Критерии оценивания олимпиадных работ по физике (рекомендации для проверяющих)

Проверяя олимпиадную работу учащегося, будьте внимательны, объективны и доброжелательны.

При проверке олимпиадной работы руководствуйтесь критериями разбалловки, приведёнными ниже после решения каждой из задач. При этом проверяющий имеет право ставить неполный балл за действие, обозначенное в критериях, если оно выполнено учащимся частично.

Каждая задача (независимо от уровня сложности) оценивается из 10 баллов. Таким образом, за свою работу ученик может получить максимально 50 баллов (в 9-10-11 классах).

Имейте в виду, что предложенные учениками решения задач могут быть правильными, даже если эти решения кардинально отличаются от авторских! В этом случае рекомендуется придерживаться следующих критериев оценивания:

0 баллов — если ученик не приступал к решению задачи или приступил, но никаких разумных соображений не привёл;

3 балла — если ученик написал разумные соображения, уравнения и рисунки, но полную систему уравнений для решения задачи составить не смог;

6 баллов — ученик понял физику решения, составил полную систему уравнений, необходимую для решения задачи, но довести решение системы до конца не смог;

9 баллов — ученик решил правильно задачу в общем виде (получил буквенный ответ), но сделал математические ошибки в окончательных вычислениях;

10 баллов — задача решена полностью (при этом способ решения, предложенный учеником, может кардинально отличаться от авторского).

9 класс

возможные решения и критерии оценивания

9.1 С лунной горы высотой 2 км оторвался лунный камень. Во сколько раз путь, пройденный камнем за 30-ю секунду падения, больше пути за 20-ю секунду? Во сколько раз путь, пройденный камнем за первые 40 секунд падения, больше пути за первые 30 секунд? Во сколько раз путь, пройденный камнем за первые 60 секунд падения, больше пути за первые 40 секунд? Ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше земного, а атмосферы практически нет. Камень в процессе падения на поверхность Луны ни с чем не сталкивается.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Движение камня — прямолинейное равноускоренное без начальной скорости с ускорением $g = g_з/6$.

Найдём всё время падения камня:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx 49 \text{ с}.$$

Так как время 30 с $<$ 49 с, то путь камня L_{30} за 30-ю секунду равен пути за первые 30 с минус путь за первые 29 с. Аналогично находится путь за 20-ю секунду. В итоге:

$$\frac{L_{30}}{L_{20}} = \frac{gt_{30}^2/2 - gt_{29}^2/2}{gt_{20}^2/2 - gt_{19}^2/2} = \frac{t_{30}^2 - t_{29}^2}{t_{20}^2 - t_{19}^2} = \frac{59}{39}.$$

Так как время 40 с $<$ 49 с:

$$\frac{S_{40}}{S_{30}} = \frac{gt_{40}^2/2}{gt_{30}^2/2} = \frac{t_{40}^2}{t_{30}^2} = \frac{16}{9}.$$

После 49 с камень был неподвижен, поэтому перемещение за 60с: $S_{60} = h$. И соответственно:

$$\frac{S_{60}}{S_{40}} = \frac{2h}{gt_{40}^2} = \frac{3}{2}.$$

ОТВЕТ: $\frac{L_{30}}{L_{20}} = \frac{59}{39}$, $\frac{S_{40}}{S_{30}} = \frac{16}{9}$, $\frac{S_{60}}{S_{40}} = \frac{3}{2}$.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Найдено время падения	2
2.	Найдено отношение путей за 30-ю и 20-ю секунды	3
3.	Найдено отношение путей за 40 с и 30 с	2
4.	Найдено отношение путей за 60 с и 40 с	3
	Итого максимально за задачу	10

9.2 Участок электрической цепи состоит из двух одинаковых резисторов сопротивлением $R = 100$ Ом и полупроводникового элемента, вольт-амперная характеристика которого выглядит так, как показано на рисунке 1. Какие токи потекут через резисторы, если подключить к этому участку цепи источник с электрическим напряжением $U_и = 1$ В? Напряжения $U_0 = 0.5$ В, $U_{ст} = -3$ В. Постройте график зависимости силы тока от напряжения (ВАХ) для данного участка цепи. Это следует сделать на отдельном листе миллиметровой бумаги.

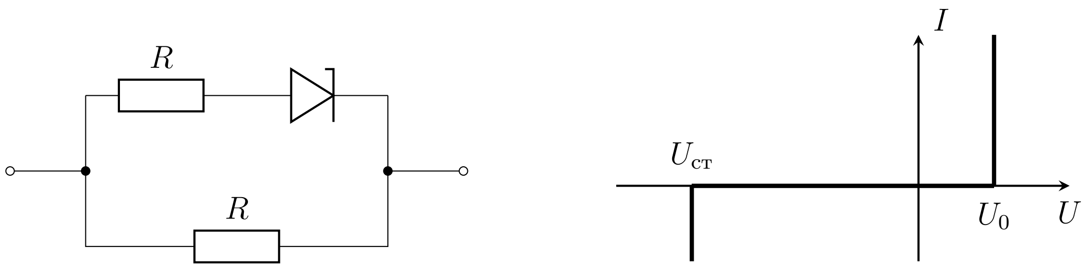


Рис. 1

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Так как «нижний» резистор подключен параллельно остальным элементам, то сила тока в нём:

$$I_1 = \frac{U_и}{R} = 0{,}01\text{А}.$$

Верхний резистор соединен последовательно со стабилитроном (полупроводниковым элементом), и при этом общее напряжение на них $U_и = 1$В, следовательно, на этом резисторе напряжение $U_2 = U_и – U_0$, так как стабилитрон открыт при прямом подключении. Тогда сила тока:

$$I_2 = \frac{U_и - U_0}{R} = 0{,}005\text{А}.$$

В зависимости от напряжения U, поданного на выходы схемы источника, стабилитрон будет вести себя по-разному, таким образом на графике будет 3 разных области. Проанализируем каждую из них:

1) $U \leqslant -3$ В: На этом участке стабилитрон ведет себя как элемент с любым током и напряжением $U_{ст} = -3$ В. Тогда из закона Ома для участка цепи:

$$\begin{cases} I_1 R + U_{ст} = U \\ I_2 R = U \end{cases}$$

Получаем для тока:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{2U - U_{ст}}{R}$$

2) $-3 \text{ В} < U \leqslant 0.5$ В: На этом участке стабилитрон ведет себя как элемент с нулевым током и любым напряжением из выделенного диапазона, тогда участок цепи эквивалентен резистору сопротивлением R. Тогда из закона Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}$$

3) $U > 0.5$ В: На этом участке стабилитрон ведет себя как элемент с любым током и напряжением $U_0 = 0.5$ В. Тогда из закона Ома для участка цепи:

