с (при $\tau = 1$ с скорость $v_{y0} \approx 21,7$ м/с)

При $\tau = 0,5$ с время полёта $t_n = 2v_{y0}/g \approx 2,21$ с, $t_n \approx$

Расстояние от места броска до места падения

$$l = v_{x0}t_n \approx 23,3 \quad \tau = \quad \tau = \quad l \approx$$

Примерные критерии оценивания

Указано, что горизонтальная проекция скорости постоянна	1 балл
Уравнение для вертикальной проекции скорости	1 балл
Система или аналогичная ей.....	2 балла

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

- Формула для времени полёта $t_{\text{п}} = 2v_{y0}/g$ 1 балл
- Формула $l = v_{x0}t_{\text{п}}$ 1 балл
- Найдена величина времени падения с точностью не хуже 5% 2 балла
(если точность 6-10% даётся 1 балл, если точность хуже баллов не даётся)
- Найдено расстояние от точки броска до падения с точностью не хуже 5% 2 балла
(если точность 6-10% даётся 1 балл, если точность хуже баллов не даётся)

Задача 5.

Световые лучи распространяются прямолинейно. Слева на фотографии запечатлены несколько людей вместе с отбрасываемыми ими тенями. Полностью видна тень девушки в чёрном плаще. Через вершины её головы и тени проведём прямую 1, на которой будет лежать изображение Солнца (рис. 15). Тоже справедливо, например, для ребёнка в коляске и его тени. Если на фотографии тень от какого-нибудь прута забора и прут лежат на одной прямой, то на этой же прямой находится изображение Солнца. Найдём на фотографии наиболее подходящий прут и проведём через него линию 2. На пересечении линий 1 и 2 лежит изображение Солнца. Обозначим эту точку S . Зная положение Солнца, можно восстановить положение верхнего края забора. Проведём прямую через верхушку тени, отбрасываемой одним из столбов, и точку S . Проведём также прямую, являющуюся продолжением этого столба. На пересечении двух этих прямых лежит вершина столба (точка A). Аналогичным образом можно найти вершину другого столба (точка B) и через две этих точки провести прямую, соответствующую верхнему краю столба. Эта прямая должна также проходить через точку S — пересечение прямых, являющихся продолжениями тени верхнего края забора и нижнего края забора. Эта точка также может быть использована для восстановления верхнего края забора.

Примерные критерии оценивания

Проведена прямая 1	2 балла
Проведена прямая 2	2 балла
Отмечено положение Солнца	1 балл
Отмечена вершина одного из столбов	2 балл
Отмечена вершина другого столба либо точка S	2 балла
Проведена линия соответствующая верхнему краю забора	1 балл