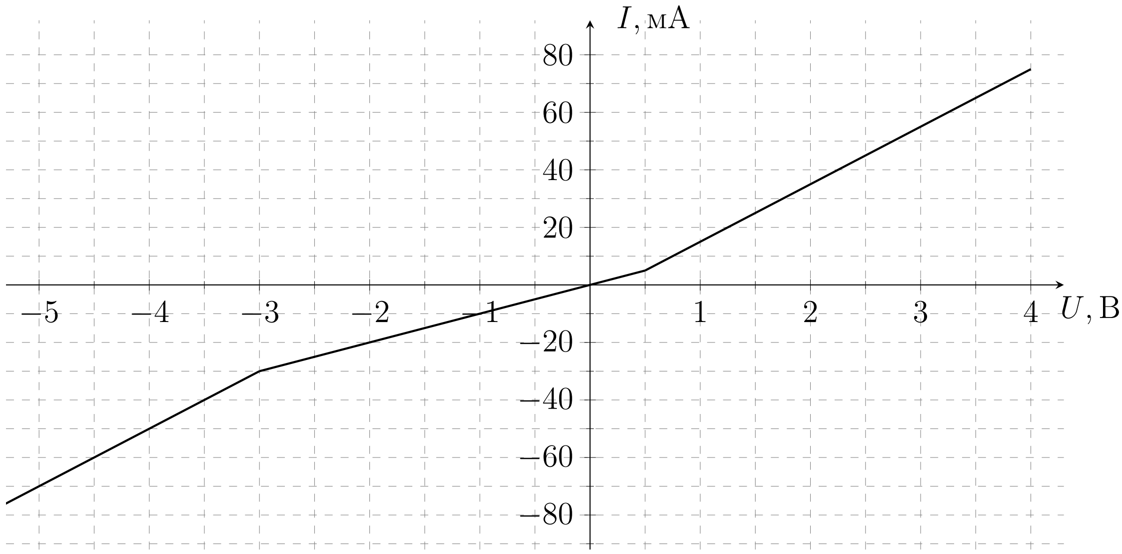
$$\begin{cases} I_1 R + U_0 = U \\ I_2 R = U \end{cases}$$

Получаем для тока:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{2U - U_0}{R}$$

Окончательно получаем:

$$\begin{cases} I = \dfrac{2U - U_{\text{ст}}}{R}, \quad U \leqslant -3\ \text{В} \\ I = \dfrac{U}{R}, \quad -3\ \text{В} < U \leqslant 0.5\ \text{В} \\ I = \dfrac{2U - U_0}{R}, \quad U > 0.5\ \text{В} \end{cases}$$



ОТВЕТ: $I_1 = 0{,}01$А, $I_2 = 0{,}005$А.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Есть понимание, как именно соединены стабилитрон с «верхним» резистором (последовательно) и как к ним присоединен «нижний» резистор (параллельно)	1
2.	Верно найдена сила тока в «нижнем» резисторе	1
3.	Определено напряжение на верхнем резисторе и стабилитроне	1
4.	Верно найдена сила тока в «верхнем» резисторе	1
5.	Верно записаны два уравнения для любого из случаев	1
6.	Получено верное выражение зависимости силы тока от напряжения во втором случае	1
7.	Получено верное выражение зависимости силы тока от напряжения в первом случае	1
8.	Получено верное выражение зависимости силы тока от напряжения в третьем случае	1
9.	Построен правильный график полученной зависимости с верным масштабом и подписанными осями координат	2
	Итого максимально за задачу	10

9.3 Три кубика A, B и C с начальными температурами $t_A = 0\ °C$, $t_B = 54\ °C$, $t_C = 105\ °C$ не обмениваются энергией с окружающей средой. Любые два кубика можно привести в тепловой контакт на длительное время. Как сделать так, чтобы конечная температура кубика A оказалась более чем на 5 °C выше конечной температуры кубика B и конечной температуры кубика C? Свой ответ подтвердите расчётами. Кубики B и C одинаковы. Ребро кубика A вдвое больше, чем рёбра кубиков B и C. Все кубики сделаны из одного и того же материала с очень хорошей теплопроводностью.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Ребро кубика A вдвое больше, чем рёбра кубиков B и C, поэтому можно сказать, что кубик A состоит из 8 таких же кубиков, как B и C. Значит, теплоёмкость кубика A в 8 раз больше, чем теплоёмкость кубиков B и C. Обозначим C_0 теплоёмкость кубиков B и C, тогда теплоёмкость кубика A равна $8C_0$.

Вначале приведём в тепловой контакт кубики A и B. Запишем для них уравнение теплового баланса и найдём их установившуюся температуру t_1:

$$8C_0(t_1 - t_A) + C_0(t_1 - t_B) = 0,$$

$$t_1 = \frac{8t_A + t_B}{9} = 6\ °C$$

Далее приведём в контакт кубики A и C. Запишем уравнение теплового баланса для этих кубиков и найдём их установившуюся температуру t_2:

$$8C_0(t_2 - t_1) + C_0(t_2 - t_C) = 0,$$

$$t_2 = \frac{8t_1 + t_C}{9} = 17\ °C$$

Наконец, приведем в контакт кубики B и C, запишем для них уравнение теплового баланса и определим конечную температуру этих кубиков t_3.

$$C_0(t_3 - t_1) + C_0(t_3 - t_2) = 0,$$

$$t_3 = \frac{t_1 + t_2}{2} = 11{,}5\ °C$$

Мы получили, что конечная температура кубика A больше, чем конечные температуры кубиков B и C на 5,5 $°C$, что и требовалось по условию задачи.

ОТВЕТ: Вначале приведём в тепловой контакт кубики A и B. Далее приведём в контакт кубики A и C. Наконец, приведем в контакт кубики B и C.

КРИТЕРИИ:

№	**Действия**	**Баллы**
1.	Указано, с обоснванием, что теплоемкость кубика A в 8 раз больше теплоемкости кубиков B и C	2
2.	Верно записано уравнение теплового баланса для первого контакта	1,5
3.	Получено верное численное значение для температуры кубиков A и B после первого контакта $t_1 = 6\ ^\circ C$	1
4.	Верно записано уравнение теплового баланса для второго контакта	1,5
5.	Получено верное численное значение для температуры кубиков A и С после второго контакта $t_2 = 17\ ^\circ C$	1
6.	Верно записано уравнение теплового баланса для третьего контакта	1,5
7.	Получено верное численное значение для температуры кубиков B и С после третьего контакта $t_3 = 11{,}5\ ^\circ C$	1
8.	Сделан вывод о том, что выбранная схема приводит в требуемому результату	0,5
Итого максимально за задачу		10

9.4 Система состоит из двух одинаковых тонких однородных досок и груза (рис. 2). К верхней доске одним концом прикреплена нить, второй конец этой нити закреплен. Нижняя доска лежит на упоре, к ее правому концу на нити подвешен груз. Считая массы досок M и груза m известными, а также, что эта система находится в равновесии, при этом доски горизонтальны, а нити вертикальны, найдите силу натяжения каждой нити. При каких соотношениях масс доски и груза M/m такое равновесие возможно? Нити легкие и нерастяжимые.