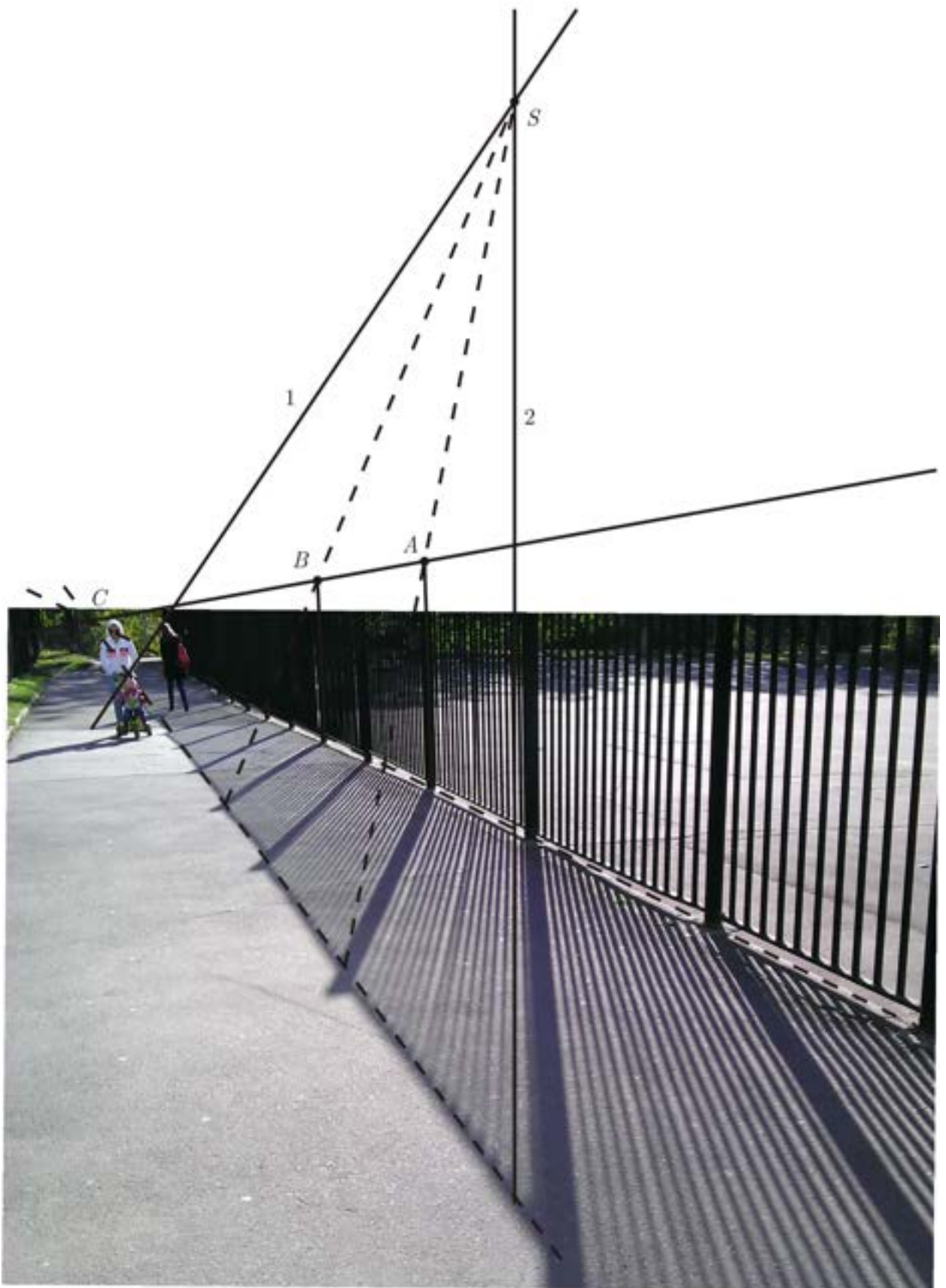


рис. 15

10 класс

Задача 1. Ящик с пружинами

Из-за блока сила, растягивающая верхнюю пружину вдвое больше. Тогда, по закону Гука, деформации верхней и нижней пружин одинаковы: $F = kx$, $2F = 2kx$. Пусть при смещении свободного конца на x вниз растяжение верхней пружины увеличивается на y . При этом блок опустится вниз на y . Как было показано, растяжение нижней пружины также равно y . Поскольку нить нерастяжима $x = 3y$.

Внешняя сила сначала равна $F = kx$, в конце $F_1 = k(x + y) = (4/3)kx = (4/3)F$ и линейно зависит от x . Работу этой силы найдём как площадь под графиком $F(y)$:

$$A = \frac{F + F_1}{2} x = \frac{7}{6} Fx = 7 \cdot 10^{-2} \text{ Дж.}$$

Примерные критерии оценивания

Найдена связь между силами натяжения нижней и верхней пружины.....	2 балла
Найдена связь между $x = 3y$	3 балла
Записана зависимость $F(y)$	1 балл
Получен ответ.....	4 балла