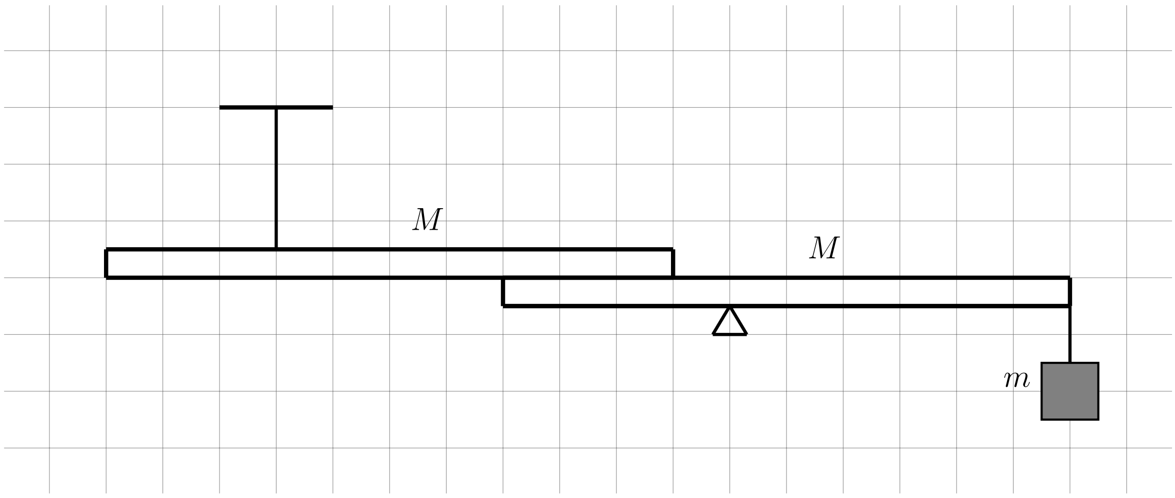
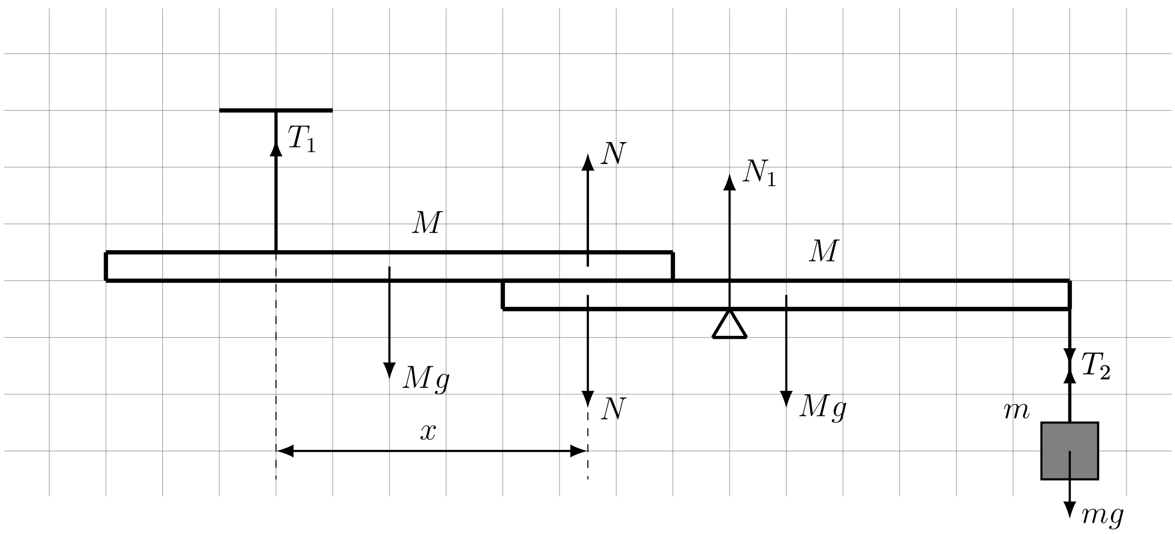


Рис. 2

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:



Из 2 закона Ньютона для груза m найдем силу натяжения правой нити:

$$T_2 = mg$$

Из правила моментов для системы из досок и груза m относительно упора:

$$T_1 \cdot 8l + T_2 \cdot 6l + Mg \cdot l = Mg \cdot 6l,$$

откуда сила натяжения левой нити:

$$T_1 = \frac{5M - 6m}{8}.$$

В равновесии на верхнюю доску действуют сила тяжести, приложенная к ее геометрическому центру, сила натяжения нити и сила реакции со стороны нижней доски N (она направлена вертикально вверх). На нижнюю доску при этом действуют сила тяжести, сила натяжения нити, равная весу груза mg, сила реакции в опоре рычага и сила реакции со стороны верхней доски, равная по третьему закону Ньютона N и направленная вертикально вниз. Точка приложения силы реакции может находиться в месте соприкосновения досок.

Пусть расстояние от точки приложения сил реакции до точки подвеса верхней доски равно x, а длина одной клеточки на рисунке равна L. Тогда уравнение моментов для верхней доски относительно точки подвеса имеет вид

$$2Mg \cdot L = N \cdot x,$$

а для нижней доски относительно опоры рычага

$$Mg \cdot L + mg \cdot 6L = N \cdot (8L - x)$$

Разделив второе уравнение на первое, получим

$$\frac{M + 6m}{2M} = \frac{8L - x}{x}$$

откуда

$$\frac{m}{M} = \frac{8L}{3x} - \frac{1}{2}$$

Как следует из рисунка, допустимыми являются значения $4 \leqslant x/L \leqslant 7$. Нетрудно видеть, что при $x/L > 16/3$ отношение m/M становится отрицательным; фактически, для поддержания равновесия груз должен иметь отрицательную массу, то есть равновесие невозможно, поэтому для сохранения равновесия значение x/L должно лежать в диапазоне от 4 до 16/3. В указанном диапазоне увеличение x от 4 до 16/3 ведет к увеличению знаменателя в выражении для m/M, то есть к уменьшению самого отношения. Максимальное отношение достигается на конце диапазона при $x = 4L$, отсюда искомое отношение $M/m \geqslant 6$.

ОТВЕТ: $T_1 = \frac{5M - 6m}{8}$, $T_2 = mg$, $M/m \geqslant 6$.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Записан 2 закон Ньютона для тела m	1
2.	Найдена сила T_2	1
3.	Записано правило моментов для системы	2
4.	Найдена сила T_1	1
5.	Указано, что сила реакции между досками приложена в произвольной точке контакта	1
6.	Записано верно условие равновесия верхней доски	1
7.	Записано верно условие равновесия нижней доски	1
8.	Правильно получено неравенство на соотношение масс	2
	Итого максимально за задачу	10

9.5 В дне цилиндрического сосуда высотой $H = 3a$ проделано квадратное отверстие сечением $a \times a$, которое заткнуто пробкой кубической формы с ребром a (см. рисунок 3). Пробка вставлена в отверстие до половины своей высоты. Плотность вещества пробки ρ. В сосуд до краёв наливают жидкость плотностью 2ρ. Какую силу F нужно приложить для того, чтобы удержать пробку в равновесии? Какую работу нужно совершить, чтобы медленно вытащить вверх пробку из отверстия? Трением стенок отверстия о пробку, а также подтеканием жидкости между стенками отверстия и пробкой пренебречь.

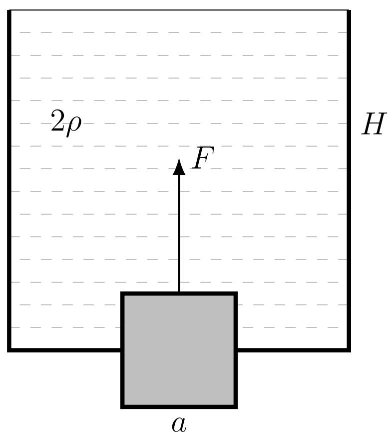
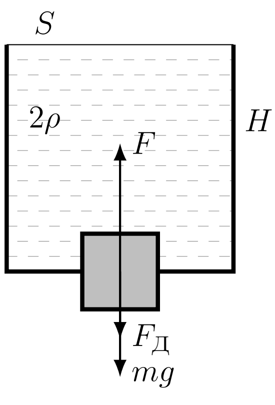


Рис. 3

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Расставим силы, действующие на пробку. Снизу на пробку действует сила атмосферного давления, но, согласно закону Паскаля, это же атмосферное давление входит в выражение давления жидкости на любой участок пробки, в том числе и на её верхнее основание, поэтому сила атмосферного давления будет взаимно уничтожаться, мы сразу не будем её изображать.



Остаются сила тяжести и сила давления жидкости на верхнее основание (остальные силы давления направлены горизонтально и скомпенсированы); они обе направлены вниз, поэтому, согласно условию равновесия (2 закон Ньютона), сила натяжения нити, удерживающая пробку в равновесии, направлена вертикально вверх и равна их сумме:

$$F = mg + F_{\text{Д}} = mg + 2\rho g(H - a/2)a^2 = 2\rho g H a^2 = 6\rho g a^3$$

В процессе вытаскивания пробки из отверстия сила давления жидкости на верхнее основание пробки меняется. Пусть h — высота погруженной в жидкость части пробки. Она меняется от $a/2$ до a. Уровень жидкости H не меняется, так как лишняя жидкость выливается из сосуда.