Задача 2. Два в одном

Пусть в цикле 1-2-4-1 на участке 1-2 к газу подводят количество теплоты Q_1 , а на участке 2-4 газ отдаёт количество теплоты Q . В цикле 2-3-4-2 на участке 4-2 к газу подводят количество теплоты Q , а на участке 3-4 газ отдаёт количество теплоты Q_2 . В цикле 1-2-3-4-1 на участке 1-2 к газу подводят количество теплоты Q_1 , а на участке 3-4 газ отдаёт количество теплоты Q_2 . В циклах 1-2-4-1 и 2-3-4-2 газ (рабочее тело) проходит один и тот же участок 2-4, но в разных направлениях, поэтому в одном цикле на этом участке совершается положительная, а в другом такая же по величине, но отрицательная работа. Отсюда следует, что $A = A_1 + A_2$.

По определению коэффициента полезного действия

$$\eta_1 = \frac{A_1}{Q_1}, \quad \eta_2 = \frac{A_2}{Q}.$$

Поскольку $\eta_1 = \eta_2$, то $Q = (A_2/A_1)Q_1$. По закону сохранения энергии для цикла 1-2-4 $A_1 = Q_1 - Q$. Откуда

$$Q_1 = \frac{A_1^2}{A_1 - A_2}.$$

Зная работу A и тепло Q_1 , можно найти искомый КПД

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{A_1^2 - A_2^2}{A_1^2} = 36\%.$$

Примерные критерии оценивания

Связь между работами	$A = A_1 + A_2$	2 балла
Связь между количествами теплоты	$Q = (A_2/A_1)Q_1$	3 балла
Выражение для работы	$A_1 = Q_1 - Q$	2 балла
Конечный ответ	3 балла

Задача 3. Приключения пробирки

Пусть площадь S внутреннего сечения пробирки (перпендикулярного её оси). Проверим, не выходит ли часть воздуха из пробирки при её (почти полном) извлечении из ртути. В конечном состоянии объем воздуха не может превышать объема пробирки (иначе часть воздуха выйдет), а давление не может превышать атмосферного (давление равно атмосферному, если она будет заполнена в конечном положении целиком и меньше атмосферного, если в ней есть жидкость). Таким образом, по закону Бойля-Мариотта получаем условие:

$$p_{\text{нач}} V_{\text{нач}} = p_{\text{кон}} V_{\text{кон}} \leq p_0 V_{\text{пробирки}}, \text{ т.е. } p_{\text{нач}} V_{\text{нач}} \leq p_0 V_{\text{пробирки}} \text{ откуда } (p_0 + \rho g(l-h))(l-h) - p_0 l \leq 0$$

Это условие не выполняется! Поэтому мы приходим к выводу, что за время подъема часть воздуха из пробирки выходит. После подъема пробирки она будет целиком заполнена воздухом при атмосферном давлении. Запишем для этого случая уравнение состояния для воздуха в пробирке:

$$p_0 V_0 = \rho g H \cdot l S = \nu R T_0.$$

(1)

После изменения температуры уравнение состояния примет вид:

$$\rho g (H - h) \cdot (l - h) S = \nu R T.$$

(2)

Поделив уравнение (2) на (1) получим:

$$T = T_0 \frac{(H - h)(l - h)}{Hl} \approx 252 \quad \rightarrow - \quad \boxed{\times}$$

Если не учесть выход воздуха из пробирки, то получается **неправильный ответ**:

$$T = T_0 \frac{H - h}{H + (l - h)} = 202 \quad - \quad \boxed{\times}$$

Заметим, что температура плавления ртути $-38,8$ °C. Поэтому такая ситуация вряд ли реализуется.

Примерные критерии оценивания

Показано, что часть воздуха выходит из пробирки	3 балла
---	-------	---------

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Записаны необходимые уравнения состояния2 балла

Получен ответ5 баллов

Решения, в которых не учтён выход воздуха из пробирки, оцениваются из 3 баллов.

Задача 4. Сложный сплав

Сопротивление проводника длиной L и площадью поперечного сечения S , удельное сопротивление которого линейно изменяется с расстоянием от ρ_l до ρ_r можно найти по формуле:

$$R = \frac{\rho_l + \rho_r}{2} \frac{l}{S}.$$

Для нахождения показания вольтметра мысленно разобьём каждый проводник посередине на два последовательно соединённых (рис. 16). Применим для них формулу:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2 + (\rho_1 + \rho_2)/2}{\rho_1 + (\rho_1 + \rho_2)/2} = \frac{\rho_1 + 3\rho_2}{3\rho_1 + \rho_2}.$$

Поскольку при последовательном соединении проводников напряжение на них падает пропорционально сопротивлению, падение напряжение на резисторе R_2 :

$$V_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U \frac{3\rho_1 + \rho_2}{4(\rho_1 + \rho_2)},$$

аналогично

$$V_4 = U \frac{R_4}{R_3 + R_4} = U \frac{\rho_1 + 3\rho_2}{4(\rho_1 + \rho_2)}.$$

Падение напряжения на резисторе R_2 равно сумме падений напряжений на резисторе R_4 и вольтметре:

$$V_2 = V_4 + V, \quad V = V_2 - V_4 = \frac{U}{2} \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

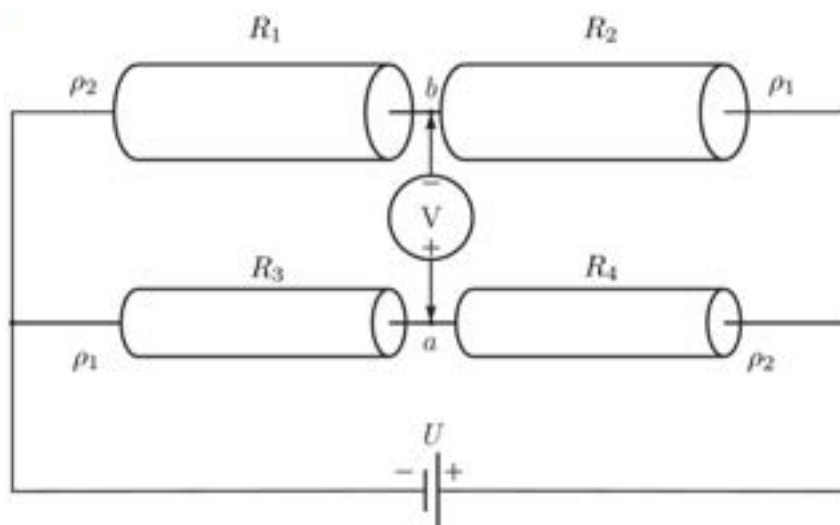


рис. 16

Примерные критерии оценивания

Формула расчета сопротивления проводника 2 балла

Напряжения на проводнике при последовательном соединении.....2 балла
 Выражение для показания вольтметра6 баллов

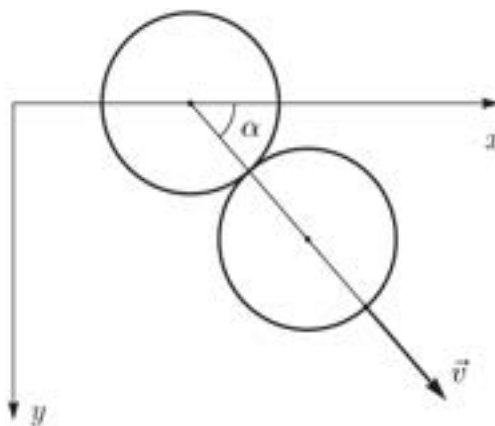
Задача 5. Две шайбы

Поскольку шайбы гладкие, при столкновении действующие между ними силы будут направлены вдоль прямой, соединяющей центры шайб (рис. 17). Введем обозначение v - скорость второй шайбы после столкновения. Поскольку шайбы одинаковы, их массы равны. По закону сохранения импульса скорость первой шайбы после столкновения будет равна $v_0 - v$. Поскольку удар абсолютно упругий, кинетическая энергия сохраняется:

$$v_0^2 = (v_0 - v)^2 + v^2 = v_0^2 - 2v_0v \cos\alpha + 2v^2, \quad v = v_0 \cos\alpha.$$

$$v \sin\alpha = v_0 \cos\alpha \sin\alpha = \frac{1}{2}v_0 \sin 2\alpha.$$

Проекция скорости второй шайбы на ось y есть
 Проекция максимальна при $\alpha = 45^\circ$, в этом случае $d = \sqrt{2}r$.