Сила натяжения нити равна:

$$F = mg + 2\rho g(H – h)a^2.$$

Найдем малую работу этой силы по перемещению пробки на малое расстояние Δh:

$$\Delta A = F\Delta h = (mg + 2\rho g(H – h)a^2)\Delta h.$$

Просуммируем малые работы по всем перемещениям Δh:

$$A = mg\sum \Delta h + 2\rho g H a^2 \sum \Delta h – 2\rho g a^2 \sum (h\Delta h).$$

$$\sum \Delta h = a – a/2 = a/2.$$

Сумму $\sum(h\Delta h)$ можно найти как площадь под графиком зависимости величины h от h, это видно из численного равенства площади узкой полоски под этим графиком и малой работы.

В итоге:

$$A = \frac{mga}{2} + \frac{2\rho g H a^3}{2} - \frac{3\rho g a^4}{4} = \frac{11\rho g a^4}{4}.$$

ОТВЕТ: $F = 6\rho g a^3$, $A = \frac{11\rho g a^4}{4}$.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Учет атмосферного давления	1
2.	Правильный чертёж с расставленными силами	2
3.	Записано условие равновесия пробки	1
4.	Найдена искомая сила	1
5.	Учёт и обоснование неизменности H	1
6.	Выражение функции зависимости силы F от высоты h	1
7.	Выражение для малой работы	1
8.	Суммирование малых работ любым правильным способом	1
9.	Правильный ответ для искомой работы	1
Итого максимально за задачу		10

10 класс

возможные решения и критерии оценивания

10.1 Точки A и B находятся в одной горизонтальной плоскости, расстояние между ними равно $2R$. Из т. A в т. B одновременно стартуют три точечных тела: первое — вдоль отрезка АB, второе — по дуге окружности с радиусом R, а третье — по параболе в результате свободного движения после броска под углом α к горизонту (рис.4).

Все три траектории лежат в одной вертикальной плоскости. Известно, что первое тело начинает движение из состояния покоя с постоянным ускорением, второе — движется с постоянной по модулю скоростью v. Известно, что три тела оказались в точке B одновременно.

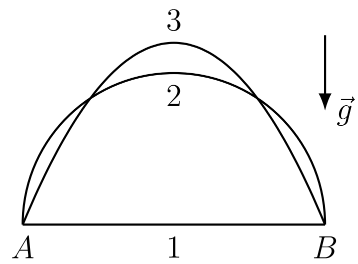


Рис. 4

Определите:
1) время движения этих тел;
2) ускорение первого тела;
3) с каким ускорением двигалось второе тело;
4) начальную скорость третьего тела.

Сопротивлением воздуха пренебречь.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Время движения тел определим, учитывая, что второе тело двигалось по дуге окружности с постоянной по модулю скоростью v:

$$t = \frac{\pi R}{v}.$$

При этом оно обладало центростремительным ускорением:

$$a_3 = \frac{v^2}{R}.$$

Ускорение первого тела можно найти, используя формулу перемещения при равноускоренном движении:

$$S = v_{01}t + \frac{a_1 t^2}{2},\ 2R = \frac{a_1 t^2}{2},\ a_1 = \frac{4R}{t^2} = \frac{4v^2}{\pi^2 R}.$$

Начальную скорость третьего тела определим, учитывая, что в проекции на горизонтальную ось оно движется равномерно:

$$S_{3x} = v_{03x}t = v_{03}t\cos\alpha,\ v_{03} = \frac{2R}{t\cos\alpha} = \frac{2v}{\pi\cos\alpha}$$

ОТВЕТ: $t = \frac{\pi R}{v}$, $a_1 = \frac{4v^2}{\pi^2 R}$, $a_3 = \frac{v^2}{R}$, $v_{03} = \frac{2v}{\pi\cos\alpha}$.

КРИТЕРИИ:

№	**Действия**	**Баллы**
1.	Записано выражение для определения времени движения тел при рассмотрении движения второго тела	2
2.	Записано выражение для определения ускорения второго тела	2
3.	Записано выражение для перемещения первого тела	1
4.	Получена формула для вычисления ускорения первого тела	2
5.	Учтено, что третье тело движется равномерно в горизонтальном направлении	1
6.	Получено выражение для перемещения третьего тела	1
7.	Получено выражение для расчета начальной скорости третьего тела	1
Итого максимально за задачу		10

10.2 Несколько утяжелённый шарик для пинг-понга диаметром $d = 40$ мм удерживают под водой на некоторой глубине, в момент времени $t = 0$ его освобождают. Шарик приходит в движение. График зависимости модуля скорости шарика от времени приведён на рис.5.

1) Определите ускорение шарика в начале его движения в воде.
2) Определите массу шарика.
3) Оцените, с какой глубины всплывал шарик.
4) Оцените, на какую высоту от поверхности воды поднимется шарик.

Примечание. Считать, что шарик всплывает до момента отрыва его нижней точки от поверхности жидкости. Плотность воды равна $\rho = 1000$ кг/м^3, ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с^2

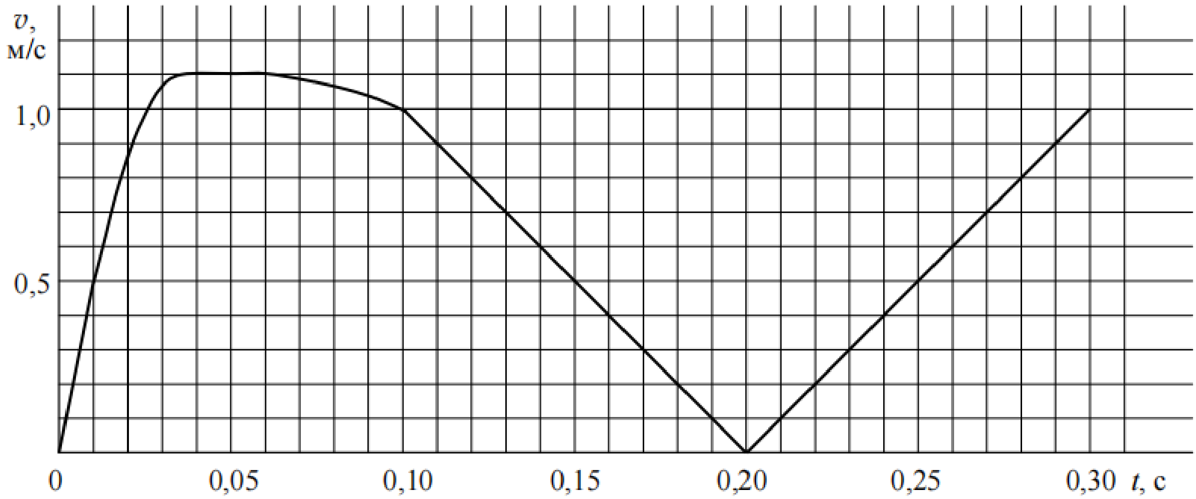


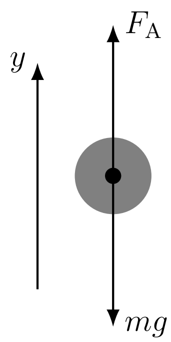
Рис. 5

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

На начальном участке скорость шарика невелика, следовательно, силой сопротивления воды можно пренебречь. Ускорение шарика найдем, используя данные графика на начальном этапе движения, когда движение можно считать равноускоренным

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0{,}5 \text{ м/с}}{0{,}01 \text{ с}} = 50 \text{ м/с}^2.$$

Изобразим силы, действующие на шарик, и запишем второй закон Ньютона:



$$ma = F_A - mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - mg,$$

где $r = d/2$ — радиус шарика.

Отсюда получаем выражение для массы шарика:

$$m = \frac{\rho g \pi d^3}{6(a+g)}.$$

Таким образом, масса шарика равна: $m = 0{,}0056$ кг $= 5{,}6$ г.

Из графика можно заметить, что некоторое время (с 0,04 с до 0,06 с) шарик двигался с постоянной скоростью, значит, сила сопротивления воды уравновешивала силу тяжести и силу Архимеда. Шарик при этом полностью погружен в воду. Начиная с 0,06 с скорость шарика изменяется нелинейно, следовательно, шарик выходит из воды, изменяется объём его погруженной части. Используя эти данные, оценим расстояние, пройденное шариком к этому моменту. Его можно найти как площадь под графиком за интервал времени от 0 до 0,1 с. Получаем $h \approx 9{,}4$ см.

Проанализируем прямолинейный участок графика, например, начиная с момента 0,1 с по 0,2 с. Определив ускорение, которое в данном случае постоянно и равно 10 м/с^2 , делаем вывод, что в этот период шарик движется под действием только силы тяжести вертикально вверх, а затем падает из состояния покоя в течение следующих 0,1 с. Отсюда можно найти высоту, с которой шарик падает до поверхности воды (или высоту, на которую он поднялся над поверхностью).

$$H = \frac{gt^2}{2} = \frac{10 \text{ м/с}^2 (0{,}1 \text{ с})^2}{2} = 0{,}05 \text{ м} = 5 \text{ см}.$$

ОТВЕТ: $a = 50$ м/с^2, $m = 5{,}6$ г, $h \approx 9{,}4$ см, $H = 5$ см.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Найдено значение ускорения шарика в начале движения	1
2.	Записан второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось	1
3.	Записано выражение для массы шарика	1
4.	Получено значение массы шарика	1
5.	Проанализирован график и отмечено время, в течение которого шарик находился в воде	1
6.	Предложен метод нахождения глубины, с которой всплывал шарик	1
7.	Проведена оценка глубины всплытия	1
8.	Проведен анализ линейных участков графика и сделан вывод о характере движения шарика на этих участках	1
9.	По данным графика на линейных участках получена высота над поверхностью воды, на которую поднялся шарик	2
Итого максимально за задачу		10

10.3 На наклонной плоскости с углом наклона к горизонту $\alpha = 60^\circ$ удерживается в покое доска с находящимся на ней бруском (рис. 6).

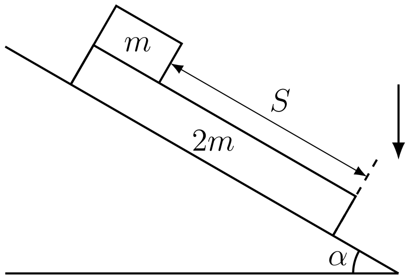


Рис. 6

Масса доски в два раза больше массы бруска, а расстояние от края бруска до края доски $S = 40$ см. Доску и брусок одновременно отпускают, и доска начинает скользить по наклонной плоскости, а брусок — по доске. Коэффициент трения скольжения между бруском и доской $\mu_1 = 0{,}2$, а между доской и наклонной плоскостью $\mu_2 = 0{,}3$.

1) Определите ускорения бруска и доски относительно наклонной плоскости при их скольжении.

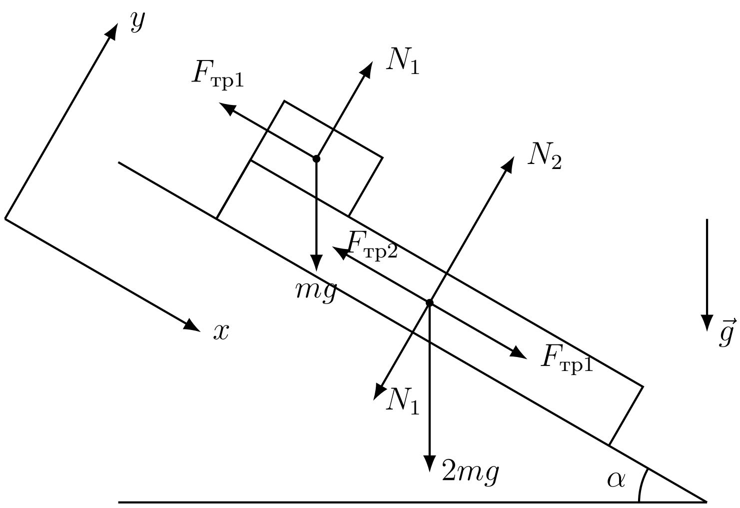
2) Через какое время брусок достигнет края доски?

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Из условия задачи следует, что в системе действуют силы трения скольжения. Сила трения, действующая со стороны наклонной плоскости на доску $F_{\text{тр}2} = \mu_2 N_2$, направлена вдоль поверхности плоскости вверх. Сила трения, действующая со стороны доски на брусок $F_{\text{тр}1} = \mu_1 N_1$, направлена вдоль поверхности плоскости вверх. По третьему закону Ньютона такая же сила трения, действующая со стороны бруска на доску, направлена вдоль поверхности доски вниз.

Силы нормальной реакции, действующие между доской и бруском, между доской и плоскостью, равны соответственно:

$$N_1 = mg\cos\alpha \text{ и } N_2 = 3mg\cos\alpha.$$



Запишем второй закон Ньютона для бруска и доски соответственно:

$$ma_1 = mg\sin\alpha - \mu_1 N_1,$$
$$2ma_2 = 2mg\sin\alpha + \mu_1 N_1 - \mu_2 N_2.$$

Отсюда находим:

$$a_1 = g\left(\sin\alpha - \mu_1\cos\alpha\right) \approx 7.7 \text{ м/с}^2,$$
$$a_2 = g\left(\sin\alpha + \left(\frac{\mu_1}{2} - \frac{3\mu_2}{2}\right)\cos\alpha\right) \approx 6.9 \text{ м/с}^2.$$

В системе отсчета, связанной с доской брусок движется равноускоренно, следовательно:

$$S = \frac{(a_1 - a_2)t^2}{2},\ t = \sqrt{\frac{2S}{a_1 - a_2}} \approx 1 \text{ с}.$$

ОТВЕТ: $a_1 \approx 7.7$ м/с^2, $a_2 \approx 6.9$ м/с^2, $t \approx 1$ с

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Расставлены силы, действующие на брусок и доску	1
2.	Записан второй закон Ньютона в проекции на выбранные оси координат для бруска	1
3.	Найдено ускорение бруска относительно наклонной плоскости	1,5
4.	Записан второй закон Ньютона в проекции на выбранные оси координат для доски	1
5.	Найдено ускорение доски относительно наклонной плоскости	1,5
6.	Записано выражение для перемещения бруска в системе отсчета, связанной с доской	2
7.	Записано выражение для определения времени движения бруска относительно доски	1
8.	Получено числовое значение искомой величины	1
Итого максимально за задачу		10

10.4 Экспериментатор Глюк собрал цепь из четырех одинаковых резисторов сопротивлением $R = 1$ кОм каждый. Если к одному из этих резисторов (см. рисунок 7) подключить параллельно резистор с сопротивлением R_x, то идеальный амперметр, включенный между точками C и D, показывает 10 мА. Чему равно сопротивление R_x? Напряжение на зажимах этой цепи $U = 150$ В