Примерные критерии оценивания

Записан закон сохранения импульса.....1 балл
 Записан закон сохранения энергии1 балл
 Найдена скорость второй шайбы после удара4 балла
 Правильно указано условие максимальности.....1 балл
 Получен ответ.....3 балла

11 класс

Задача 1. Ускорение доски

Пусть m — масса бруска, a — искомое ускорение доски, ka — ускорение бруска ($k > 1$), F — величина постоянной силы, действующая на брусок, $F_{\text{тр}}$ — величина силы трения. Запишем вторые законы Ньютона для бруска и доски в проекции на горизонтальную ось:

$$F - F_{\text{тр}} = mka,$$

$$F_{\text{тр}} = Ma.$$

Если за t обозначить время движения бруска от одного края доски до другого, то в лабораторной системе отсчёта путь, пройденный бруском, равен $L_m = kat^2 / 2$, а путь, пройденный доской, равен $L_M = at^2 / 2$. Разность этих путей есть длина доски:

$$L = L_m - L_M.$$

Работа силы, приложенной к бруску, равна

$$A = F \cdot L_m = (mka + Ma) \cdot L_m.$$

Запишем закон сохранения энергии для системы «брусок+доска»:

$$A = \frac{m}{2}(kat)^2 + \frac{M}{2}(at)^2 + Q = mkaL_m + MaL_M + Q.$$

С учётом выражения для работы после сокращения получим:

$$Q = Ma(L_m - L_M) = MaL, \quad a = \frac{Q}{ML}$$

Альтернативное решение

Количество выделившейся при трении теплоты равно произведению силы трения на относительное перемещение трущихся тел:

$$Q = F_{\text{тр}}L, \quad F_{\text{тр}} = \frac{Q}{L}$$

Ускорение доски $a = \frac{F_{\text{тр}}}{M} = \frac{Q}{LM}$

Примерные критерии оценивания решения (1)

Использован второй закон Ньютона для доски	1 балл
Использован второй закон Ньютона для бруска	1 балл
Записано выражение для пути, пройденного бруском	1 балл
Записано выражение для пути, пройденного доской	1 балл
Записано выражение для разности путей	1 балл
Записан закон сохранения энергии	1 балл
Получен ответ	4 балла

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Примерные критерии оценивания альтернативного решения

Формул для количества теплоты $Q = F_{\text{тр}} L$	4 баллова
Найдена сила трения	2 балла
Найдено ускорение доски	4 балла

Задача 2. Маятник

Обозначим массу шарика m , а длину нити l . Обратим внимание на то, что шарик в любой момент движется по окружности радиуса l , то есть амплитуда колебаний не должна превышать 90° . Рассмотрим момент, когда нить составляет угол φ с вертикалью. Запишем второй закон Ньютона для шарика в проекции на ось, параллельную нити:

$$m \frac{v^2}{l} = T - mg \cos \varphi.$$

Из закона сохранения энергии найдём квадрат скорости шарика:

$$m \frac{v^2}{2} = mgl(\cos \varphi - \cos \alpha), \quad mv^2 = 2gl(\cos \varphi - \cos \alpha)$$

Подставив в (1), получим

$$T = mg(3 \cos \varphi - 2 \cos \alpha).$$

Видно, что сила натяжения нити минимальна при $\varphi = \alpha$ и равна $T_{\min} = mg \cos \alpha$. При φ таком, что $\cos \varphi = 2 \cos \alpha$, $T = 4T_{\min} = 2mg \cos \varphi$. В этот момент нормальное ускорение шарика равно

$$a_n = \frac{T - mg \cos \varphi}{m} = g \cos \varphi,$$

а тангенциальное ускорение шарика равно

$$a_t = g \sin \varphi.$$

Полное ускорение шарика $a = g \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} = g$.