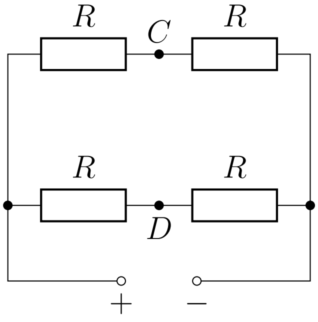
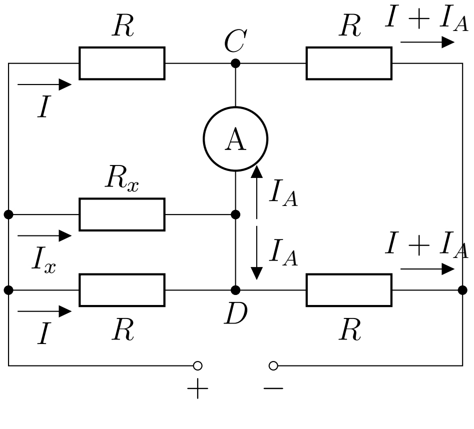


Рис. 7

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Обозначив ток через верхний левый резистор через I, запишем для верхней ветви условие, что сумма напряжений на резисторах равна напряжению источника:

$$IR + (I + I_\text{A})R = U.$$



Отсюда находим, что $I = 70$ мА, а ток через верхний правый резистор равен: $I + I_\text{A} = 80$ мА.

В силу симметрии цепи, в нижней ветви, составленной из резисторов R, текут такие же токи. Расставим токи с учетом правил Кирхгофа (или закона Ома для участка цепи). В результате получаем, что через резистор R_x течет ток $I_x = 2I_\text{A} = 20$ мА.

Учитывая равенство напряжений на параллельно соединенных резисторах R и R_x, запишем $IR = I_x R_x$.

И найдем искомое сопротивление: $R_x = 3{,}5$ кОм.

ОТВЕТ: Сопротивление равно $R_x = 3{,}5$ кОм.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Указано, что сумма токов в узле равна нулю	1
2.	Записан закон Ома (правило Кирхгофа) для верхней ветки	1
3.	Найдено значение силы тока через верхний левый резистор	1
4.	Найдено значение тока через правый верхний резистор	1
5.	Расставлены токи через нижнюю ветку, состоящую из одинаковых резисторов (в силу симметрии схемы или иных критериев)	2
6.	Найдено значение силы тока через резистор с неизвестным сопротивлением	2
7.	Дано пояснение метода определения неизвестного сопротивления и найдено его значение	2
Итого максимально за задачу		10

10.5 Экспериментатор Глюк, выполняя лабораторную работу, налил в один из калориметров 100 г воды комнатной температуры и погрузил в него очень точный термометр, который показал значение температуры $t = 20{,}3$ °C. Во второй калориметр он налил 100 г кипящей воды. Затем Глюк достал из первого калориметра термометр и поместил его во второй. Термометр показал $t_1 = 99{,}2$ °C. Удивившись Глюк, снова поместил термометр в первый калориметр. Что показал термометр Глюка в этом случае?
Примечание. Атмосферное давление в день экспериментов Глюка было нормальным. Теплоёмкостями калориметров и теплопотерями можно пренебречь.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Пусть $t_2 = 100$ °C — температура кипящей воды, т.к. $t_1 = 99{,}2$ °C, то можно утверждать, что сам термометр имеет теплоёмкость $C_т$.
Вода отдала термометру: $Q_1 = cm(t_2 - t_1)$.
Термометр получил: $Q_2 = C_т(t_1 - t)$.
Запишем уравнение теплового баланса:

$$cm(t_2 - t_1) = C_т(t_1 - t).$$

Для второго измерения уравнение теплового баланса запишем аналогично:

$$cm(t_x - t) = C_т(t_1 - t_x).$$

Решая систему полученных уравнений, найдем искомую температуру:

$$t_x = \frac{t_1(t_2 - t_1) + t(t_1 - t)}{t_2 - t} = 21{,}1 \text{ °C}.$$

ОТВЕТ: Температура равна $t_x = 21{,}1$ °C.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Указано, что термометр обладает теплоемкостью	1
2.	Записано выражение для определения количества теплоты, отданное водой калориметру	1
3.	Записано выражение для определения количества теплоты, полученного термометром	1
4.	Записано уравнение теплового баланса для первого измерения	2
5.	Записано уравнение теплового баланса для второго измерения	2
6.	Получено выражение для искомой температуры	3
	Итого максимально за задачу	10

11 класс

возможные решения и критерии оценивания

11.1 Систему грузов, имеющих массы $2m$ и m, тянут с помощью подвижного блока по гладкой горизонтальной поверхности, прикладывая горизонтальную силу F (см. рис. 8). Найдите ускорения тел, ускорение верхнего блока и силу натяжения нити прикреплённой к верхнему грузу. При каких значениях силы F грузы не будут проскальзывать друг по другу? Коэффициент трения между грузами μ. Массами блоков и нити можно пренебречь. Нить нерастяжима. Ускорение свободного падения g.

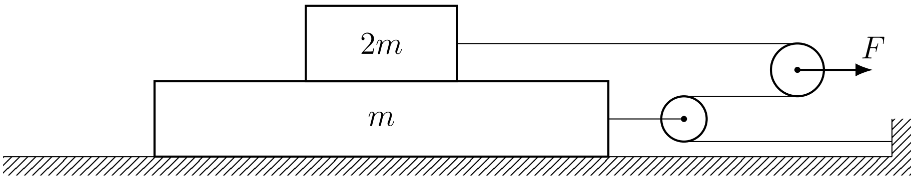
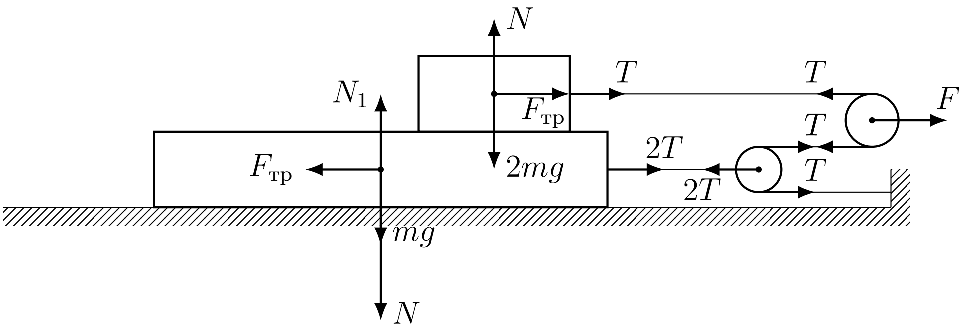


Рис. 8

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Расставим силы



Сила трения направлена вперед для верхнего тела, это можно определить, рассмотрев силы и ускорения без трения, либо рассматривать два случая исходно.

В общем случае запишем 2 закон Ньютона для тел, условие невесомости блока и нерастяжимости нити (кинематическая связь)

для верхнего блока:

$$F = 2T,$$

верхнее тело по O_x:

$$2ma_1 = T + F_{\text{тр}},$$

верхнее тело по O_y:

$$N = 2mg,$$

нижнее тело по O_x:

$$ma_2 = 2T - F_{\text{тр}},$$

ускорение блока из кин. связи:

$$a = \frac{a_1 + 2a_2}{2}.$$

В момент начала проскальзывания возникает пограничная ситуация: в системе действует максимально возможная сила трения $F_{\text{тр}} = \mu N$, но ускорения грузов одинаковы $a_1 = a_2$. Из этого условия легко найти силу F, при которой наступает проскальзывание: $F = 4\mu mg$.

Если $F \leqslant 4\mu mg$:

$$a_1 = a_2 = \frac{F}{2m}.$$

И ускорение верхнего блока:

$$a = \frac{3F}{4m}.$$

Если $a_2 \geqslant a_1$ и $F \geqslant 4\mu mg$, возникает проскальзывание между телами, и тогда $F_{\text{тр}} = \mu N$: для верхнего тела по O_x:

$$2ma_1 = \frac{F}{2} + 2\mu mg,$$

для нижнего тела по O_x:

$$ma_2 = F - 2\mu mg.$$

В этом случае ускорение верхного тела:

$$a_1 = \frac{F}{4m} + \mu g.$$

Ускорение нижнего тела:

$$a_2 = \frac{F}{m} - 2\mu g.$$

Ускорние блока:

$$a = \frac{9F}{8m} - \frac{3}{2}\mu g.$$

ОТВЕТ: $T = F/2$. Если $F \leqslant 4\mu mg$: $a_1 = a_2 = \frac{F}{2m}$, $a = \frac{3F}{4m}$. Если $F \geqslant 4\mu mg$: $a_1 = \frac{F}{4m} + \mu g$, $a_2 = \frac{F}{m} - 2\mu g$, $a = \frac{9F}{8m} - \frac{3}{2}\mu g$.

КРИТЕРИИ:

№	**Действия**	**Баллы**
1.	Определена сила натяжения нити	0,5
2.	Правильно выбрано направление сил трения	0,5
3.	Записан 2-й закон Ньютона для верхнего груза	1
4.	Записан 2-й закон Ньютона для нижнего груза	1
5.	Найдена N для верхнего груза	0,5
6.	Выражено ускорение блока через ускорения грузов	1
7.	Указано условие начала проскальзывания грузов	0,5
8.	Найдены ускорения при отсутствии проскальзывания	1
9.	Найдены значения силы F, при которых проскальзывание отсутствует	1
10.	Найдены ускорения при наличии проскальзывания	3
Итого максимально за задачу		10

11.2 На гладком горизонтальном столе лежит шайба радиуса R (рис. 9). На неё со скоростью v налетает вторая шайба, имеющая радиус $r = R/2$, причём её центр движется по прямой, проходящей через центр первой шайбы. Найдите скорость, с которой будет двигаться вторая шайба после абсолютно упругого столкновения. Все шайбы гладкие, сделаны из одинакового однородного материала и имеют одну и ту же высоту.

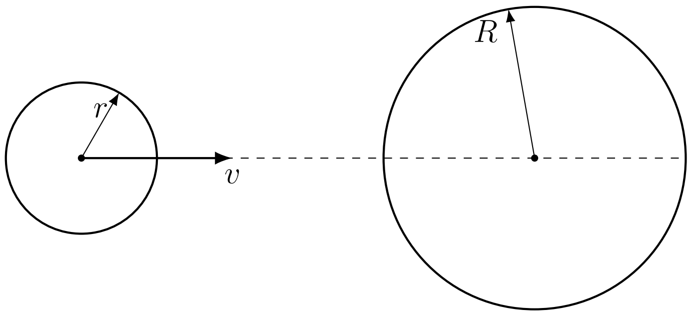


Рис. 9

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Обозначим через m массу маленькой шайбы. Тогда масса шайбы вдвое большего радиуса – $4m$ (объём большей шайбы в 4 раз больше маленького, а плотности у них одинаковые). Пусть v – начальная скорость шайбы массой m, а v_1 – скорость малой шайбы после соударения, v_2 – скорость большой шайбы после соударения. Согласно законам сохранения импульса и энергии приходим к системе уравнений:

$$\begin{cases} mv = mv_1 + 4mv_2 \\ \\ \dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{mv_1^2}{2} + \dfrac{4mv_2^2}{2} \end{cases}$$

Решая уравнения, совместно получим: $v_1 = -\frac{3}{5}v$, $v_2 = \frac{2}{5}v$, отрицательный знак скорости v_1 означает, что она будет двигаться в обратном направлении.

ОТВЕТ: Скорость равна $v_1 = -\frac{3}{5}v$.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Найдено соотношение масс шайб	1
2.	Записан закон сохранения импульса	3
3.	Записан закон сохранения энергии	3
4.	Получено значение скорости малой шайбы	3
Итого максимально за задачу		10

11.3 Экспериментатор Глюк построил оптическую систему состоящую из трёх расположенных соосно тонких линз Л$_1$, Л$_2$ и Л$_3$ с одинаковым значением фокусного расстояния f. Две крайние линзы являются собирающими, а средняя — рассеивающая. Расстояние между соседними линзами равно d, их оптические центры O_1, O_2 и O_3 соответственно. Слева от Л$_1$ на оптической оси расположен объект S, и система линз формирует его изображение S' справа от Л$_3$. К сожалению, сразу после сборки у Глюка вышли из строя все измерительные приборы. Определите расстояние между предметом и линзой Л$_1$, если известно, что $SO_2 = S'O_2$.

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Первый способ:

Обозначим за x искомое расстояние, за y_1 — расстояние от первой линзы до изображения, которое она даёт, за y_2 — расстояние от второй линзы до изображения, которое она даёт, а за y_3 — расстояние от третьей линзы до изображения, которое она даёт. По условию, $y_3 = x$. Запишем формулы тонкой линзы для формирования изображений в каждой из них:

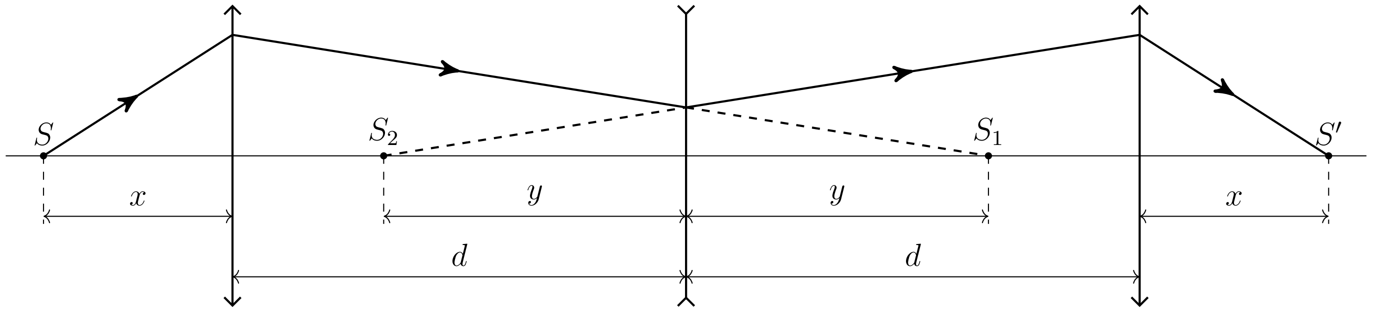
$$\begin{cases} \dfrac{1}{x} + \dfrac{1}{y_1} = \dfrac{1}{f} \\[2ex] \dfrac{1}{d-y_1} + \dfrac{1}{y_2} = -\dfrac{1}{f} \\[2ex] \dfrac{1}{d-y_2} + \dfrac{1}{x} = -\dfrac{1}{f} \end{cases}$$

Решая уравнения совместно, получим:

$$x = \frac{f \cdot (d + 2f)}{d + f}$$

Второй способ:

Изобразим примерный ход лучей в системе:



Здесь S — источник света, S_1 — его изображение в первой линзе, S_2 — изображение S_1 во второй линзе, S' — изображение даваемое всей системой.

Из симметрии расположения линз, источника и его изображения следует симметричный ход луча в системе.