Сила натяжения нити может в 4 раза превышает минимальную, если существует такой угол φ , что $\cos \varphi = 2 \cos \alpha$, то есть

$$2 \cos \alpha \leq 1, \quad \alpha \geq 60^\circ.$$

Значит, описанная в задаче ситуация возможна при $60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$.

Примерные критерии оценивания

Найдена скорость шарика при заданном отклонении от вертикали	2 балла
Для шарика записан второй закон Ньютона в проекции на ось, параллельную нити ...	1 балл
Правильно указан момент, когда натяжение нити минимально	1 балл
Найдено искомое ускорение	3 балла
Указано, что $\alpha < 90^\circ$	1 балл

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Найдена минимальная амплитуда колебаний, при которой возможна описанная в задаче ситуация (60Y).....2 балла

Задача 3. Перезарядка конденсаторов

Нужно рассмотреть два случая: малых напряжений U_0 , когда правый конденсатор вообще не будет заряжаться, так как напряжение на среднем конденсаторе не превзойдёт напряжение открытия диода U_D , и случая, когда заряжается и правый конденсатор. Если диод не открывается, то первоначальный заряд левого конденсатора делится поровну между двумя конденсаторами. Напряжения на конденсаторах через большой промежуток времени после замыкания ключа:

$$U_1 = \frac{U_0}{2}, \quad U_2 = \frac{U_0}{2}, \quad U_3 = 0 \quad (\text{..... право}).$$

Видно, что этот случай реализуется при $U_D \geq U_0/2$. Выделившееся в цепи количество теплоты Q найдём из закона сохранения энергии:

$$Q = \frac{CU_0^2}{2} - 2 \frac{C(U_0/2)^2}{2} = \frac{CU_0^2}{4}.$$

Поскольку ток через диод не тѣк, всё тепло выделилось на резисторе.

Теперь рассмотрим случай $U_D < U_0/2$. При зарядке правого конденсатора напряжение на нём U_3 будет меньше, чем напряжение на среднем U_2 на величину U_D . Напряжения на левом и среднем конденсаторах U_1 и U_2 к окончанию перезарядки будут равными: $U_1 = U_2 = U$. Условие сохранения заряда:

$$CU_0 = 2CU + C(U - U_D), \quad U = \frac{U_0 + U_D}{3}$$

Общее количество теплоты, выделившееся к концу процесса в схеме будет равно разности начальной и конечной энергий конденсаторов:

$$Q = \frac{CU_0^2}{2} - 2 \frac{CU^2}{2} - \frac{C(U - U_D)^2}{2} = \frac{C(U_0^2 - U_D^2)}{3}.$$

$$U_3 = U - U_D = \frac{(U_0 - 2U_D)}{3}.$$

Напряжение на третьем конденсаторе:

Тепло, выделившееся на диоде

$$Q_D = q_D \cdot U_D,$$

где $q_D = CU_3$ — заряд правого конденсатора к концу процесса перезарядки. Таким образом

$$Q_D = \frac{C(U_0 U_D - 2U_D^2)}{3}.$$

Остальное тепло выделится на резисторе:

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

$$Q_R = Q - Q_D = \frac{C(U_0^2 - U_0 U_D + U_D^2)}{3}.$$

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Примерные критерии оценивания

Рассмотрен и проанализирован случай $U_D \geq U_0 / 2$	3 балла
Для случая $U_D < U_0 / 2$:	
Указано, что $U_3 = U_2 - U_D$	1 балл
Указано, что $U_1 = U_2$	1 балл
Найдены напряжения U_1, U_2, U_3	1 балл
Записан закон сохранения энергии	1 балл
Найдено всё выделившееся тепло Q	1 балл
Найдено тепло, выделившееся на диоде Q_D	1 балл
Найдено тепло, выделившееся на резисторе Q_R	1 балл