Запишем уравнение для второй линзы:

$$\frac{1}{y} + \frac{1}{y} = -\frac{1}{f}.$$

Получим $y = -2f$, знак "$-$" обозначает мнимость и предмета, и изображения.

Тогда для любой из собирающих линз получаем:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{d + |y|} = \frac{1}{x} + \frac{1}{d + 2f} = \frac{1}{f}.$$

Решая это уравнение относительно x, получим:

$$x = \frac{f \cdot (d + 2f)}{d + f}$$

ОТВЕТ: Расстояние $x = \frac{f \cdot (d+2f)}{d+f}$.

КРИТЕРИИ:

Первый способ:

№	Действия	Баллы
1.	Записана система уравнений	6
2.	Найдено значение x	4
Итого максимально за задачу		10

Второй способ:

№	Действия	Баллы
1.	Сделан рисунок или указан симметричный ход лучей	2
2.	Записано уравнение для рассеивающей линзы	2
3.	Найдено значение y	2
4.	Записано уравнение для собирающей линзы	2
5.	Найдено значение x	2
Итого максимально за задачу		10

11.4 На рисунке 10 в координатах VT представлен замкнутый цикл 12341, совершаемый с 1 молем водорода (H_2). Найдите КПД данного цикла.

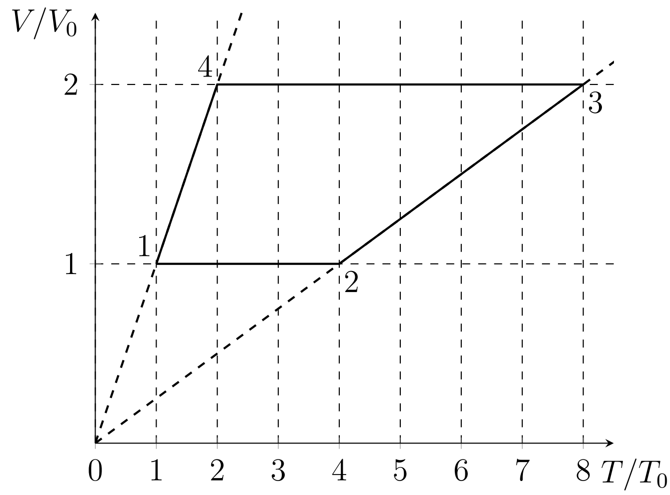
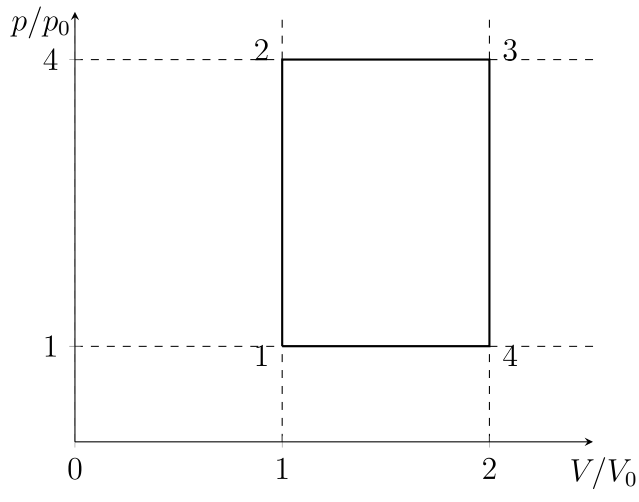


Рис. 10

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Участки цикла 2–3 и 4–1 изобары, а 1–2 и 3–4 изохоры.
Если в точке 1 давление равно $p_0 = \frac{RT_0}{V_0}$, то в точке 2 давление будет $p_2 = 4\frac{RT_0}{V_0} = 4p_0$.
Изобразим цикл в координатах pV:



Коэффициент полезного действия равен:

$$\eta = \frac{A}{Q^+}$$

A — работа газа, совершённая в цикле, равна:

$$A = (4p_0 - p_0)(2V_0 - V_0) = 3p_0V_0.$$

Q^+ — количество теплоты полученное газом в цикле:

$$Q^+ = Q_{12} + Q_{23} = C_V(T_2 - T_1) + C_p(T_3 - T_2).$$

Т.к. водород — газ двухатомный, то $C_V = 5/2R$, а $C_p = 7/2R$.
Тогда для Q^+ получим:

$$Q^+ = \frac{43}{2} p_0 V_0.$$

И в итоге для КПД

$$\eta = \frac{3p_0V_0}{\frac{43}{2}p_0V_0} = \frac{6}{43}.$$

ОТВЕТ: КПД равен $\eta = \frac{6}{43}$.

КРИТЕРИИ:

№	Действия	Баллы
1.	Указано что 1–2 и 3–4 изохоры	1
2.	Указано что 2–3 и 4–1 изобары	2
3.	Найдена работа газа в цикле	2
4.	Найдено количество теплоты полученное газом в цикле	2
5.	Получено значение КПД	3
Итого максимально за задачу		10

11.5 В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 11, напряжения источников U и $2U$, ёмкость конденсатора C, сопротивления резисторов: $R_1 = R$, $R_2 = 2R$. Найдите заряд q, протекший через ключ K после его переключения из положения 1 в положение 2, и количество теплоты, выделившееся на резисторе R_2. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

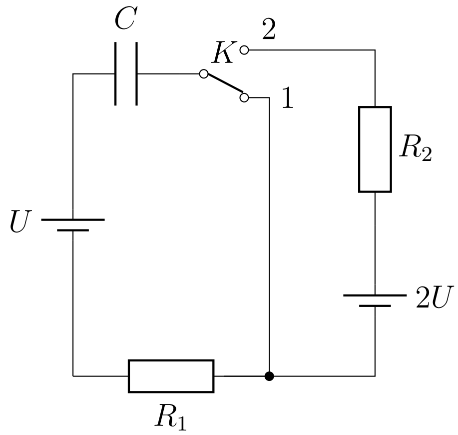


Рис. 11

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Когда ключ находится в положении 1, конденсатор заряжается до напряжения $U_1 = U$ (левая обкладка заряжена положительно, правая — отрицательно). При переключении в положение 2 конденсатор перезарядится до напряжения $U_2 = 2U - U = U$ (левая обкладка заряжена отрицательно, правая — положительно). Соответственно через ключ протечёт заряд равный $q = C(U - (-U)) = 2CU$.

Из закона сохранения энергии следует, что работа источников токов равна:

$$2Uq - Uq = \frac{CU^2}{2} - \frac{CU^2}{2} + Q,$$

Q — количество тепла, выделевшееся в цепи на резисторах R_1 и R_2.

$$Q = 2CU^2.$$

Эти резисторы соединены последовательно, и через них протекает одинаковый ток, значит, за интервал времени Δt на них выделятся количества тепла:

$$\Delta Q_1 = I^2 R_1 \Delta t,$$
$$\Delta Q_2 = I^2 R_2 \Delta t.$$

Их отношение всегда равно 1/2, значит, и отношение за всё время тоже будет равно $Q_1/Q_2 = 1/2$.

Отсюда следует, что $Q_2 = \frac{2}{3}Q = \frac{4}{3}CU^2$.

ОТВЕТ: Заряд $q = 2CU$, тепло $Q_2 = \frac{4}{3}CU^2$.

КРИТЕРИИ:

№	**Действия**	**Баллы**
1.	Найдено напряжение на C в положении 1	2
2.	Найдено напряжение на C в положении 2	2
3.	Найден заряд, протекший через ключ	2
4.	Найдено общее количество теплоты Q, выделевшееся на резисторах	2
5.	Доказано, что соотнощение теплот выделившихся на резисторах, всегда равно $1/2$	1
6.	Найдено тепло, выделевшиеся на резисторе R_2	1
Итого максимально за задачу		10