Задача 4. Циклический процесс

График процесса состоит из четырёх прямых, каждую из которых можно задать уравнением вида

$$y + nx = c,$$

где $y = \ln(p / p_0)$, $x = \ln(V / V_0)$, а c — некоторая константа. Для участков АВ и CD $n = 1$, а для участков ВС и AD $n = 4/3$. Произведя потенцирование выражения, получим

$$pV^n = c_1, \quad c_1 = p_0 V_0^n e^{c_1}$$

Участки АВ и CD описываются уравнением $pV = \text{const}$, то есть являются изотермами, а участки ВС и AD описываются уравнением $pV^{4/3} = \text{const}$, то есть являются адиабатами (газ многоатомный). Значит, исследуемый процесс есть цикл Карно, его КПД

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

где T_1 — температура на верхней изотерме, а T_2 — на нижней. Из уравнения состояния идеального газа следует, что

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_D V_D}{p_B V_B} = \frac{p_D}{p_B} = e^{-0,2} = 0,82.$$

Откуда

$$\eta = 18\%.$$

Примерные критерии оценивания

Показано, что участки АВ и CD — изотермы	2 балла
Показано, что участки ВС и AD — адиабаты	2 балла
Выражение для КПД цикла Карно	2 балла
Получен ответ	4 балла

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Задача 5. Провисла-натянулась

1. Пусть T — сила натяжения резинки, тогда сила, действующая со стороны блока на брусок 3 равна $2T$. Ускорения брусков обозначим a_1 , a_2 и a_3 соответственно. По второму закону Ньютона

$$m_1 a_1 = T; m_2 a_2 = T; m_3 a_3 = 2T.$$

Тогда тоже отношение справедливо для изменения импульсов (с учётом направлений)

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 = (V - v_3) \frac{m_3}{2}.$$

Скорость изменения длины резинки $dL/dt = 2v_3 - (v_1 + v_2)$ при наибольшем растяжении обращается в ноль, то есть $v_1 + v_2 = 2v_3$.

Откуда

$$v_3 = V \frac{m_3(m_1 + m_2)}{(4m_1 m_2 + m_1 m_3 + m_3 m_2)};$$

$$v_1 = V \frac{2m_3 m_2}{(4m_1 m_2 + m_1 m_3 + m_3 m_2)};$$

$$v_2 = V \frac{2m_3 m_1}{(4m_1 m_2 + m_1 m_3 + m_3 m_2)}.$$

2. Остаётся в силе следствие второго закона Ньютона

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 = \frac{m_3(V - v_3)}{2}.$$

При возвращении резинки снова в ненатянутое состояние, по закону сохранения энергии:

$$m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2} + m_3 \frac{v_3^2}{2} = m_3 \frac{V^2}{2}.$$

Откуда

$$v_3 = V \frac{(m_1 m_3 + m_3 m_2 - 4m_1 m_2)}{(4m_1 m_2 + m_1 m_3 + m_3 m_2)};$$

$$v_1 = V \frac{4m_3 m_2}{(4m_1 m_2 + m_1 m_3 + m_3 m_2)};$$

$$v_2 = V \frac{4m_3 m_1}{(4m_1 m_2 + m_1 m_3 + m_3 m_2)}.$$

3. Подставляю в полученную в первом пункте формулу числовые значения, находим

$$v_3 = \frac{9}{17} \text{ м/с}.$$

Региональная олимпиада школьников по физике. 17.01.2015. Московская область.

Примерные критерии оценивания

Записаны вторые законы Ньютона для брусков	1 балл
Из связи между ускорениями получена связь между скоростями	1 балл
Пункт 1:	
Найдены искомые скорости	3 балла
Пункт 2:	
Записан закон сохранения энергии	1 балл
Найдены искомые скорости	3 балла
Пункт 3:	
Получен ответ	1 балл